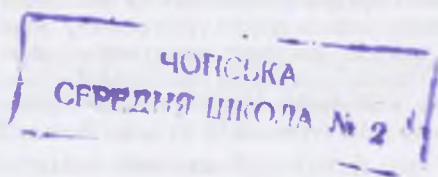


FIZIKA

9.

OSZTÁLY



Tankönyv az általános oktatási rendszerű
tanintézetek 9. osztálya számára

Szerkesztette V. H. Barjahtar, Sz. O. Dovhij

Ajánlotta

Ukrajna Oktatási és Tudományos Minisztériuma

Львів

Видавництво „Світ”

2017

УДК [37.016:53](075.3)
Ф50

Перекладено за виданням:

Фізика : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В.Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. – Харків : Вид-во „Ранок”, 2017.

Авторський колектив:

В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 20.03.2017 № 417)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Експерти, які здійснювали експертизу даного підручника під час проведення конкурсного відбору проектів підручників для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України»:

А. В. Королишин, кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики металів фізичного факультету
Львівського національного університету імені Івана Франка;
Т. М. Левицька, вчитель-методист, завідувач міським методичним кабінетом
Управління освіти Ніжинської міської ради;
С. М. Совгира, вчитель-методист, учитель Черкаської спеціалізованої
школи І–ІІІ ступенів № 33 імені Василя Симоненка

Рецензент:

І. М. Гельфгат, кандидат фізико-математичних наук, учитель-методист,
Заслужений учитель України, учитель фізики комунального закладу
«Харківський фізико-математичний ліцей № 27»

Автори й видавництво висловлюють щиру подяку:

М. М. Кірюхіну, кандидату фізико-математичних наук,
президенту Спілки наукових і інженерних об'єднань України;
І. Ю. Ненашеву, учителю-методисту, Заслуженому вчителю України;
І. В. Хован, кандидату педагогічних наук, учителю фізики НВК «Домінанта»,
за слушні зауваження й конструктивні поради;
І. С. Чернецькому, кандидату педагогічних наук,
завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань
Національного центру «Мала академія наук України»,
за створення відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

*Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку
в Національному центрі «Мала академія наук України»*

Ілюстрації художника *Володимира Хорошенка*

Ф50 **Фізика** : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. з навч. угорською мовою / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого, пер. А. А. Буркуш. – Львів : Світ, 2017. – 272 с. : іл., фот.

ISBN 978-966-914-075-3

УДК [37.016:53](075.3)

ISBN 978-966-914-075-3 (угор.)
ISBN 978-617-09-3356-0 (укр.)

© Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я.,
Кірюхіна О. О., 2017
© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2017
© ТОВ Видавництво „Ранок”, 2017
© Буркуш А. А., переклад угорською мовою, 2017

Kedves barátaim!

Ebben a tanévben folytatjátok utazásotokat a fizika világában. Ahogy korábban, úgy most is megfigyelitek majd a fizikai jelenségeket, valódi tudományos kísérleteket végeztek, és minden tanórán új ismeretekkel gazdagodtok.

Egyik utazás sem könnyű, de kárpótol benneteket a sok új ismeret, tudás és tapasztalat. A kezetekben tartott tankönyv megbízható társatok lesz az utazásotok során.

A paragrafusok tanulása közben figyeljétek és legyetek kitartóak, mert csak úgy tudjátok megérteni az ott leírt tananyagot és felhasználni megszerzett tudásotokat a mindennapi életben.

Vegyétek figyelembe, hogy a paragrafusok végén találjátok az *Összegezés*, *Ellenőrző kérdések*, *Gyakorlatok* rubrikákat. Mire valók ezek, és hogyan kell alkalmazni ezeket?

Az *Összegezés*ben vannak összefoglalva az adott témakörben megismert fogalmak és jelenségek. Tehát lehetőségetek van arra, hogy kiemeljétek és átismételjétek a tananyag lényegét.

A tananyag elsajátításának ellenőrzésében az *Ellenőrző kérdések* lesznek segítségetekre. Ha mindegyik kérdésre tudjátok a választ, akkor a tudásotok megfelelő, ellenkező esetben újból ismételjétek át a tanultakat.

A *Gyakorlatok* rubrika még érdekesebbé teszi utazásotokat a fizika csodás világában, mivel a tanultakat a gyakorlatban is alkalmazhatjátok. Az ott lévő feladatok több nehézségi fokozatnak felelnek meg a legegyszerűbbektől – amelyek megoldásához kizárólag figyelemre van szükség – az olyanokig, amelyek elvégzéséhez kitartásra és hozzáértésre van szükség. A feladatok számozása különböző színű (a nehézségi szint növekedésének sorrendjében: kék, zöld, narancssárga, piros, lila).

A feladatok között olyanok is találhatóak, amelyek megoldásához meg kell ismételnetek a természetrajz, matematika vagy az előző fizikaórakon tanultakat.

Figyeljétek meg, hogy a tankönyvben (*) jelekkel ellátott tananyag-részek vannak (✿) – ez azok részére szolgál, akik többet szeretnének megtudni az adott témakörből.

Sok érdekességgel találkozhattok az *Interaktív tanulás* (interactive.ranok.com.ua) internetes oldalon. Ezek kísérleteket vagy fizikai folyamatokat bemutató videofilmek, a feladatok elvégzéséhez szükséges információk, számítógépes ellenőrzéssel ellátott tesztkérdések.

A fizika elsősorban gyakorlati tudomány, ezért a tankönyvben *Gyakorlati feladatok* és *Laboratóriumi munkák* is találhatóak. Ezeket mindenképpen végezzétek el, utána jobban meg fogjátok érteni és szeretni a fizikát. Ajánljuk a *csillagos feladatok* elvégzését is, amelyeknek köszönhetően annyi ismeretre tehettek szert, hogy úgy ismertethetitek a kísérletek eredményeit, mint az igazi tudósok.

A részek végén található a *Részek összegezése* és *Önellenőrző feladatok* rubrikák segítségetekre lesznek a tanult témák rendszerezésében, az ismétlésben és az ellenőrző dolgozatokhoz történő felkészülésben.

Aki többet szeretne tudni a tudomány és technika fejlődéséről Ukrajnában és a világban, annak ajánljuk a *Tudomány és technika Ukrajnában* és az *Enciklopédikus oldalak* rubrikákat.

A könyvben a tananyagban történő eligazodást segítő következő egyezményes jelek találhatók:



Összegezés



Ismétlő feladatok



Ellenőrző kérdések



Gyakorlati feladatok



Gyakorlatok



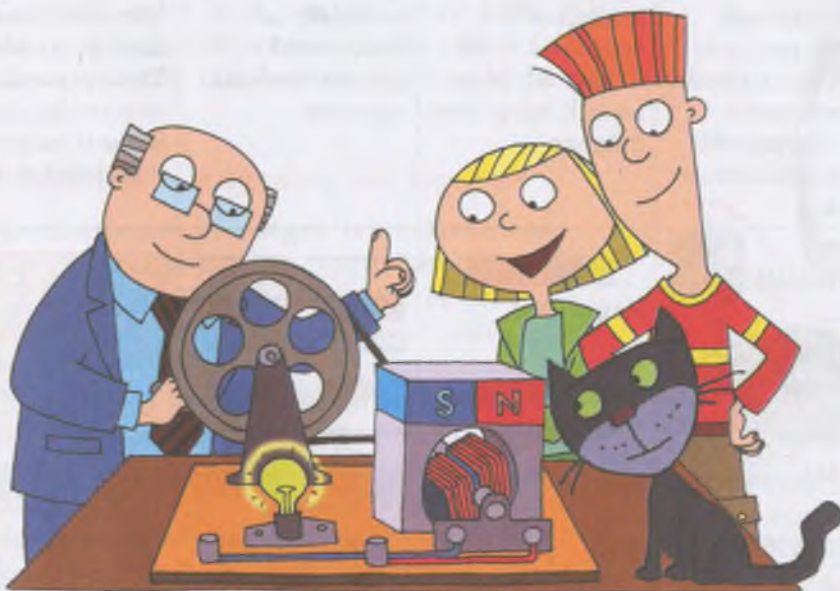
Internetes anyagok

Sok sikert kívánunk a fizika világába teendő utazásotokhoz!

1. RÉSZ

MÁGNESES TÉR

- Ismeretes, hogyha van iránytűk, nem tévedtek el az erdőben, ezúttal pedig megtudjátok, hogy lehet-e iránytű segítségével tájékozódni az Arktisz és Antarktisz végtelen jégmezőin
- Megfigyeltétek, hogy a mágnes magához vonzza a vasreszeléket, most pedig megtudjátok magyarázni, miért nem vonzza a rézből vert pénzérmét
- Már megtudjátok mérni az áramerősséget, ezután pedig megismerkedtek az ampermérő működési elvével
- Állandóan használtok áramot, most megismerkedhettek az áramgenerátorral





1. §. MÁGNESES JELENSÉGEK. OERSTED KÍSÉRLETE. MÁGNESES TÉR

Az emberek már nagyon régen megfigyelték, hogy egyes vasércetek vonzzák magukhoz a vasból álló testeket. Az ókori görögök az ilyen ércdarabokat mágneses köveknek nevezték, ami valószínűleg az ilyen ércet származási helyéül szolgáló Magnesia város nevéből származik. Ma ezeket *természetes mágneseknek* nevezik. Léteznek *mesterséges mágnesek* is. Ma megismerkedtek a mágnesek egyes tulajdonságaival, megtudhatjátok, hogy a mágneses kölcsönhatás mágneses mezőn keresztül történik, valamint azt is, hogy milyen kapcsolat van a mágneses és elektromos jelenségek között.

1

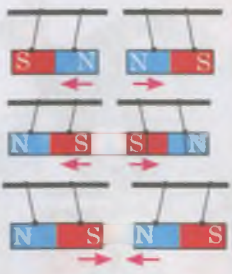
Tanulmányozzuk az állandó mágnesek tulajdonságait

Az 5. osztályos természetrajz tananyagából megismertették a mágneses jelenségeket, és kiderítették, hogy egyes testek vonzzák magukhoz a vasból készült tárgyakat, valamint ők is vonzódnak azokhoz.

Azokat a testeket, amelyek huzamosabb ideig megőrzik mágneses tulajdonságaikat, **állandó mágneseknek** nevezzük.

A magnetizmust elsőként *Pierre Mericourt* francia fizikus (születéséről és haláláról nincsenek pontos adatok) próbálta tudományosan tanulmányozni *Hivatkozás a mágnesre* című értekezésében. Az állandó mágnesek tulajdonságait alaposabban *William Gilbert* (1544–1603) angol fizikus és orvos, az elektromosságról szóló tudomány egyik megalapítója vizsgálta. Felsoroljuk e tulajdonságok legfontosabbjait.

Az állandó mágnesek fő tulajdonságai

1. A mágnes mágneses hatása eltérő felszínének különböző pontjain; a felszín azon részét, ahol a mágneses hatás a legnagyobb, a <i>mágnes pólusának</i> nevezzük.	2. A mágnes két pólussal rendelkezik – <i>északival</i> N és <i>délivel</i> S*. Nem létezik egypólusú mágnes.	3. A mágnesek egynemű pólusai taszítják, a különemű pólusai vonzzák egymást.	4. Ha a mágnest bizonyos hőmérsékletre hevítik, amelyet <i>Curie-pontnak</i> nevezünk, elveszti mágneses tulajdonságait.								
Vasreszelék  Mágnes	Mágnesrúd  Mágnespatkó 		<table><tr><th>Fém</th><th>Curie-pont, °C</th></tr><tr><td>Vas</td><td>770</td></tr><tr><td>Kobalt</td><td>1115</td></tr><tr><td>Nikkel</td><td>354</td></tr></table>	Fém	Curie-pont, °C	Vas	770	Kobalt	1115	Nikkel	354
Fém	Curie-pont, °C										
Vas	770										
Kobalt	1115										
Nikkel	354										

* Holland, *noord* – észak, *zuiden* (német *Süden*) – dél

2 Megismerkedünk Oersted és Ampère kísérleteivel

Már az ókori görög tudósok is feltételezték a mágneses és elektromos jelenségek közötti összefüggést, viszont ennek bizonyítását csak a XIX. századi tudósok végezték el.

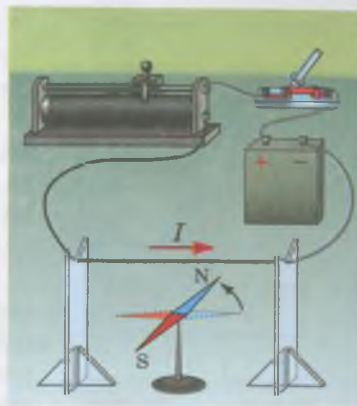
1820. február 15-én *Hans Christian Oersted* (1777–1851) dán fizikus mutatta be diákjainak az áramjárta vezető melegedését demonstráló kísérletet. Az egyik kísérlet során a tudós észrevette, hogy amikor a vezetőben áram folyik, az annak közelében ottfelejtett iránytű kitér az észak–dél irányból és a vezetőre merőlegesen állapodik meg (1.1 ábra). Az áram kikapcsolása után az iránytű visszatér eredeti helyzetébe. Így lett megállapítva, hogy az áramjárta vezető mágneses hatással rendelkezik.

Andre-Marie Ampère (1775–1836) francia matematikus és fizikus első ízben 1820. szeptember 4-én hallott Oersted kísérletéről és egy hét múlva bemutatta két párhuzamos áramjárta vezető kölcsönhatását (1.2 ábra). Ampère azt is bebizonyította, hogy az elektromos áramjárta tekercsek állandó mágnesként viselkednek (1.3 ábra). A kísérletek eredményeit elemezve, a tudós a következő megállapítást tette: a vezetők elektromosan semlegesek (töltéssel nem rendelkeznek), ezért azok vonzása vagy taszítása nem magyarázható az elektromos erők hatásával – a vezetők viselkedése mágneses erők eredménye.

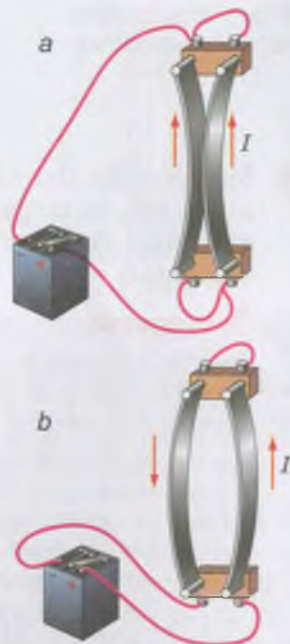
3 Bevezetjük a mágneses tér fogalmát

Az elektromos jelenségek tanulmányozása közben a 8. osztályban már megtudtátok, hogy a töltött testet *elektromos tér övezi, és ezen a téren át történik a töltéssel rendelkező testek és részecskék kölcsönhatása.*

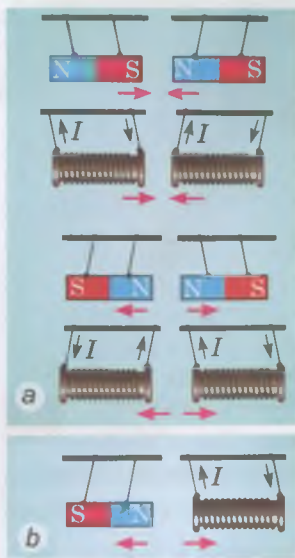
A mágneses testek és az áramjárta vezetők körül szintén létezik egyfajta tér, amelyet *mágneses térnek* nevezünk. A *mágneses kölcsönhatás meghatározott sebességgel a mágneses tér hatására valósul meg* (ezt elsőként *Michael Faraday* (1791–1867) angol fizikus fedezte fel).



1.1. ábra. Hans Christian Oersted kísérletének vázlata



1.2. ábra. Ampère kísérletének vázlata. Ha két párhuzamos vezetőkben azonos irányú áram folyik, akkor azok vonzzák egymást (a); ha az áramok iránya ellentétes, a vezetők taszítják egymást (b)



1.3. ábra. Az áramjárta tekercsek állandó mágnesekként viselkednek

Megvizsgáljuk az állandó mágnes és az áramjárta tekercs kölcsönhatását (1.3. b ábra). Az áramjárta tekercs mágneses teret hoz létre maga körül. A mágneses tér kiterjed a térben és hatni kezd az állandó mágnesre (mágnesezett testre), amitől a mágnes elmozdul. A mágnes szintén mágneses teret hoz létre maga körül, amely szintén hat az áramjárta tekercsre, ettől a tekercs ugyancsak elmozdul.

Megjegyezzük, hogy bármely *mozgó* töltött részecske és töltéssel rendelkező test körül is létrejön mágneses tér, amely meghatározott erővel hat a mágneses térben *mozgó*, töltéssel rendelkező testre és részecskére.

Figyeljétek meg: a mágneses teret szemünkkel nem érzékelhetjük, de az ettől függetlenül (az elektromos térhez hasonlóan) létezik, mint az anyag egyik formája.

A **mágneses tér** az anyag egyik formája, amely mágneses testek, áramjárta vezetők, mozgó elektromosan töltött testek és részecskék körüli térben létezik, és meghatározott hatást gyakorol az adott térben található más mágneses testekre, áramjárta vezetőkre, mozgásban lévő elektromosan töltött testekre és részecskékre.

Idézzétek fel Oersted (lásd az 1.1. ábrát) és Ampère (lásd az 1.2. ábrát) kísérleteit, és magyarázzátok meg, hogyan megy végbe a mágnesű és az áramjárta vezető, valamint a két áramjárta vezető közötti mágneses kölcsönhatás!



Összegezés

Azokat a testeket, amelyek huzamos ideig megőrzik mágneses tulajdonságaikat, állandó mágneseknek nevezzük.

Az állandó mágnesek főbb tulajdonságai:

- a mágnesek hatása pólusaik közelében a legerősebb;
- a mágnesek egynemű pólusai taszítják, különemű pólusai vonzzák egymást;
- ha a mágnest bizonyos hőmérsékletre hevítik (Curie-pont), az elveszti mágneses tulajdonságait.

A mágneses kölcsönhatás a mágneses tér által valósul meg. A mágneses tér az anyag egy formája, amely a mágneses testek, áramjárta vezetők, töltéssel rendelkező mozgó testek és részecskék körül jön létre, és hat a benne elhelyezkedő mágneses testekre, áramjárta vezetőkre, töltéssel rendelkező mozgó testekre és részecskékre.



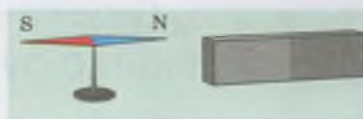
Ellenőrző kérdések

1. Nevezzétek meg az állandó mágnesek fő tulajdonságait! Mindegyik tulajdonságra mondjatok példákat! 2. Írjátok le Oersted kísérletét! Mi a felfedezésének lényege? 3. Írjátok le Ampère kísérleteit! Azok mit bizonyítanak? 4. Milyen tárgyak körül jön létre mágneses tér? Milyen testekre gyakorol hatást? 5. Határozzátok meg a mágneses tér fogalmát!

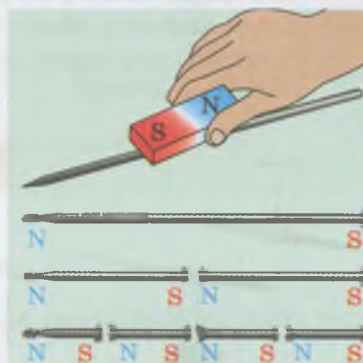


1. gyakorlat

1. A mágnesűt mágnesrúd közelébe helyezték el (1. ábra). A mágnes melyik pólusa az északi, és melyik a déli?
2. Az acél kötűt megmágnesezték, majd fogóval először két, majd négy részre vágták (2. ábra). Hány pólusa van mindegyik darabkának? A mágnesek mely tulajdonságát mutatja be ez a kísérlet?
3. Miért mutatnak különböző irányba a mágneshez tapadt vasreszelék-részecskék (lásd a 6. oldalon lévő ábrát)?
4. Miért csökken a felhevített fém vezetőképesége, amikor áramot vezetnek át rajta?
5. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjatok meg minél többet Oersted kísérletének történetéről! Milyen kísérletet végzett az áramjárta vezető mágneses terének vizsgálata során? Milyen eredményekre jutott?



1. ábra

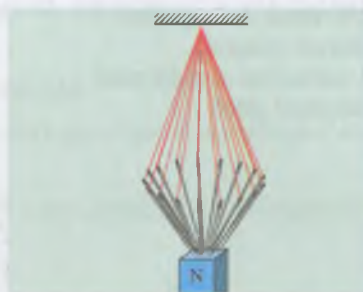


2. ábra



Kísérleti feladatok

1. Két-három, például összerakós játékokban található, állandó mágnes segítségével ellenőrizhették le kísérletileg a mágnesek egyes tulajdonságait!
2. Vegyetek néhány cérnával befűzött tűt. Fogjátok össze a cérnák végeit, majd a tűk végeihez közelítsetek egy állandó mágnessel. Magyarázzátok meg a tapasztalt jelenséget (3. ábra)!



3. ábra

Fizika és technika Ukrajnában

Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia (UNTA) és az Oktatási és Tudományos Minisztérium Mágnesességek Intézete (Kijev) – a mágnesesség és a mágneses anyagok tulajdonságaival foglalkozó vezető tudományos intézmény. A Kijevi Műszaki Egyetem és a Sevcsenko Kijevi Nemzeti Egyetem fizika-matematika és radiofizika szakos diákjainak bázisintézménye.

Az intézet szervezője és első igazgatója 1995-ben Viktor Hrihorovics Barjahtar, neves ukrán fizikus, akadémikus, Ukrajna hőse lett. A tudós elismert alapkutatásokat végez az elméleti fizika, a mágneses jelenségek fizikája, szilárd anyagok fizikája terén, valamint jelentős érdemeket szerzett a csernobili atomerőmű-katasztrófa környezeti hatásainak tanulmányozásában. 2016-tól az intézetet Jurij Ivanovics Horobec, az UNTA tagja vezeti. Barjahtar az intézet tiszteletbeli elnöke lett.

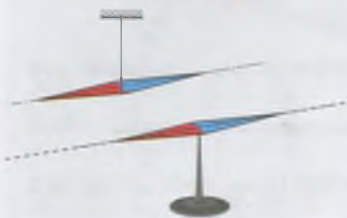
Az intézet által kidolgozott mágneses érzékelőket és információrögzítőket, magas nyomású és magas hőmérsékletű berendezéseket, a laboratóriumi körülmények között létrehozott monokristályokat széles körben alkalmazzák az elektronikai iparban, egészségügyben. Az intézet rendelkezik nanofóliák létrehozásához szükséges technológiával és berendezésekkel is.

A Mágnesességek Intézet nanostrukturális kutatásokhoz szükséges pásztázó elektronmikroszkópos tudományos részlegét nemzeti jelentőségű vívmánnyá nyilvánították.

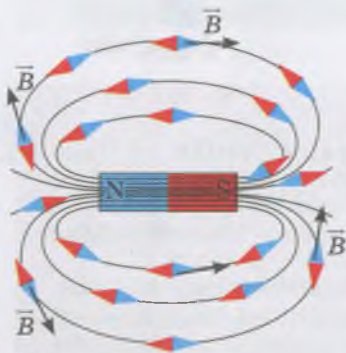


2. §. MÁGNESES INDUKCIÓ. MÁGNESES INDUKCIÓVONALAK. A FÖLD MÁGNESES TERE

Noha a mágneses teret nem láthatjuk, mégis nagyon fontos megtanulnunk annak ábrázolását. Ebben a mágnesű lesz segítségünkre. Minden egyes tű egy vízszintes síkban szabadon elforduló állandó mágnes (2.1. ábra). A következő paragrafusból megtudhatjátok, hogyan ábrázolható grafikusan a mágneses tér, és azt milyen fizikai mennyiség jellemzi.



2.1. ábra. A mágnesű állandó mágnes. A pontvonal a mágnesű tengelyét jelöli



2.2. ábra. Mágneses térben a mágnesű meghatározott rendben állnak be: minden mágnesű északi pólusa a mágneses tér adott pontban lévő indukcióvektorának irányát mutatja

1 Megvizsgáljuk a mágneses tér erőhatásának jellemzőit

Ha a töltött részecske mágneses térben mozog, akkor a részecskére a tér valamilyen erőhatást fejt ki. Az erőhatás nagysága függ a részecske töltésétől, irányától, sebességétől és a tér erősségétől.

A mágneses tér erőhatásának jellemzője a *mágneses indukció*.

A **mágneses indukció** a mágneses tér erőhatását jellemző fizikai vektormennyiség.

A mágneses indukció jele $\vec{B}$. A *mágneses indukció mértékegysége a SI rendszerben a tesla**; Nikola Tesla (1856–1943) szerb fizikus tiszteletére:

$$[B] = 1 \text{ T.}$$

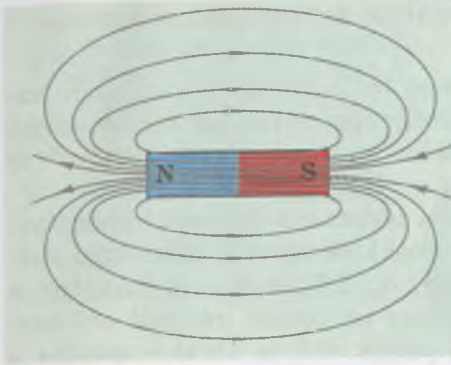
A *mágneses indukcióvektor irányául az adott pontban az ott elhelyezett mágnesű északi pólusának irányát választották* (2.2. ábra).

Figyeljétek meg! A mágneses tér részéről a töltött részecskékre, áramjárta vezetőre, vagy a mágnesűre ható erő iránya nem esik egybe a mágneses indukcióvektor irányával.

2 Ábrázoljuk a mágneses teret

A 2.2. ábrán láthatjuk, hogy a mágnesűk szigorú rendben állnak: tengelyeik vonalat alkotnak,

* Azt, hogy miként fejezhető ki 1 T a SI rendszer egyéb egységei segítségével, milyen képlet szerint határozható meg a mágneses indukció modulusa, milyen az áramjárta vezetőre a mágneses tér részéről ható erő iránya, a 4. §-ból tudhatjátok meg.



Mágneses vonalak:

- a mágnesen kívül az északi pólustól a déli pólus felé tartanak;
- minden esetben zártak (a mágneses tér – örvénytér);
- a mágnes pólusai közelében a legsűrűbbek;
- soha nem metszik egymást

2.3. ábra. Mágnesrúd mágneses terének erővonalai

a mágneses indukcióvektor iránya az összes pontban megegyezik az adott pontokhoz húzott érintők irányával.

A **mágneses indukcióvonalak** vagy **mágneses vonalak** olyan képzelt vonalak, amelyek bármely pontjába húzott érintő egybeesik a mágneses indukcióvektor irányával.

A mágneses teret mágneses vonalakkal ábrázolják:

- 1) a mágneses indukcióvonalak irányát az adott pontban a mágneses indukcióvektor iránya határozza meg;
- 2) a mágneses indukcióvonalak sűrűsége a tér azon pontjaiban a nagyobb, ahol nagyobb a mágneses indukció abszolút értéke.

Megvizsgálva a mágnesrúd mágneses terének grafikai ábrázolását, levonhatunk néhány következtetést (2.3. ábra). Megjegyezzük, hogy ezek a következtetések érvényesek bármilyen mágnes mágneses vonalai esetében.

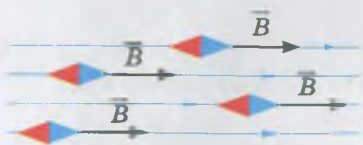
- Milyen a mágneses vonalak iránya a mágnesrúd belsejében?

A mágneses vonalak ábrázolása vasreszeléssel is történhet. Vesszünk egy mágnespatkót, ráhelyezünk egy plexilapot, majd szitán keresztül vasreszeléket szórunk a plexire. A mágneses térben a reszelékrészecskék megmágneseződnek és kis „mágnes-tűkké” válnak. Az improvizált „tűk” a mágnes mágneses terének indukcióvonalai mentén állapodnak meg (2.4. ábra).

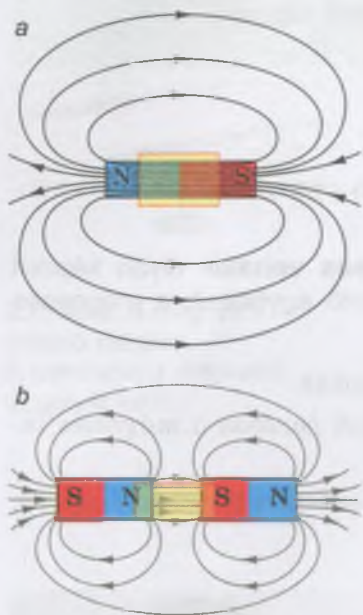
- Ábrázoljátok a füzetetekben a mágnespatkó mágneses vonalait. Jegyezzétek meg, hogy a mágneses vonalak mindig zártak!



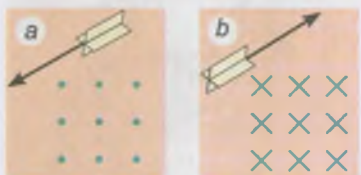
2.4. ábra. A vasreszelék által alkotott kép megmutatja a mágnespatkó mágneses terének indukcióvonalait



2.5. ábra. A tér azon része, ahol a mágneses tér homogén



2.6. ábra. A mágnesrúd belsejében lévő (a) és egymás felé különálló pólusai-
kal fordított két rúd közötti (b) mágneses tér homogénnek tekinthető



2.7. ábra. Homogén mágneses tér indukcióvonalainak ábrázolása, amelyek merőlegesek az ábra síkjára és felénk (a), valamint tőlünk elfelé (b) irányulnak

3 Megvizsgáljuk a homogén mágneses teret

A mágneses tér a tér egyes pontjában **homogén**, ha a *mágneses indukcióvektorok* annak minden pontjában azonosak abszolút értékük és irányuk szerint is (2.5. ábra).

A homogén térben a mágneses indukcióvonalak párhuzamosak és egyenlő távolságra vannak egymástól (2.5., 2.6. ábrák). A fizikában a homogén mágneses tér felénk irányuló erővonalait pontokkal jelölik (2.7. a ábra) – mintha a felénk repülő „nyílvevő” hegyét látnánk. Ha az erővonalak a velünk ellentétes irányba mutatnak, akkor kereszttel ábrázolják őket – mintha a tőlünk elfelé repülő „nyílvevő” végét látnánk (2.7. b ábra).

Érthető, hogy az esetek többségében nem homogén mágneses térrel van dolgunk – olyan térrel, amelynek különböző pontjaiban a mágneses indukcióvektorok eltérő iránnyal és értékkel rendelkeznek. Az ilyen tér mágneses erővonalai torzítottak és eltérő sűrűségűek.

4 Megvizsgáljuk a Föld mágneses terét

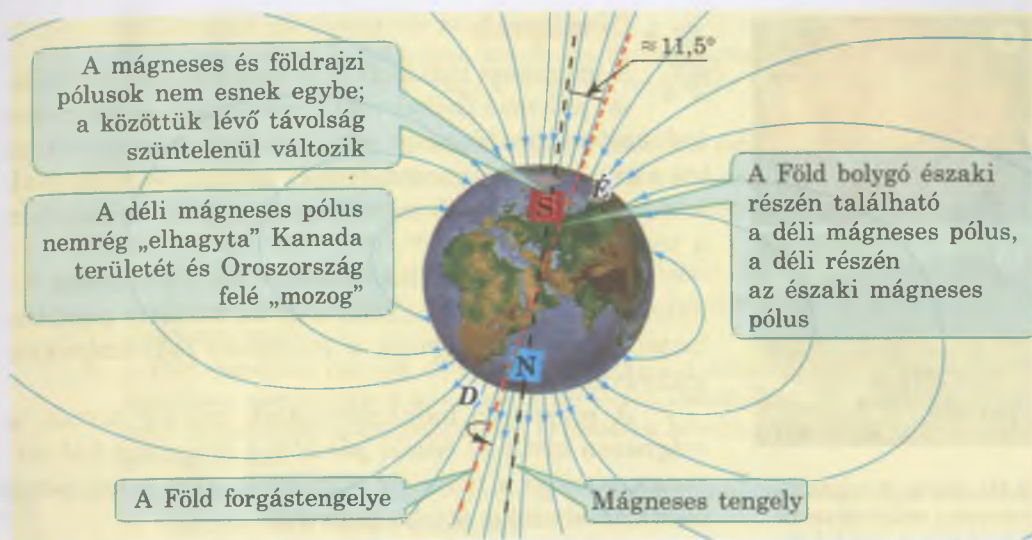
A Föld mágnességének vizsgálata érdekében William Gilbert mágneses anyagból golyót (a Föld modellje) készített. Iránytűt helyezve a golyóra megfigyelte, hogy annak pólusai ugyanúgy viselkednek, mint a Föld felszínén.

Kísérletei alapján a tudós megállapította, hogy a *Föld – egy nagy mágnes, és hogy bolygónk északi részén helyezkedik el annak déli mágneses pólusa*. A további kutatások megerősítették Gilbert hipotézisét.

A 2.8. ábrán láthatjátok a Föld mágneses indukcióvonalainak ábrázolását.

 Képzeljétek el, hogy az Északi-sarkon az iránytű mutatójával megegyező irányban utaztok. Vajon elértek úti célokat?

A Föld mágneses terének mágneses indukcióvonalai nem párhuzamosak annak felszínével. Ha a mágnesűt úgy állítanánk be, hogy elmozdulhasson mind a vízszintes, mind pedig a függőleges tengelye mentén, akkor a Föld felszínéhez viszonyítva bizonyos szögben állapodna meg.



2.8. ábra. Földünk mágneses tere erővonalainak elhelyezkedése

2 Szerintetek hogyan helyezkedne el a mágnesű a 2.9. ábrán látható szerkezetben a Föld északi pólusa mellett? A déli pólusa mellett?

A Föld mágneses tere ősidők óta segíti az utazók, tengerészek, katonák tájékozódását. De nem csak nekik van a segítségükre. Bebizonyították, hogy a halak, tengeri emlősök és madarak vándorlásuk idején szintén a Föld mágneses terének segítségével tájékozódnak. Hasonlóképpen tájékozódnak egyéb állatok is, például a macskák, hogy hazataláljanak.

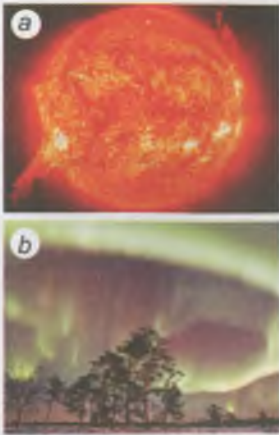


2.9. ábra. A 2. §-ban található feladathoz

5 Megismerkedünk a mágneses viharokkal

Alaposabb vizsgálatok kimutatták, hogy a Föld mágneses tere a felszínenek adott pontján rendszeresen, naponta változik. Ezenkívül a Föld mágneses terének évenkénti csekély változásai is megfigyelhetők. A Föld mágneses terének erős háborgásait, amelyek néhány órától néhány napig tartanak, *mágneses viharoknak* nevezik. Az egészséges emberek gyakorlatilag nem érzékelik ezeket, de a szív- és érrendszeri, valamint idegrendszeri betegségben szenvedők esetében a mágneses viharok a közérzet jelentős romlását válthatják ki.

A Föld mágneses tere egyfajta „pajzs” szerepét tölti be, amely védi bolygónkat az űrből, főleg a Nap felől irányunkba tartó töltött részecskéktől („nap-szélről”). A mágneses pólusok közelében a töltött részecskék viszonylag közel kerülnek Földünk atmoszférájához. A naptevékenység erősödésekor a kozmikus részecskék az atmoszféra felső rétegeibe kerülnek, és ionizálják a gázmolekulákat: ekkor figyelhető meg a Földön sarki fény (2.10. ábra).



2.10. ábra. A naptevékenység erősödésekor növekszik a napfoltok száma (a), a Földön pedig mágneses viharok és sarki fény (b) figyelhető meg



Összegezés

A mágneses indukció $\vec{B}$ a mágneses tér erőhatását jellemző fizikai vektormennyiség. A mágneses indukcióvektor iránya az adott pontban megegyezik az ott elhelyezett mágnesestű északi pólusának irányával. A mágneses indukció mértékegysége a SI rendszerben a tesla (T).

A mágneses indukcióvonalak vagy mágneses vonalak olyan képzelte vonalak, melyek bármely pontjába húzott érintő megegyezik a mágneses indukcióvektor irányával.

A mágneses indukcióvonalak mindig zártak, a mágnesen kívül az északi pólustól a déli pólus felé tartanak, azokon a helyeken sűrűbbek, ahol a mágneses indukció abszolút értéke nagyobb.

A Föld bolygó rendelkezik mágneses térrel. A Föld északi földrajzi pólusának közelében található a déli mágneses pólus, a déli földrajzi pólusának közelében az északi mágneses pólus.



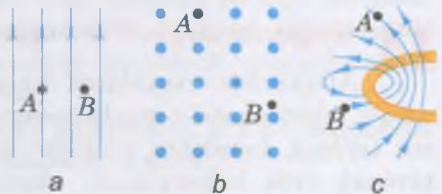
Ellenőrző kérdések

- Határozzátok meg a mágneses indukció fogalmát!
- Hova irányul a mágneses indukcióvektor?
- Mi a mágneses indukció mértékegysége a SI rendszerben?
- Mondjátok el a mágneses indukcióvonalak meghatározását!
- Milyen irányt választottak a mágneses erővonalak irányának?
- Mitől függ a mágneses erővonalak elhelyezkedésének sűrűsége?
- Milyen mágneses teret nevezünk homogénnek?
- Bizonyítsátok be, hogy a Föld rendelkezik mágneses térrel!
- Hogyan helyezkednek el a Föld mágneses pólusai a földrajzi pólusokhoz képest?
- Mi a mágneses vihar? Hogyan hat az emberi szervezetre?

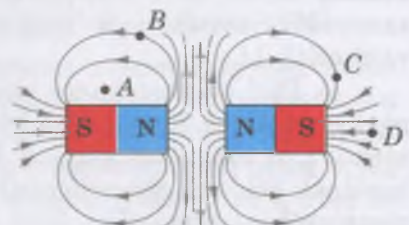


2. gyakorlat

- Az 1. ábrán a mágneses tér bizonyos szakaszán lévő mágneses indukcióvonalak ábrázolása látható. Az a, b és c esetek mindegyikére határozzátok meg:
 - milyen a mágneses tér – homogén vagy nem homogén;
 - a mágneses indukcióvektor irányát az A és B pontokban;
 - az A vagy a B pontban nagyobb-e a tér mágneses indukciója!
- Miért mágnesesződnek időnként az acél ablakrácsok?
- A 2. ábrán egymemű pólusaikkal egymás felé fordított két állandó mágnes által létrehozott mágneses tér ábrázolása látható.



1. ábra



2. ábra

- 1) Létezik-e mágneses tér az A pontban?
- 2) Milyen irányú a mágneses indukcióvektor a B pontban? A C pontban?
- 3) Melyik pontban – A , B vagy C – legnagyobb a tér mágneses indukciójának mértéke?
- 4) Milyen a mágneses indukcióvektorok iránya a mágnesek belsejében?
4. Régebben az északi-sarki expedíciók idején nehézségekbe ütközött a helyes haladási irány meghatározása, mivel a pólus közelében az iránytűk nem működtek. Szerintetek mi ennek az oka?
5. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával derítsétek ki, milyen hatása van a mágneses térnek a földi életre! Mi történne, ha hirtelen megszűnne a Föld mágneses tere?
6. A Föld felszínén vannak olyan területek, ahol a mágneses indukció mértéke jelentősen meghaladja a szomszédos területek indukciójának mértékét. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával keressetek bővebb információt a mágneses anomáliákról!
7. Magyarazzátok meg, miért vonzódik a töltéssel nem rendelkező bármely test az elektromosan töltött testekhez!



i

3. §. AZ ÁRAM MÁGNESES TERE. DUGÓHÚZÓ-SZABÁLY

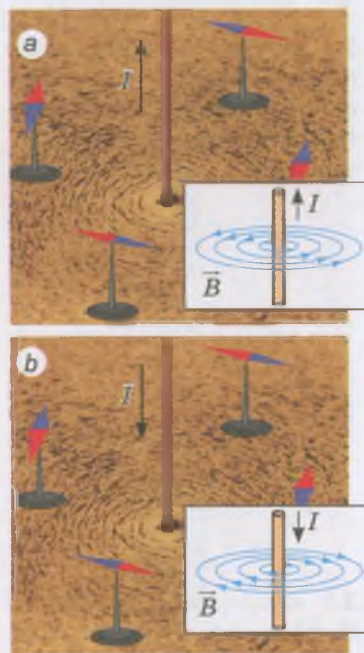
Már tudjátok, hogy az áramjárta vezető körül mágneses tér jön létre. Megvizsgáljuk ezt a tere vasreszelék segítségével. Ennek érdekében a vezetőt egy síkjára merőleges kartonlapon vezetjük át, amelyre vasreszeléket szórunk, majd zárjuk az áramkört. A vezető mágneses terében lévő reszelék mágnesesödik és meghatározott alakzatba formálódva megmutatja az áramjárta vezető mágneses terének indukcióvonalait – a vezetőt övező koncentrikus köröket (lásd a 3.1. ábrát). Hogyan határozható meg a mágneses vonalak iránya?

1

Megismerkedünk a dugóhúzó-szabállyal

A vezető közelében elhelyezünk néhány mágnesestűt és zárjuk az áramkört – a tűk orientálódnak a vezető mágneses terében (3.1. *a* ábra). Az összes mágnesestű északi pólusa az adott pontban lévő mágneses indukcióvektor irányába, vagyis a tér mágneses vonalainak irányába mutat.

A áramirány megváltoztatásával megváltozik a mágnesestűk orientációja is (3.1. *b* ábra). Ez azt jelenti, hogy a *mágneses vonalak iránya függ a vezetőben folyó áram irányától.*



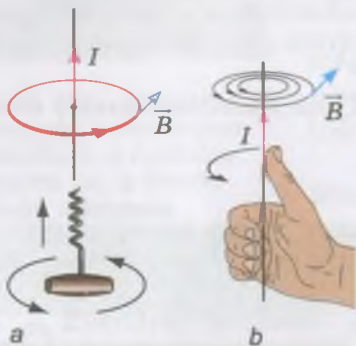
3.1. ábra. Az áramjárta vezető mágneses tere mágneses indukcióvektor-irányának meghatározása vasreszelék segítségével

Érthető, hogy a mágneses indukcióvektor irányának meghatározása vas-reszelék segítségével kényelmetlen, ezért a meghatározására a **dugóhúzó-szabályt** alkalmazzák.

Ha a dugóhúzó tengelyirányú haladása azonos az áram irányával, akkor az áram mágneses indukcióvektorának iránya megegyezik a dugóhúzó forgásának irányával (3.2. a ábra).

Vagy más megfogalmazásban:

Ha jobb kezünk kiegyenesített hüvelykujja a vezetékben folyó áram haladási irányába mutat, akkor négy behajlított ujjunk az áram mágneses terének irányát mutatja (3.2. b ábra).



3.2. ábra. Az áramjárta vezető mágneses tere indukcióvektor-irányának meghatározása a dugóhúzó-szabály segítségével



3.3. ábra. Az áramjárta vezető mágneses terének indukcióvonalai. A vezető az ábra síkjára merőlegesen helyezkedik el; a kereszt (x) azt jelenti, hogy az áramerősség a vezetékben tőlünk elfelé mozog

Győződjetek meg a dugóhúzó-szabály helyességéről a 3.1. ábrán mutatott esetben!

2 Tisztázzuk, mitől függ az áramjárta vezető mágneses tere indukcióvektorának abszolút értéke

Idézzétek fel, hogy az áramjárta vezető mágneses hatását elsőként Oersted fedezte fel 1820-ban. Vajon miért nem fedezték fel ezt a jelenséget korábban? Arról van szó, hogy a *vezetőtől történő távolodással csökken az általa létrehozott mágneses tér indukciója*. Vagyis, ha a mágnesetű nem a vezető közelében van, akkor az áram mágneses hatása szinte észrevehetetlen.

Figyeljétek meg a 3.3. ábrát! A vezetőtől történő távolodással miért csökken a mágneses indukcióvonalak sűrűsége? Azonosak-e a $\vec{B}_1$ és $\vec{B}_2$ vektorok modulusai?

A mágneses indukció ezenkívül függ az áramerősségtől is: *az áramerősség növekedésével növekszik a vezető által létrehozott mágneses tér indukciója*.

3 Megvizsgáljuk az áramjárta tekercs mágneses terét

Szigetelt huzalból tekercset készítünk, majd áramforráshoz kapcsoljuk. Ha a tekercs köré mágnesetűket helyezünk, azok a tekercs egyik vége felé északi pólusaikkal fordulnak, a másik felé pedig a délivel (3.4. ábra). Tehát a tekercs körül mágneses tér van.

A mágnesrúdhoz hasonlóan a tekercsnek is két pólusa van – északi és déli. A *tekercs pólusai annak végein helyezkednek el, helyzetüket könnyen meghatározhatjuk a jobbkéz-szabály segítségével:*

Ha jobb kezünk négy behajlított ujjja a tekercsben folyó áram irányát mutatja, akkor a 90° -ban kinyújtott hüvelykujjunk a tekercs mágneses terének északi pólusa felé mutat (3.5. ábra).

Összevetve az állandó mágnesrúd és az áramjárta tekercs erővonalainak képeit, könnyen észrevevesszük azok rendkívüli hasonlóságát (3.6. ábra). *Jegyezzük meg:* a mágnesű, a felfüggesztett tekercs és a felfüggesztett mágnesrúd a Föld mágneses terében azonos irányban áll be.



Összegezés

Az áramjárta vezető körül mágneses tér van. Az áram által létrehozott mágneses tér indukciója csökken a vezetőtől lévő távolság növekedésével és növekszik a vezetőben folyó áram erősségének a növekedésekor.

Az áramjárta vezető által létrehozott mágneses tér erővonalainak iránya mágnesű, illetve a dugóhúzó-szabály segítségével határozhatók meg.

Az áramjárta tekercs, az állandó mágnesekhez hasonlóan, két pólussal rendelkezik. Ezek a jobbkéz-szabály segítségével határozhatók meg: ha jobb kezünk négy behajlított ujjja a tekercsben folyó áram irányát mutatja, akkor a 90° -ban kinyújtott hüvelykujjunk a tekercs mágneses terének északi pólusa felé mutat.



Ellenőrző kérdések

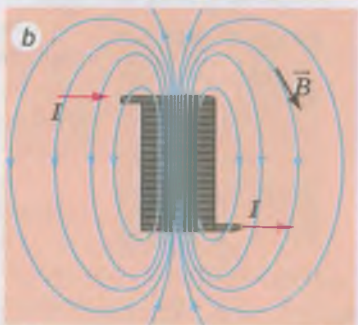
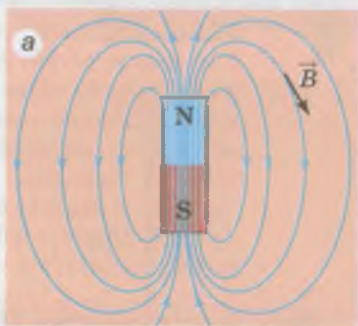
1. Hogyan határozható meg az áramjárta tekercs által gerjesztett mágneses tér erővonalainak iránya? 2. Fogalmazzátok meg a dugóhúzó-szabályt! 3. Hogyan függ az áram által létrehozott mágneses tér indukciója a vezetőtől lévő távolságtól? A vezetőben folyó áramerősségtől? 4. Milyen az alakja az egyenes áramjárta vezető által gerjesztett mágneses tér erővonalainak? Az áramjárta tekercs által gerjesztettné? 5. Hogyan határozhatók meg az áramjárta tekercs pólusai?



3.4. ábra. Az áramjárta tekercs mágneses terének vizsgálata mágnesűk segítségével



3.5. ábra. Az áramjárta tekercs mágneses pólusainak meghatározása jobbkéz-szabály segítségével

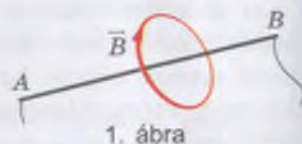


3.6. ábra. Mágnesrúd (a) és áramjárta tekercs (b) mágneses terének erővonalai

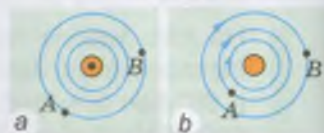


3. gyakorlat

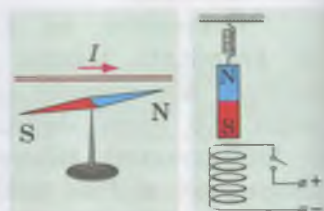
1. Az 1. ábrán az áramjárta vezető mágneses tereinek erővonalai láthatók. Határozzátok meg az áram irányát!
2. A 2. ábrán két áramjárta vezető mágneses tereinek erővonalai láthatók.
 - 1) Milyen irányú a 2. a ábrán látható vezető mágneses tere? 2) Milyen irányú a 2. b ábrán látható vezetőben folyó áram iránya? 3) Az A vagy B pontban erősebb a mágneses tér (2. a, b ábra)?
3. A mágnesű melyik pólusa fordul irányunkba (3. ábra)? Megváltozik-e a válasz, ha a mágnesűt a vezető felett helyezik el?
4. A tekercs fölül mágnesűt függesztettek (4. ábra). Hogyan viselkedik a mágnes, ha zárjuk az áramkört?
5. Határozzátok meg az 5. ábrán látható áramforrás pólusait!
6. Egyes berendezésekben nem kívánatos mágneses tér jön létre. Az ilyen berendezésekben *bifiláris tekercselést* használnak: a huzalt úgy tekercselik duplán, hogy mindkét vége egy oldalon legyen. Mi a lényege ennek a tekercselésnek?



1. ábra

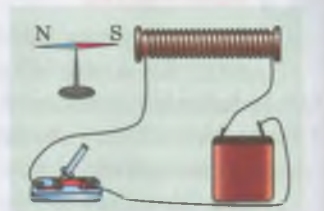


2. ábra



3. ábra

4. ábra



5. ábra



Kísérleti feladat

Elektromágneses iránytű. Készítsetek egy 7-10 mm átmérőjű és 4-5 cm hosszú papírhengert. A kapott vázra csévéljétek 20-30 menetnyi vékony, szigetelt vezetőt. Az így keletkezett tekercset rögzítsetek vízszintesen egy vékony deszkadarabhoz (dugóhoz), majd kapcsoljátok a végeit egy galvanánteleg sarkaihoz. Határozzátok meg, és tüntessétek fel a tekercs pólusait! Tegyétek a deszkát egy vízzel telt edénybe! Ezzel elkészült az elektromágneses iránytű. Hogyan működik? Helyezzetek a tekercsbe egy vasszöveget! Helyesen mutatja iránytűtök az észak-déli irányt?

Fizika és technika Ukrajnában



Oleksandr Illics Ahijezer (1911–2000) – neves ukrán elméleti fizikus, az UNTA tagja, az elméleti fizika tudományos iskolájának megalapítója. Tanítványai között olyan hírességek voltak, mint V. Barjahtar, D. Volkov, Sz. Peletminszkij, O. Szi-tenko akadémikusok és a tudományok mintegy 30 doktora.

Az ultrahang kristályokkal történő kölcsönhatásának vizsgálatakor Ahijezer kidolgozta a kvázirészecskék energiájának modulációja által elősegített, külső tér általi elnyelésének mechanizmusát, amelyet *Ahijezer-mechanizmusnak* neveztek el. A tudós dolgozta ki a rezonanciás magreakciók elméletét, alapkutatásaival eredményeket ért el a plazmafizika vizsgálata során, társaival közösen megfogalmazta a plazma elektrodinamikájának elméletét. V. Barjahtarral és Sz. Peletminszkijjal együtt új jelenséget fedezett fel – a magnetoakusztikus rezonanciát.

Ma a Harkivi Fizikai-Műszaki Főiskola Elméleti Fizikai Intézete viseli a nevét.

4. §. AZ AMPÈRE-FÉLE ERŐ

Az 1. § tananyagából már megtudtátok, hogy a mágneses tér bizonyos erővel hat az áramjárta vezetőre. A 8. osztályos fizika tananyagából emlékeztek, hogy az erő – vektormennyiség, ezért az erő teljes meghatározásához ki kell számítani annak értékét, és meghatározni az irányát. Ebből a paragrafusból megtudhatjátok, mitől függ annak az erőnek az értéke, amivel a mágneses tér hat az áramjárta vezetőre, milyen az iránya, és miért nevezik Ampère-féle erőnek.

1 Jellemezzük az áramjárta vezetőre ható erőt

Vesszünk egy egyenes alumínium vezetőt, majd függesztjük fel vékony és hajlékony huzalokra oly módon, hogy egy mágnespatkó pólusai közé kerüljön (4.1. a ábra). Amikor a vezetőben áram folyik, az kimozdul egyensúlyi helyzetéből (4.1. b ábra). Ennek az elmozdulásnak az oka a mágneses tér áramjárta vezetőre gyakorolt hatása. Ennek az erőnek a létezését André-Marie Ampère bizonyította, majd meghatározta, hogy mitől függ ez az erő, milyen az iránya és mekkora az értéke. Ezért nevezzük ezt az erőt *Ampère-féle erőnek*.

Az **Ampère-féle erőnek** a mágneses tér által az áramjárta vezetőre ható erőt nevezzük.

Az Ampère-féle erő egyenesen arányos a vezetőben folyó áram erősségével és a vezető aktív részével (a vezetőnek a mágneses térben elhelyezkedő szakaszával). Az Ampère-féle erő növekszik a mágneses tér erejének növekedésével és értéke függ a vezetőnek a mágneses tér erővonalaihoz képest elfoglalt helyzetétől.

Az *Ampère-féle erő értéke* (F_A) a következő képlettel határozható meg:

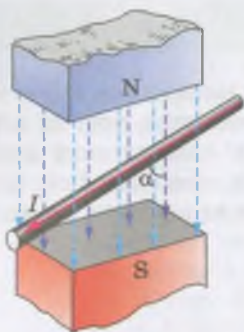
$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

ahol B – a mágneses tér mágneses indukciója; I – a vezetőben folyó áram erőssége; l – a vezető aktív részének hossza; α – a mágneses indukcióvektor és a vezetőben folyó áram iránya közötti szög (4.2. ábra).

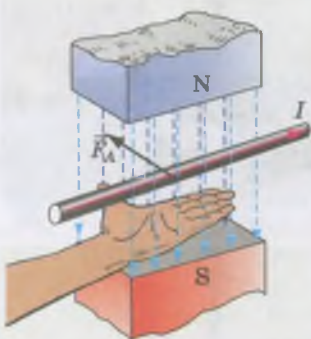
Figyeljétek meg! A mágneses tér nem hat az olyan vezetőre, amelyben nem folyik áram



4.1. ábra. A mágneses tér alumíniumból készült áramjárta vezetőre gyakorolt hatásának bemutatása: áram hiányában a mágneses tér nem hat a vezetőre (a); amikor a vezetőben áram folyik, az kilendül egyensúlyi helyzetéből (b)



4.2. ábra. α – a mágneses indukcióvektor és a vezetőkben folyó áram iránya közötti szög



4.3. ábra. Az Ampère-féle erő irányának meghatározása a balkéz-szabály segítségével



4.4. ábra. A 4. §-ban található feladathoz

($F_A = 0$), vagy ha a vezető a tér mágneses erővonalaival párhuzamosan helyezkedik el ($\sin \alpha = 0$).

Az Ampère-féle erő irányának meghatározására a balkéz-szabályt alkalmazzuk.

Ha bal kezünket úgy helyezzük el, hogy a mágneses tér indukcióvektorai a tenyerünkbe hatoljanak, kinyújtott négy ujjunk pedig az áram irányát mutassa a vezetőkben, akkor az oldalra derékszögben elhelyezkedő hüvelykujjunk a vezetőre ható Ampère-féle erő irányát mutatja (4.3. ábra).

A 4.4. ábrán függőleges mágneses térbe helyezett vezetőre ható Ampère-féle erő irányának meghatározása látható. Határozzátok meg a vezetőkben folyó áram, a mágneses indukcióvektor és az Ampère-féle erő irányát!

2 Megkapjuk a mágneses indukció meghatározására szolgáló képletet

Ha a vezető a mágneses indukcióvonalakra merőlegesen helyezkedik el ($\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$), akkor a tér maximális erővel hat a vezetőre:

$$F_{A \max} = BIl$$

Innen megkapjuk a mágneses indukció abszolút értékének meghatározására szolgáló képletet:

$$B = \frac{F_{A \max}}{Il}$$

Figyeljétek meg! A mágneses indukció értéke nem függ sem a vezetőkben folyó áram erősségétől, sem a vezető hosszától, hanem kizárólag a mágneses tér tulajdonságaitól.

Ha például csökken a vezetőkben folyó áram erőssége, akkor megváltozik a mágneses tér részéről a vezetőre ható Amper-féle erő is, a mágneses indukció értéke azonban változatlan marad.

A SI rendszerben a mágneses indukció mértékegysége a tesla (T), az erőé a newton (N), az áramerőssége az amper (A), a hosszúsága a méter (m), így:

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

1 T annak a homogén mágneses térnek az indukciója, amely maximális 1 N erővel hat az 1 m hosszú vezetőre, amelyben 1 A erősségű áram folyik.

3 Gyakoroljuk a feladatok megoldását

1. feladat. Bizonyítsátok be, hogy két párhuzamos vezető, amelyekben az áram iránya azonos, vonzza egymást!

A fizikai probléma elemzése. Minden áramjárta vezető mágneses teret kelt maga körül, tehát mindkét vezető a másik mágneses terében helyezkedik el. Az első vezetőre a másik mágneses tere Ampère-féle erővel hat, és ugyanez fordítva is igaz. Az Ampère-féle erő irányát a balkéz-szabállyal határozhatjuk meg, így meg tudjuk mondani, hogy azok vonzzák vagy taszítják-e egymást.

Megoldás

A feladat megoldását célszerű magyarázó rajz elkészítésével kezdeni, ahol feltüntetjük az A és B vezetőt, valamint a bennük folyó áram irányát.

Meghatározzuk az A vezetőre ható Ampère-féle erő irányát a B mágneses terében.

1) A dugóhúzó-szabály segítségével meghatározzuk a B vezető mágneses tere erővonalainak irányát (1. *a* ábra). Azt látjuk, hogy az A vezető környezetében a mágneses tér erővonalai felénk mutatnak ($\bullet$ jelölés).

2) A balkéz-szabályt alkalmazva meghatározzuk a B vezető mágneses terében az A vezetőre ható Ampère-féle erő irányát (1. *b* ábra).

3) Levonjuk a következtetést: az A vezetőt vonzza a B vezető.

Most meghatározzuk a B vezetőre az A mágneses terében ható Ampère-féle erő irányát.

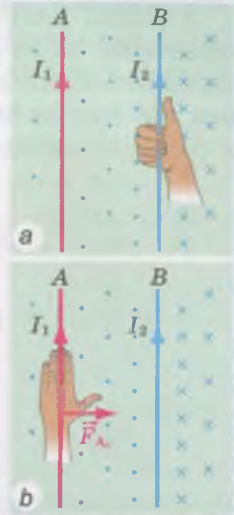
1) Meghatározzuk az A vezetőben folyó áram által keltett mágneses tér erővonalainak irányát (2. *a* ábra).

2) Meghatározzuk ebben a mágneses térben a B vezetőre ható Ampère-féle erő irányát (2. *b* ábra).

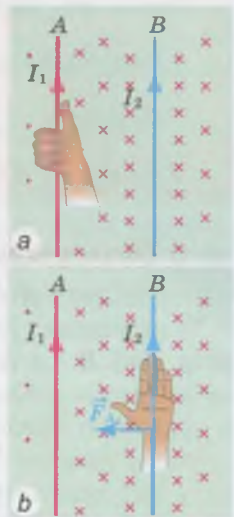
3) Levonjuk a következtetést: a B vezetőt vonzza az A vezető.

Felelet: két olyan párhuzamos vezető, amelyekben az áram iránya megegyezik, valóban vonzza egymást.

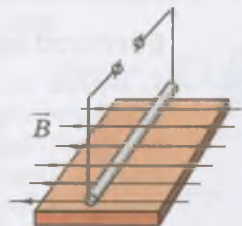
2. feladat A vízszintes helyzetben lévő, 0,1 m méter hosszú és 40 g tömegű egyenes vezető (rúd) 0,5 T értékű homogén mágneses térben helyezkedik el. A vezető iránya merőleges a tér mágneses erővonalaira (3. ábra). Milyen erősségű áramot kell áteresztetni a vezetőről, hogy az ne gyakoroljon nyomást a talapzatra (lebegjen a mágneses térben)?



1. ábra



2. ábra



3. ábra

A fizikai probléma elemzése. A vezető abban az esetben nem fog hatni a talapzatra, ha az Ampère-féle erő kiegyenlíti a nehézségi erőt. Ez a következő esetekben lehetséges: 1) az Ampère-féle erő a nehézségi erővel ellentétes irányban hat (vagyis függőlegesen felfelé); 2) az Ampère-féle erő értéke megegyezik a nehézségi erő értékével: $F_A = F_n$.

Az áram irányát a balkéz-szabály segítségével határozzuk meg.

Adva van:

$$l = 0,1 \text{ m}$$

$$m = 40 \text{ g} = 0,04 \text{ kg}$$

$$B = 0,5 \text{ T}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

Meghatározzuk:

$I = ?$

Matematikai modell felállítása, megoldás

1. Meghatározzuk az áram irányát. Ennek érdekében bal kezünket úgy helyezzük el, hogy a mágneses indukcióvonalak a tenyerünkbe hatoljanak, a derékszögben kiegyenesített hüvelykujunk pedig függőlegesen felfelé mutasson. A kinyújtott négy ujjunk a felőlünk elfelé tartó irányba mutat. Tehát az áram tőlünk elfelé tart.

2. Figyelembe vesszük, hogy $F_A = F_n$.

$F_A = BIl \sin \alpha$, ahol $\sin \alpha = 1$; $F_n = mg$.

Tehát, $BIl = mg$.

Inenn meghatározzuk az áramerősséget: $I = \frac{mg}{Bl}$.

Ellenőrizzük a mértékegységeket, meghatározzuk a keresett mennyiséget.

$$\text{Felidézzük: } T = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}; [I] = \frac{\text{kg} \cdot \text{N} \cdot \text{A} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{N} \cdot \text{m}} = \text{A}, \quad I = \frac{0,04 \cdot 10}{0,5 \cdot 0,1} = \frac{40}{5} = 8 \text{ (A)}.$$

Felelet: $I = 8 \text{ A}$; tőlünk elfelé.



Összegezés

Az áramjárta vezetőre mágneses térben ható erőt Ampère-féle erőnek nevezzük. Értékét az $F_A = BIl \sin \alpha$ képlet segítségével határozhatjuk meg, ahol B – a mágneses tér mágneses indukciója; I – a vezetőben folyó áram erőssége; l – a vezető aktív részének hossza; α – a mágneses indukcióvektor és a vezetőben folyó áram iránya közötti szög.

Az Ampère-féle erő irányát a balkéz-szabály segítségével határozzuk meg: ha a bal kezünket úgy helyezzük el, hogy a mágneses tér erővonalai a tenyerünkbe hatoljanak, és négy kinyújtott ujjunk a vezetőben folyó áram irányát mutassák, akkor a derékszögben kiegyenesített hüvelykujunk az Ampère-féle erő irányát mutatja.



Ellenőrző kérdések

1. Írjátok le azt a kísérletet, amely bizonyítja, hogy a mágneses térben az áramjárta vezetőre erő hat! 2. Mit nevezünk Ampère-féle erőnek? 3. Milyen tényezőktől függ az Ampère-féle erő értéke? Milyen képlet segítségével határozható meg? 4. Hogyan kell elhelyezni a vezetőt, hogy az Ampère-féle erő maximális legyen? Milyen esetben nem hat a mágneses tér a vezetőre? 5. Fogalmazzatok meg az Ampère-féle erő irányának meghatározására szolgáló szabályt! 6. Milyen képlettel határozható meg a mágneses indukció értéke? 7. Mi a mágneses indukció mértékegysége?



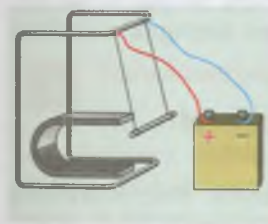
4. gyakorlat

1. Az 1. ábrán a vezetőben folyó áram és a mágneses tér erővonalainak az irányát ábrázolták. Határozzátok meg az Ampère-féle erő irányát az *a–d* esetek mindegyikében!

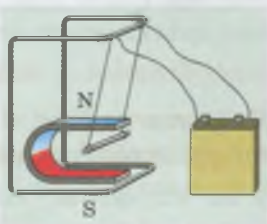


1. ábra

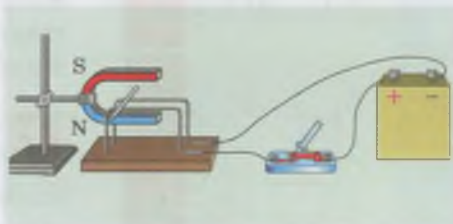
2. Egy 60 cm hosszúságú vezetón 0,2 A erősségű áram folyik. Határozzátok meg a vezetőre ható Ampère-féle erő legnagyobb és legkisebb értékét, ha a vezető 1,5 T indukciójú homogén térben helyezkedik el!
3. A 2. és 3. ábrákon az állandó mágnes mágneses terének hatására elmozduló áramjárta vezető látható. Határozzátok meg: a) a mágnes pólusait (2. ábra); b) az áramforrás pólusait (3. ábra)!
4. A 40 mT nagyságú homogén mágneses térben elhelyezett áramjárta vezetőre, amelyen 2,5 A erősségű áram folyik, 60 mN Ampère-féle erő hat. Határozzátok meg: a) mekkora a vezető hossza, ha a mágneses indukcióvonalakhoz viszonyítva 30°-os szögben helyezkedik el; b) mekkora munkát végzett a mágneses tér, ha az Ampère-féle erő hatására a vezető ezen erő mentén 0,5 méternyire mozdult el
5. Bizonyítsátok be, hogy két párhuzamos vezető, amelyekben az áram iránya ellentétes, taszítja egymást!
6. A vízszintes helyzetű, 5 g tömegű és 10 cm hosszú vezető a 25 mT indukciójú függőleges mágneses térben vékony lécen fekszik (4. ábra). Határozzátok meg: a) milyen irányban mozdul el a vezető az áramkör zárásakor; b) a súrlódási együtthatót, ha a vezetőben folyó 5 A erősségű áram hatására a vezető egyenes vonalú egyenletes mozgást végez!
7. Állítsátok össze a 4. §-ban található 2. feladat fordítottját!



2. ábra



3. ábra

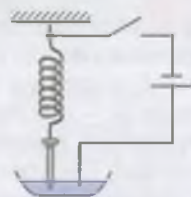


4. ábra



Kísérleti feladat

Sós motor. Puha fémrugóra függesztetek fel egy szöget úgy, hogy a hegyes vége érintse a tálban lévő sóoldat fel-színét (5. ábra)! Az 5. ábra alapján állítsátok össze áram-kört! Ha zárjátok az áramkört, a szög inogni kezd, ha bontjátok a kört, az ingás hirtelen abbamarad. Magya-rázzátok meg a tapasztalt jelenséget!



5. ábra

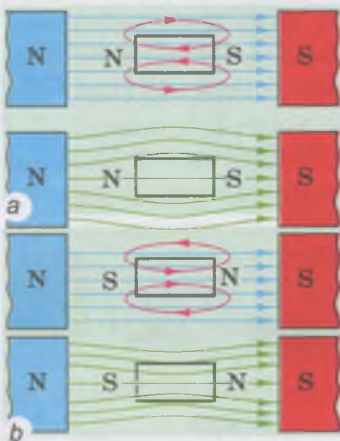


5. §. AZ ANYAGOK MÁGNESES TULAJDONSÁGAI. AMPÈRE HIPOTÉZISE

Bizonyára mindegyiketek látott már mágneset, sőt a tulajdonságait is tanulmányozta. Idézzétek fel: amikor apró tárgyakhoz közelítitek a mágneset és látjátok, hogy közülük egyesek (szögek, rajzszögek, iratkapcsok) hozzátapadnak a mágneshez, míg a többi (krétadarabok, réz és alumínium érmék, talajdarabkák) mozdulatlan marad. Mi ennek az oka? A mágneses térnek valóban semmiféle hatása nincs egyes anyagokra? A következő paragrafusban erre kaptok választ.



5.1. ábra. A negatív töltésű rúd elektromos terének hatására a vezető gömbnek a rúdhoz közeli részecskéi pozitív töltésűvé válnak



5.2. ábra. Diamágnes (a) és paramágnes (b) mintadarabok külső mágneses térben: *piros vonalak* – a mintadarab által létrehozott mágneses tér erővonalai; *kék vonalak* – a külső mágneses tér erővonalai; *zöld vonalak* – az eredő mágneses tér erővonalai

1

Összehasonlíttuk az elektromos és mágneses térnek az anyagokra gyakorolt hatását

A 8. osztályban az elektromos jelenségek tanulmányozása közben megtudtátok, hogy a külső elektromos tér hatására a töltés nélküli anyagban végbemegy a töltések átcsoportosítása (5.1. ábra). Ennek eredményeként az anyagban saját, a külsővel ellentétes irányú elektromos tér jön létre. Ez okozza az elektromos tér gyengülését az anyagban.

Az anyag a mágneses teret is megváltoztatja. Léteznek olyan anyagok (mint az elektromos tér esetében), amelyek saját magukon belül gyengítik a mágneses teret. Az ilyen anyagokat *diamágneseknek* nevezzük. Számos anyag ellenkező hatást vált ki, erősíti a mágneses teret. Ezek a *paramágnesek* és *ferromágnesek*.

Arról van szó, hogy a *mágneses térbe helyezett bármilyen anyag mágnesesződik*, azaz *saját mágneses teret hoz létre*, és az ilyen tér mágneses indukciója az egyes anyagok esetében eltérő.

2

Megismerkedünk a gyengén mágnesesződő anyagokkal

Azokat az anyagokat, amelyek mágnesesződés után gyenge mágneses teret hoznak létre, melynek indukciója jelentősen kisebb a külső mágneses tér indukciójánál (vagyis a mágnesesést okozó térnél), *gyengén mágnesesződő anyagoknak* nevezzük.

A diamágnesek (gör. *dia* – eltérés) mágnesesződnek és a *külsővel ellentétes irányú, gyenge mágneses teret hoznak létre* (5.2. a ábra). Ennek az az oka, hogy a diamágnesek *csekély mértékben gyengítik a külső mágneses teret*: a diamágnesek

belsejében lévő mágneses tér indukciója (B_D) kisebb a külső tér indukciójánál (B_0):

$$B_D \leq B_0; \quad \frac{B_D}{B_0} \approx 0,9998$$

Ha a diamágneszt mágneses térbe helyezik, a tér taszítani fogja azt (5.3. ábra).

Figyeljétek meg az 5.2. a ábrát, és magyarázzátok meg, miért taszítja a diamágneses anyagot a mágneses tér!

A diamágnesekhez tartoznak az inert gázok (hélium, neon, egyéb), számos fém (például arany, réz, higany, ezüst), molekuláris nitrogén, víz. Az emberei test szintén diamágnes, hiszen víztartalma átlagosan 78%.

A **paramágnesek** (gör. *para* – közel) mágnesesződnek, és *gyenge mágneses teret hoznak létre, melynek iránya a külső mágneses tér felé irányul* (5.2. b ábra). A paramágnesek csekély mértékben erősítik a külső teret: a paramágnes belsejében létrejövő mágneses tér indukciója (B_P) kissé nagyobb a külső mágneses tér indukciójánál (B_0):

$$B_P \geq B_0; \quad \frac{B_P}{B_0} \approx 1,001$$

A paramágnesekhez tartozik az oxigén, platina, alumínium, alkáli- és alkáliföldfémek. Ha paramágneses anyagot helyeznek mágneses térbe, akkor a tér vonzani fogja azt.

3 Tanulmányozzuk a ferromágneseket

Ha a gyengén mágneses anyagot kiveszik a mágneses térből, mágnességük azonnal eltűnik, eltérően az *erősen mágneses anyagoktól, azaz a ferromágnesektől*.

A **ferromágnesek** (lat. *ferrum* – vas) – olyan anyagok vagy materiák, amelyek a külső mágneses tér megszűntével is megtartják mágnességüket.

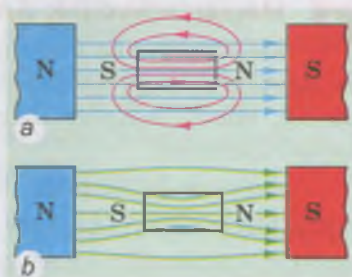
A ferromágnesek mágnesesződnek, és *erős mágness teret hoznak létre* (5.4., 5.5. a ábrák). Ha egy ferromágnesből készült tárgyat mágneses térbe helyeznek, a tér azt magához vonzza (5.5. b ábra).



5.3. ábra. A gyertyalángot taszítja a mágneses tér, mivel az égéstermékek diamágneses részecskék



5.4. ábra. A vasszőg a mágneses térben úgy mágnesesződik, hogy a mágnes északi pólusánál lévő hegyes vége déli pólussá válik, ezért a mágnes magához vonzza a szőget



5.5. ábra. A ferromágnesek erős, a külső mágneses tér felé irányuló mágneses teret hoznak létre (a); a mágneses indukcióvonalak mintegy behúzódnak a ferromágnesbe (b)



5.6. ábra. Az 5. §-ban található feladathoz

Egyes ferromágneses anyagok Curie-hőmérséklete

Anyag (matéria)	Hőmérséklet, C°
Gadolinium	+19
Vas	+770
Kobalt	+1115
Neodímium mágnese NdFeB	+320
Nikkel	+354

(ezeknek a berendezéseknek a felépítésével és működési elvével a későbbiekben ismertkedtek meg).

Figyeljétek meg! Miután eléri a *Curie-hőmérsékletet* (lásd a táblázatot), a kemény és lágy ferromágneses anyagok mágneses tulajdonságai megszűnnek: az anyagok paramágnesekké válnak.

4 Megismerkedünk Ampère hipotézisével

Megfigyelve az áramjárta vezető hatását a mágnesűre (lásd az 1.1. ábrát) és tisztázva, hogy az áramjárta tekercs állandó mágnesként viselkedik (lásd az 1.3. ábrát), Ampère megfogalmazta az anyagok mágneses tulajdonságairól szóló hipotézisét.

Ampère feltételezte, hogy az anyagok belsejében nagy mennyiségű csillapítatlan köráram található, és mindegyik köráram, mint egy kis tekercs, mágnesként viselkedik. Az állandó mágnes végtelen számú ilyen elementáris, meghatározott orientáltságú mágnesből áll.

Az anyagok mágnesesződését Ampère a következőképpen magyarázta. A nem mágneses testben a köráramok rendszertelenül folynak (5.7. a ábra). A külső mágneses tér ezeket a köráramokat olyan módon igyekszik beállítani, hogy minden egyes áram mágneses terének iránya megegyezzen a külső mágneses tér irányával (5.7. b ábra). Egyes anyagokban az áramok ilyen

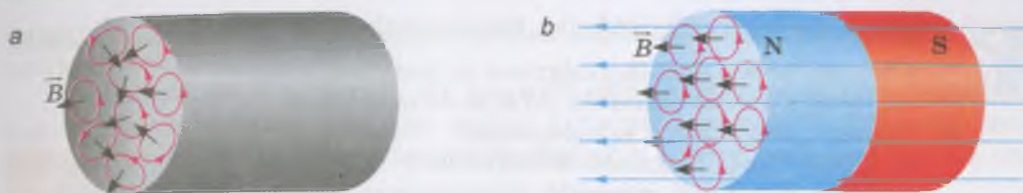
Magyarázzátok meg, hogy az állandó mágnesek miért kizárólag a ferromágneses anyagokból készült testeket vonzzák!

A ferromágneses anyagok listája viszonylag csekély: vas, nikkel, kobalt, ritkaföldfémek és egyes ötvözetek. A ferromágnesek jelentősen megnövelik a külső mágneses teret: a ferromágnesek belsejében lévő mágneses tér indukciója (B_F) több száz-, illetve ezerszerese a külső mágneses tér indukciójának (B_0):

$$B_F \gg B_0$$

Például a kobalt 175-szörösére növeli a mágneses teret, a nikkel 1120-szorosára, a 96–98%-ban vasból álló transzformátoracél 8000-szeresére.

A ferromágneses anyagok feltételesen két csoportra oszthatók. Azokat az anyagokat, amelyek a mágnesezés után hosszú ideig megtartják mágnesességüket, *kemény ferromágneseknek* nevezik. Ezeket állandó mágnesek előállítására használják. Az olyan ferromágneses anyagokat, amelyek könnyen mágnesesződnek, de gyorsan elveszítik mágnesességüket, *lágy ferromágneseknek* nevezik. Ilyen anyagokból készítik az elektromágneseket, motorokat, transzformátorokat, vagyis olyan berendezések magját, amelyek működés közben állandóan mágnesesződnek.



5.7. ábra. Testek mágneseződése Ampère hipotézise szerint: *a* – a köráramok rendszertelenül folynak, a test nem mágnesezett; *b* – a köráramok meghatározott rendben orientálódnak, a test mágneseződött

orientációja (mágnesezettsége) megmarad a külső mágneses tér megszüntetése után is. Tehát Ampère minden mágneses jelenséget a mozgásban lévő töltött részecskék kölcsönhatásával magyarázott.

Ampère hipotézise lökést adott a mágnesesség elméletének megalkotásához. Ennek a hipotézisnek az alapján magyarázták meg a ferromágnesek ismert tulajdonságait. Azonban Ampère hipotézisére alapozva lehetetlen megmagyarázni a dia- és a paramágnesességet, valamint azt, hogy az anyagoknak miért csak egy csekély része rendelkezik ferromágneses tulajdonságokkal. A mágnesesség modern elmélete a kvantummechanika törvényein és Einstein relativitáselméletén alapul.



Összegezés

A mágneses térbe helyezett bármilyen anyag mágneseződik, vagyis saját mágneses teret hoz létre.

Diamágnesek	Paramágnesek	Ferromágnesek
Mágneseződnek és a külső mágneses térrel ellentétes irányú gyenge mágneses teret hoznak létre	Mágneseződnek és a külső mágneses tér felé irányuló gyenge mágneses teret hoznak létre	Mágneseződnek és a külső mágneses tér felé irányuló erős mágneses teret hoznak létre; a külső mágneses tér megszüntével is megtartják mágnesességüket
inert gázok, arany, réz, higany, ezüst, nitrogén, víz, stb.	oxigén, platina, alumínium, alkáli és alkáli földfémek, stb.	vas, nikkel, kobalt, ritkaföldfémek (pl. neodímium), néhány ötvözet
csekély mértékben gyengítik a külső mágneses teret, amely taszítja őket	csekély mértékben erősítik a külső mágneses teret, amely vonzza őket	a külső mágneses teret több százszorosára és több ezerszeresére növelik, amely vonzza őket



Ellenőrző kérdések

1. Miért változtatja meg az anyag a mágneses teret? 2. Mondjatok példákat diamágnesekre; paramágnesekre; ferromágnesekre! 3. Merre irányul a diamágnesek mágneses tere? A paramágneseké? A ferromágneseké? 4. Hogyan viselkedik a külső mágneses térben a diamágnesből készült test? A paramágnesből készült? A ferromágnesből készült? 5. Miért számítanak a ferromágneses anyagok erős mágneseknek? 6. Hol használják a lágymágneses anyagokat? A keménymágneses anyagokat? 7. Hogyan magyarázta Ampère a ferromágnesek mágneseződését?



5. gyakorlat

1. Adva van kétféle acél: lágymágneses és keménymágneses. Melyik acélból állíthatók elő állandó mágnesek?
2. Milyen mágneses tulajdonsággal rendelkezik: a) a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb hőmérsékletre felhevített vas? b) a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb hőmérsékletre felhevített kobalt?
3. A rézhengert rugóra függesztették, és erős mágneses térbe helyezték (1. ábra). Hogyan változik ekkor a rugó megnyúlása?
4. Miért tartható állandó mágnesre függesztve a több vaspálcából álló lánc (2. ábra)?
5. Egy edény nagy nyomású gázelegyet tartalmaz (nitrogént és oxigént). Javasoljatok olyan módszert, amellyel az elegy alkotóelemeire választható szét!
6. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjatok meg minél többet a mágneses levitációról! A felhasználásának milyen perspektívái vannak?



1. ábra



2. ábra



Kísérleti feladat

Figyeljétek meg, hogyan viselkedik a nagyon erős mágnes a különböző anyagokból (pl. rézből, alumíniumból, vashból) készült tárgyakkal!



6. §. ELEKTROMÁGNESEK ÉS ALKALMAZÁSUK

Iskolai villanycsengő, villanymotor, vashulladék telepen működő emelődaru, vasércdúsító... Milyen kapcsolat elehet ezen nagyon eltérő eszközök között? A fizikában jártas ember tudja a választ: mindegyikben elektromágnest alkalmaznak. Derítsük ki tehát, mi az elektromágnes, milyen a felépítése, miként működik.

1

Kiderítjük, mitől függ az áramjárta tekercs mágneses ereje

Építsünk egy áramforrásból, tekercsből, reosztátból és ampermérőből álló áramkört. A tekercs fölé függesztünk dinamométerre egy vashengert (6.1. ábra).



6.1. ábra. Az áramjárta tekercs mágneses hatásának vizsgálata

Az áramkör zárása után a hengert vonzani kezdi a tekercs, ennek következtében az még jobban megnyújtja a dinamométer rugóját.

Érthető, hogy a vashengert annál erősebben vonzza a tekercs, minél nagyobb annak mágneses hatása.

Ha reosztáttal megváltoztatjuk a tekercsben folyó áram erősségét, kiderül, hogy nagyobb áramerősségnél a tekercs jobban vonzza a vashengert, amit a dinamométer egyre jobban

megnyúló rugója mutat. Az áramerősség növekedésével erősödik a tekercs mágneses hatása.

Cseréljük fel a tekercset egy nagyobb menetszámúval. Azt tapasztaljuk, hogy ugyanolyan erősségű áram mellett a nagyobb menetszámú tekercs vonzóereje a nagyobb. A menetszám növekedésével a tekercs mágneses hatása növekszik.

Helyezzünk a tekercs belsejébe egy ferromágneses anyagból készült vasrudat, vagyis egy magot. Ha zárjuk az áramkört, azt látjuk, hogy a vashenger „hozzátapad” a maghoz. A tekercs mágneses hatása a ferromágneses vasmag behelyezésétől lényegesen felerősödött.

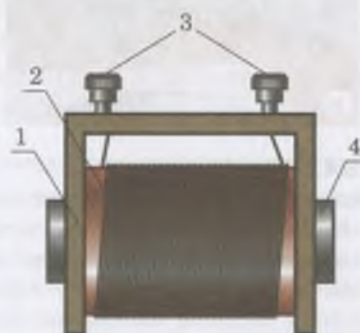
Idézzétek fel az anyagok mágneses tulajdonságait, és magyarázzátok meg, hogy a magot miért ferromágnesből állítják elő! Növekszik-e a tekercs mágneses hatása, ha a magot rézből vagy alumíniumból készítik?

2 Megismerkedünk az elektromágnesek felépítésével és alkalmazásával

A ferromágneses anyagból készült magot tartalmazó tekercset **elektromágnesnek** nevezzük.

Tekintsük át az elektromágnes felépítését (6.2 ábra). Minden elektromágnes rendelkezik egy szigetelőanyagból készült csévetesttel (1). A csévetestre szorosan szigetelt huzal van feltekerve: ez az elektromágnes tekercse (2). A tekercsek végeit speciális érintkezőkhöz (3) rögzítik, amelyek segítségével az elektromágnes áramkörbe kapcsolható. A csévetestben helyezkedik el a gyengén mágneses anyagból készült mag (4). A mag általában patkó alakú, mert az elektromágnes hatása ekkor a legerősebb.

Az elektromágnesek alkalmazási területe igen nagy, mivel mágneses hatásuk a tekercsben folyó áram erősségének változtatásával könnyen szabályozható. Ezenkívül bármilyen méretű és alakú elektromágnes elkészíthető. Nehéz olyan ágazatot találni a technikában, ahol ne használnának elektromágnest. Az megtalálható a háztartási eszközökben



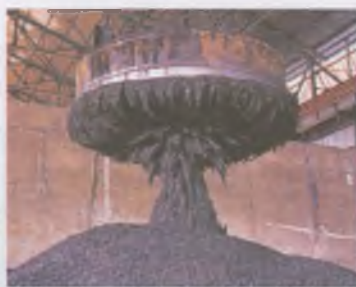
6.2. ábra. Elektromágnes felépítése: 1 – csévetest; 2 – tekercs; 3 – érintkezők; 4 – mag



6.3. ábra. Számos háztartási eszközben találhatunk elektromágnest



6.4. ábra. Az áramkör zárása után a vasmag magához vonzza a vasreszeléket (a); megszakításakor a vasreszelék lehullik (b)



6.5. ábra. Elektromágneses emelődaru

(6.3. ábra), villanymotorokban és elektromos generátorokban, elektromos mérőműszerekben és orvosi berendezésekben. Gigantikus elektromágnesekre van szükség a részecskegyorsító berendezésekben. Megvizsgáljuk az elektromágnesek felhasználását az elektromágneses emelődarukban és elektromágneses relékben.

3

Megismerkedünk az elektromágneses emelődaru és az elektromágneses relé működési elvével

Állítsunk össze elektromágnesből és áramforrásból áramkört. Zárva az áramkört azt tapasztaljuk, hogy a vasmag magához vonzza a vasreszeléket, így könnyedén elmozdíthatjuk azokat, például az asztal másik szélére (6.4. ábra).

Pontosan ilyen módon működnek az elektromágneses emelődaruk, amelyekkel vashulladékot, vasból készült egyéb testeket mozgatnak (6.5. ábra). Használatukkor nincs szükség semmiféle horogra, az elektromágnes ugyanis magához vonzza a vastárgyakat, így azok a megfelelő helyre juttathatók; ha nyitják az áramkört, a tárgyak ott maradnak, ahová letették őket.

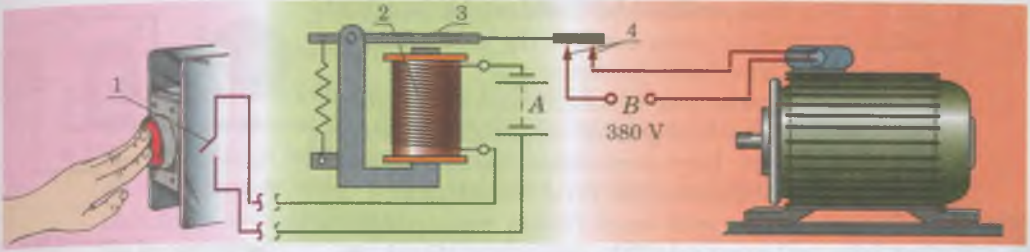
Az iparban gyakran alkalmaznak olyan áramfogyasztókat, amelyeken több száz, több ezer amper erősségű áram halad át. A kapcsoló sorba van kapcsolva a fogyasztóval, ezért rajta hasonlóan erős áram folyik. Az ilyen kapcsoló kezelése veszélyeztetheti a vezérlőpultot kezelő személyzet életét.

Ilyenkor *elektromágneses relét* – az áramkör vezérlésére alkalmas eszközöket (6.6. ábra) – használnak. *Figyeljétek meg:* a vezérlőpulton elhelyezett kapcsoló (1) és az elektromágnes (2) az *A* gyengeáramú forráshoz van kapcsolva, a fogyasztó (a 6.6. ábrán ez a villanymotor) pedig a *B* erősáramú forráshoz.



Összegezés

Az áramjárta tekercs mágneses hatása erősödik, ha növelik a tekercs menetszámát; ha növelik a tekercsen átfolyó áram erősségét; ha ferromágneses anyagból készült rudat – magot – helyeznek a tekercsbe.



6.6. ábra. Az elektromágneses relé működési elve. Az (1) kapcsoló zárása után az elektromágnesen (2) gyenge, veszélytelen elektromos áram folyik át. Ennek eredményeképpen az elektromágnes vasmagja magához vonzza a (3) kart. Amikor a kar leereszkedik és zárja a (4) kapcsoló érintkezőit, záródik a nagyteljesítményű villanymotort tápláló áramkör

A vasmagot tartalmazó tekercset elektromágnesnek nevezzük. Az elektromágneseket széles körben alkalmazzák a technikában, mivel az elektromágnes mágneses hatása könnyen szabályozható a tekercsen átfolyó áram erősségének megváltoztatásával; bármilyen formájú és méretű elektromágnes előállítható.



Ellenőrző kérdések

1. Mitől, és hogyan függ az áramjárta tekercs mágneses hatása? Magyarázzátok el a feleleteteket alátámasztó kísérletet!
2. Mit nevezünk elektromágnesnek? Milyen a felépítése?
3. Miért alkalmazzák a technikában széles körben az elektromágneseket?
4. Magyarázzátok meg az elektromágneses emelődaru működését!
5. Mire szolgálnak, és hogyan működnek az elektromágneses jelfogók? Írjátok le működési elvüket!

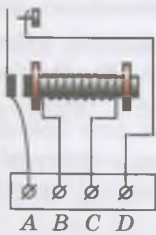


6. gyakorlat

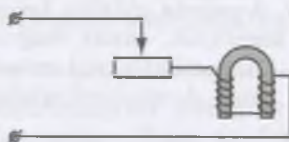
1. Az elektromágnes előállítására lágymágneses acél helyett keménymágneses acélt használtak. Milyen hiányossága lesz az ilyen elektromágnesnek?
2. Ha szigetelt huzalt tekerünk egy vasszögre, és annak végeit egy galvánelemekből álló telephez kapcsoljuk, igen egyszerű elektromágnest kapunk (1. ábra). Határozzátok meg az elektromágnes pólusainak helyét!
3. Az elektromos relé melyik érintkezőjéhez kell csatlakoztatni a gyenge (vezérlő) áramot (2. ábra)?
4. Hogyan változik meg az elektromágnes emelőereje, ha a reosztát csúszkáját jobbra toljuk (3. ábra)? A feleletet indokoljátok meg!
5. A 4. ábrán egy olyan automata vázlatát láthatjuk, amelyik bizonyos hőmérséklet elérésekor kezd működni. Nevezzétek meg az automata fő részeit, és magyarázzátok meg a működési elvét! Hol célszerű az ilyen automaták alkalmazása?



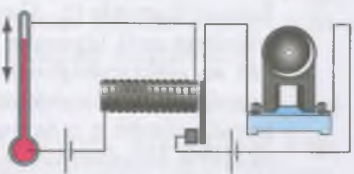
1. ábra



2. ábra



3. ábra



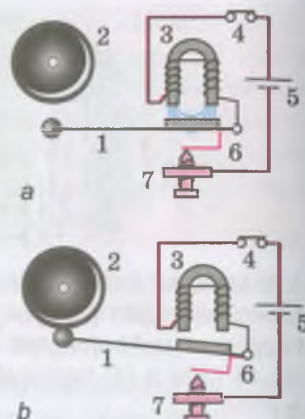
4. ábra

6. Az 5. ábra felhasználásával tisztázzátok, hogyan működik az elektromos csengő! Ha nem sikerül, használjatok kiegészítő forrásanyagot.
7. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjátok meg minél többet a mágneses szeparációról és arról, hogy milyen berendezésekben használják ezt a technológiát! Készítsetek rövid beszámolót
8. Jellemezzétek az erőt mint fizikai mennyiséget: mit jellemez, hogyan jelölik, skaláris vagy vektormennyiség, mi a mértékegysége!



Kísérleti feladat

Készítsetek egyszerű elektromágnest: tekercseljétek szigetelt huzalt egy vasszögre, és csatlakoztassátok a huzal végeit galvánteleg sarkaihoz (1. ábra)! Szakítsátok meg az áramkört, és rögzítsétek az elektromágnest vízszintes helyzetben, bizonyos távolságra az asztal felszínétől! Keverjétek össze papírdarabkákat, rizsszemeket, apró vastárgyakat (vasreszeléket)! Zárjátok az áramkört! Szórjátok lefelé lassan a keveréket a szög feje előtt, így különítve el a vasból készült tárgyakat! Gondolkodjatok el azon, hogyan lehetne tökéletesíteni ezt az eszközt!



5. ábra. Elektromos csengő működési elve: 1 – kalapács; 2 – csengő; 3 – ív alakú elektromágnes; 4 – nyomógomb; 5 – áramforrás; 6 – rugós érintkező, amely a 7 csavart érinti

1. SZÁMÚ LABORATÓRIUMI MUNKA



Téma: Egyszerű elektromágnes készítése és kipróbálása.

Cél: a legegyszerűbb elektromágnes elkészítésének megtanulása, és annak meghatározása, hogy mitől függ annak hatása.

Eszközök: ampermérő, szonda vagy dinamométer, mágnesű vagy iránytű, szigetelt rézhuzal, egyenáramú áramforrás, két vasrúd (vagy nagy vasszög), vasreszelék, reosztát, kapcsoló, összekötő vezetékek, állvány (ha dinamométert használtok).

Elméleti tudnivalók

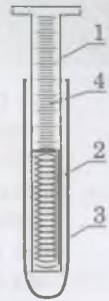
Az elektromágnes mágneses hatásának felmérésére *szondát* (mintavevő eszközt) használhatunk (1. ábra). A szonda műanyag tokban (3) elhelyezett rugóra (2) rögzített acél lapocska (1). A szonda oldalán beosztások vannak (4). Ha a szondát az elektromágneshez közelítjük, annak mágneses tere kölcsönhatásba lép a szonda acél lapocskájával. A lapocskát annál erősebben vonzza az elektromágnes, minél erősebb a mágneses hatás. A vonzóerő értékét az acél lapocskán elhelyezett skáláról olvashatjuk le.

Ha nem áll rendelkezésünkre ilyen szonda, az elektromágnes mágneses hatását *dinamométerrel* is megmérhetjük (lásd a 6.1. ábrát).

ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

Előkészület a kísérlethez

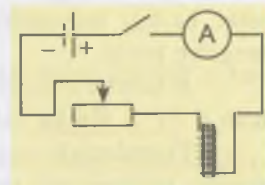
1. A munka megkezdése előtt idézzétek fel:
 - 1) az elektromos árammal végzett munka során betartandó biztonsági előírásokat;
 - 2) az áramerősség ampermérővel történő mérésekor betartandó szabályokat;
 - 3) hogyan függ az elektromágnes mágneses hatása a menetszámtól, a tekercsen átfolyó áram erősségétől és a vasmag meglététől!
2. Határozzátok meg az ampermérő és a dinamométer skálájának beosztásértékét!



1. ábra

Kísérlet

1. Készítetek eltérő menetszámú két elektromágnest! E célból vegyetek két azonos vasrudat, és csévéljétek rájuk 20 és 40 menet szigetelt rézhuzalt!
2. A nagyobb menetszámú elektromágnest használva építsétek meg a 2. ábrán látható áramkört!
3. Zárjátok az áramkört, és győződjétek meg arról, hogy az elektromágnes vonzza a vasreszeléket, azaz mágneses tulajdonságokat mutat!
4. Mágnestűvel vagy iránytűvel határozzátok meg az elektromágnes pólusait! Írjátok le ennek a menetét!
5. Állapítsátok meg, mitől függ az elektromágnes mágneses hatása!
 - 1) Reosztáttal állítsátok be a nagyobb menetszámú elektromágnes tekercsében folyó áram erősségét 0,5 A, majd 1,5 A értékre! Hasonlítsátok össze az elektromágnes mágneses hatását a két áramerősség-érték mellett!
 - 2) Vegyétek ki az elektromágnesből a vasmagot, majd állítsátok be a tekercsen átfolyó áram erősségét 1,5 A értékre! Határozzátok meg, hogyan befolyásolja a vasmag megléte az elektromágnes mágneses hatásának mértékét!
 - 3) Állítsátok össze a 2. ábrán látható áramkört a kisebb menetszámú elektromágnessel! Reosztáttal állítsátok be az áramerősséget 1,5 A-re! Állapítsátok meg, hogyan befolyásolja a menetszám csökkenése az elektromágnes mágneses hatását!



2. ábra

A kísérlet eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és eredményeit! Vonjatok le következtetést, megfogalmazva, hogy hogyan függ az elektromágnes mágneses hatása a rajta átfolyó áram erősségétől, a tekercs menetszámától és a vasmag meglététől!

Alkotói feladat

Lehetséges-e olyan elektromágnes készítése, amelynek áramkörbe kapcsolva mindkét végén déli mágneses pólusa van? Ellenőrizzétek kísérleti úton, hogy igaz-e a feltételezéseitek!



7. §. VILLANYMOTOROK. ELEKTROMOS MÉRŐMŰSZEREK. HANGSZÓRÓ

A gyakran tudományos kíváncsiságból végzett fizikai kutatások sikeres befejezés esetén általában új szakaszt nyitnak a technika fejlődésében. Ez történt az elektromágneses jelenségek tanulmányozása során is. Beszélgetés közben egy állami tisztviselő megkérdezte *Michael Faradayt*: „Ön szerint az elektromosság hoz valamilyen hasznót?” Faraday elnevette magát: „Néhány éven belül önök megadóztatják az elektromosságot.” Sok idő telt el azóta, és napjainkban már lehetetlen elképzelni az életünket például villanymotorok – ökológiailag tiszta, kényelmes, kompakt – berendezések nélkül. Az elektromos berendezések működési elvével a következő paragrafusban ismerkedhetek meg.

1

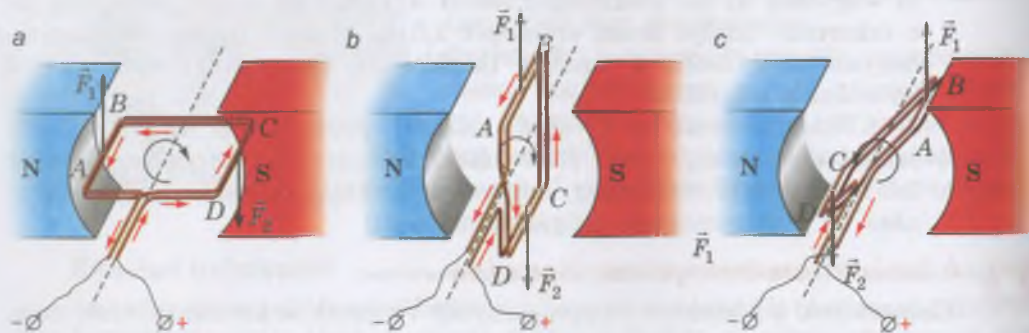
Tanulmányozzuk a mágneses tér hatását az áramjárta keretre

Vesszünk egy könnyű, néhány menetszámú szigetelt huzalból álló derékszögű keretet, és úgy helyezzük a mágnes pólusai közé, hogy könnyen foroghasson vízszintes tengelye körül.

A keretet áramforráshoz kapcsoljuk (7.1. *a* ábra). A keret elfordul, és néhány lengés után a 7.1. *b* ábrán látható helyzetben megáll. Ez a keret egyensúlyi helyzete.

Tisztázzuk, hogy *a keret miért kezdett el forogni*. A balkéz-szabályt alkalmazva határozzuk meg, mekkora Ampère-féle erő hat a keret egyes oldalaira a megfigyelés kezdetekor. A 7.1. *a* ábrán láthatjuk, hogy az *AB* oldalra ható $\vec{F}_1$ erő felfelé irányul, a *CD* oldalra ható $\vec{F}_2$ erő pedig lefelé. Tehát mindkét erő az óramutató járásával megegyező irányban forgatja a keretet.

Most meghatározzuk, *miért szűnt meg a keret mozgása*. Ennek az az oka, hogy amikor a keret túlhalad egyensúlyi helyzetén, akkor az Ampère-féle erők iránya megváltozik, ezért ezek most már az óramutató járásával ellenkező irányban forgatják a keretet (7.1. *c* ábra). Ennek eredményeként a keret ellenkező irányba fordul el, majd, miután túlhalad egyensúlyi helyzetén, a forgás iránya ismét megváltozik. Végül a súrlódási erők hatására a keret megáll.



7.1. ábra. A mágneses tér áramjárta vezetőkeretre gyakorolt hatásának vizsgálata (az áram irányát piros nyilak jelölik):

a – az Ampère-féle erők ($\vec{F}_1$ és $\vec{F}_2$) az óramutató járásával megegyező irányban fordítják el az *ABCD* keretet;

b – egyensúlyi helyzetben az Ampère-féle erők nem forgatják, hanem széthúzzák a keretet;

c – az Ampère-féle erők az óramutató járásával ellentétes irányban forgatják a keretet

A balkéz-szabály segítségével bizonyosodhatok meg róla, hogy a keretnek a 7.1. ábrán látható mindegyik helyzete esetében az AB oldalra ható $\vec{F}_1$ erő felfelé irányul, a CD oldalra ható $\vec{F}_2$ erő pedig lefelé.

2 Megvizsgáljuk, hogyan működik az egyenáramú villanymotor

A mágneses tér áramjárta vezetőkeretre gyakorolt forgató hatását az elektromotorok létrehozásakor hasznosították.

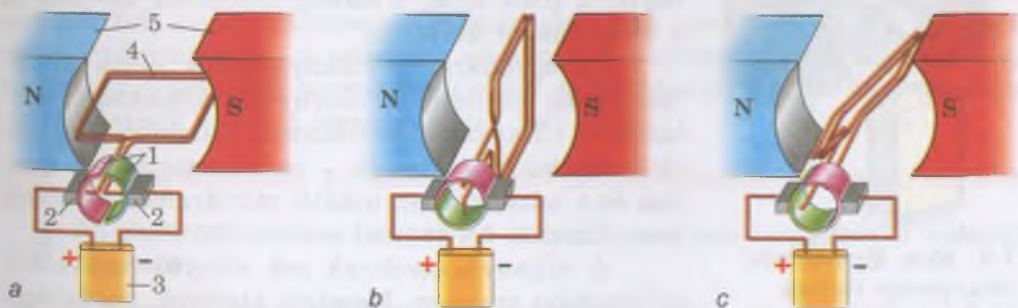
A **villanymotor** – a villamos energiát mechanikai energiává alakító eszköz.

Hogy megértsük az egyenáramú villanymotor működését, tisztázzuk, mi módon kényszeríthetnénk a vezetőkeretet folyamatos egyirányú forgásra. Nem nehéz rájönni: arra van szükség, hogy a keret egyensúlyi helyzetének pillanatában ellenkezőjére változzon az áram iránya.

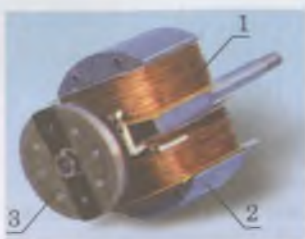
Azt az eszközt, amely automatikusan megváltoztatja az áram irányát a keretben, **kommutátornak** nevezzük.

A kommutátor működési elvét a 7.2. ábrán látható modell segítségével érthetjük meg. A kommutátor lényegében két félgűrű (1), amelyek mindegyikéhez egy-egy fém kefe (2) van hozzányomva. A vezetőből készült félgűrűket légrés választja el egymástól. Az áramforrás (3) feszültsége a kerethez (4) a kefék segítségével jut el. A keret könnyen foroghat a vízszintes tengely körül, és egy erős mágnes (5) pólusai között helyezkedik el. A kefék egyikét az áramforrás pozitív, a másikat a negatív pólusához csatlakoztatják.

A kör zárásakor a keret az Ampère-féle erő hatására az óramutató járásával megegyező irányban kezd forogni (7.2. a ábra). A félgűrűk a kerettel együtt forognak, a kefék pedig mozdulatlanok maradnak, ezért amikor a keret túlhalad az egyensúlyi helyzetén (7.2. b ábra), a kefékhez már másik félgűrűk nyomódnak (7.2. c ábra). Az áram iránya a keretben ezért ellenkezőjére változik, a forgás iránya pedig megmarad: a keret tovább forog az óramutató járásának irányában.



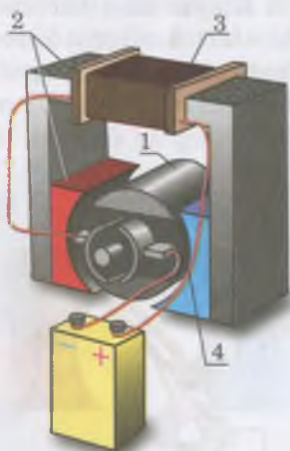
7.2. ábra. A kommutátor működési elvét bemutató modell (a). Miután túlhaladt az egyensúlyi állapoton (b), a kefék már másik félgűrűkhöz nyomódnak (c), ezért az áram iránya a keretben ellenkezőjére változik



7.3. ábra. Motor egyetlen tekercset tartalmazó forgó része: 1 – tekercs; 2 – mag; 3 – félgyűrűk



7.4. ábra. Motor tizenkét tekercset tartalmazó forgó része: 1 – a kommutátor lemezei; 2 – tekercs maggal



7.5. ábra. Egyenáramú villanymotor vázlata: 1 – rotor; 2 – sztátor; 3 – a sztátor tekercse; 4 – kommutátor

A keret *a* és *b* helyzetének esetében (lásd a 7.2. ábrát) határozhatók meg a keret oldalaira ható Ampère-féle erők irányát! Bizonyítsátok be, hogy az Ampère-féle erők a keretet mindkét esetben az óramutató járásának irányában forgatják.

Tehát a villanymotor megépítéséhez szükség van: 1) állandó vagy elektromágnesre; 2) huzalke-retre; 3) áramforrásra; 4) kommutátorra.

3. Növeljük a villanymotor teljesítményét

A keret forgását biztosító Ampère-féle erők egyenesen arányosak a vezető hosszával. Ezért a villanymotorok teljesítményének növelése érdekében a tekercseik nagy menetszámú huzalból állnak. A meneteket a vasmag speciálisan kialakított hornyaiba – lágymágnesű acélapokból készült hengerben – helyezik el. A vasmag és a tekercs együttesen alkotja a motor forgó részét vagy **rotorját** (lat. *rotare* – forogni szóból) (7.3. ábra).

A motor egyenletes forgásának biztosítása érdekében egy vasmagra több tekercset csévélnek fel. Az ilyen motor kommutátora nem két félgyűrűből, hanem több réziből áll, amelyek szigetelő aljzaton helyezkednek el (7.4. ábra).

A modern villanymotorokban (7.5. ábra) állandó mágnes helyett elektromágnest használnak, amely egységes egészet alkot a motor házával és annak álló részéül vagy **sztátorául** (lat. *stator* – mozdulatlanul álló) szolgál. Az álló rész tekercsét ugyanahhoz az áramforráshoz kapcsolják, mint a forgó részét. Amikor a forgó rész és az álló rész tekercseiben áram folyik, a rotor forog a sztátor mágneses terében, és a villanymotor működik.

Az egyenáramú villanymotorok egyik fő felhasználási területe az elektromos közlekedési eszközök – villamosok, trolibuszok, villanymozdonyok, elektromobilok, gépkocsik – indítómotorjai. Az iparban és a háztartásban inkább váltóáramú motorokat használnak.

A villanymotoroknak sok előnyük van a hőerőgépekkel szemben. Méreteik kisebbek, gazdaságosabbak (hatásfokuk elérheti a 98%-ot), használatuk kényelmes (könnyen szabályozható a teljesítményük), nem szennyezik a környezetet.

4 Megismerkedünk az elektromos mérőműszerek működési elvével

Az áramjárta keret mágneses térben történő forgásán alapul a *magnetoelektromos rendszerű* elektromos mérőműszerek – egyenáramú galvanométerek, ampermérők, voltmérők – működési elve.

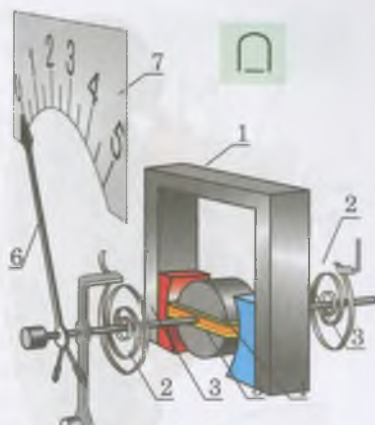
Az ilyen műszerek mérést végző mechanizmusát láthatjuk a 7.6. ábrán.

Ha a tekercsben (4) nem folyik áram, a spirálrugók (2) egyensúlyban tartják a féltengelyeket (3) és az azokhoz rögzített mutatót is (6) oly módon, hogy a mutató a nullán álljon.

Amikor a műszeren, s ezáltal a kereten keresztül áram folyik, az Ampère-féle erő hatására az állandó mágnes (1) mágneses terében a keret elfordul. A kerettel együtt fordulnak a féltengelyek, tehát a mutató is.

A tekercs forgása közben a rugók összehajlanak és nagyobb rugalmassági erő jön létre. Amikor a rugalmassági erők nyomatékai kiegyensúlyozzák az Ampère-féle erő nyomatékát, a forgás megszűnik, a mutató pedig az eredeti helyzetéhez képest meghatározott szögben elfordul. Minél nagyobb a kereten átfolyó áram erőssége, annál nagyobb a mutató elfordulási szöge, tehát annál nagyobb értéket mutat a műszer.

A magnetoelektromos mérőműszerek nagyon pontosak és igen érzékenyek.



7.6. ábra. A magnetoelektromos mérőműszerek mérőmechanizmusa:

- 1 – mozdulatlan állandó mágnes;
- 2 – spirálrugók;
- 3 – féltengelyek;
- 4 – a féltengelyekre mereven rögzített keret;
- 5 – mozdulatlan vasmag;
- 6 – mutató;
- 7 – skála

5 Összehasonlítjuk az ampermérőt és voltmérőt

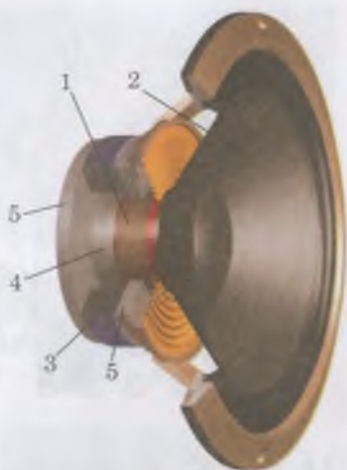
Az ampermérő és voltmérő belső felépítése majdnem ugyanolyan, csak elektromos ellenállásukban és skálájukban különböznek egymástól. Mivel az ampermérőt sorosan kapcsoljuk az áramkörbe, ellenállásának a lehető legkisebbnek kell lennie, különben a műszer jelentősen befolyásolná az áram erősségét az áramkörben. A voltmérőt viszont a fogyasztóval párhuzamosan kapcsoljuk az áramkörbe, vagyis hogy a kör áramerőssége nagyon ne változzon, ellenállásának a lehető legnagyobbnak kell lennie.

6 Megismerkedünk az elektrodinamikus hangszóró működési elvével

Az **elektrodinamikus hangszóró** az elektromos jelet hangjelzéssé átalakító szerkezet.

A hangot a 20 és 20 000 Hz frekvenciájú rezgést végző testek sugározzák (azaz 20 és 20 000 közötti számú rezgést végeznek másodpercenként)*.

* A hangról részletesebben a tankönyv III. fejezetében olvashattok.



7.7. ábra. Az elektrodinamikus hangszóró felépítése:
1 – hangtekercs; 2 – membrán (diffúzor); 3 – állandó mágnesgyűrű; 4 – mag;
5 – perem

A hangszóróban a rezgő test a *membrán* (diffúzor). Hogy megértsük, miként kényszeríthető áram segítségével a membrán rezgésre, megvizsgáljuk a hangszóró felépítését (7.7. ábra).

A hangszóró fő részei: *áramjárta tekercs* (hangtekercs) (1), amelyhez a membrán (2) rögzítődik, valamint a *mágneses rendszer*, amely állandó mágnesgyűrűből (3), acélhengerből (mágból) (4) és két acéllemezből (peremből) (5) áll.

Ha a tekercsen áram folyik, a meneteire Ampère-féle erők hatnak, amelyek a mag körüli forgásra kényszerítik azt, így a tekercs behúzódik a mágnesgyűrű részébe. Amikor a tekercsben az áramerősség a hangfrekvenciával megváltozik, hasonlóképpen változnak az Ampère-féle erők is – a tekercs hol erősebben, hol gyengébben húzódik be a részbe (az áramerősség változásának ritmusában rezeg). A tekercssel együtt rezeg a hozzá rögzített membrán is, amely „tolja” a levegőt, és ezzel hanghullámokat hoz létre – a hangszóró hangot sugároz.



Összegezés

Az Ampère-féle erők hatására az áramjárta keret a mágneses térben elfordul. A vezetőkeret mágneses térben történő forgását a villanymotorokban alkalmazzák. A motor forgó része, a rotor fémmagból és keretből áll, amelyek áramellátását a kommutátor biztosítja. A rotor egy erős elektromágnes, a státor mágneses terében forog.

A galvanométer, ampermérő és voltmérő – magnetoelektromos rendszerű mérőműszerek. Működési elvük az áramjárta keretnek az állandó mágnes mágneses terében történő forgásán alapul.



Ellenőrző kérdések

1. Miért forog az áramjárta keret a mágneses térben? Miért áll meg?
2. Nevezd meg a villanymotor fő részeit! Melyik rész „felel” a rotor folytonos forgásáért?
3. Mi a villanymotor státora?
4. Soroljátok fel a villanymotorok gőzerőgépekkel szembeni előnyeit!
5. Jellemezzétek a magnetoelektromos mérőműszerek felépítését és működési elvét!
6. Van-e különbség az ampermérő és voltmérő felépítése és működési elve között? Ha igen, akkor soroljátok fel azokat!
7. Írjátok le a hangszóró felépítését és működési elvét!



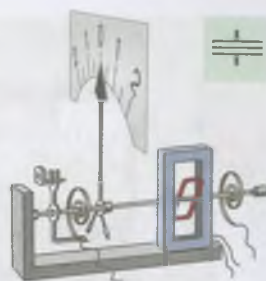
7. gyakorlat

1. Az 1. ábrán az állandó mágnes mágneses terében forgó áramjárta keret látható. Határozzátok meg az áram irányát a keretben!



1. ábra

2. Miért csökken jelentős mértékben a körben az áramerősség, ha a voltmérőt sorosan iktatjuk bele?
3. A magnetoelektromos mérőműszerek csatlakozóin feltűntetik a polaritást („+” és „-”). Mi történik akkor, ha a műszer bekapcsolásakor nem tartják be a polaritást?
4. A villanymotornak számtalan előnye van a hőerőgépekkel szemben. Vajon az emberiség miért nem szünteti meg a hőerőgépek használatát?
5. A magnetoelektromos rendszerű mérőműszereken kívül léteznek elektrodinamikus és elektromágneses műszerek is. Az elektrodinamikus rendszerű mérőműszerekben (2. ábra) állandó mágnes helyett elektromágnes található. Az elektromágneses rendszerű mérőműszerek (3. ábra) működési elve azon alapul, hogy a ferromágneses lemez mintegy beszippantja az áramjárta álló tekercset. Figyeljétek meg a 2. és 3. ábrát, és próbáljátok megmagyarázni, hogyan működnek az ott látható műszerek! Ha szükséges, használjatok kiegészítő forrásanyagot.



2. ábra



3. ábra



6. Idézzétek fel, mi az elektromos áram! Mondjátok el a meghatározását! Milyen feltételek mellett jön létre?



Kísérleti feladat

Vizsgáljátok meg egy játékból kiszerelt villanymotor szerkezetét! Csatlakoztassátok a motort egy telephez, és figyeljétek meg forgásának irányát! Hogyan lehetne a forgásirányt ellenkezőjére változtatni? Ellenőrizzétek feltételezések helyességét!

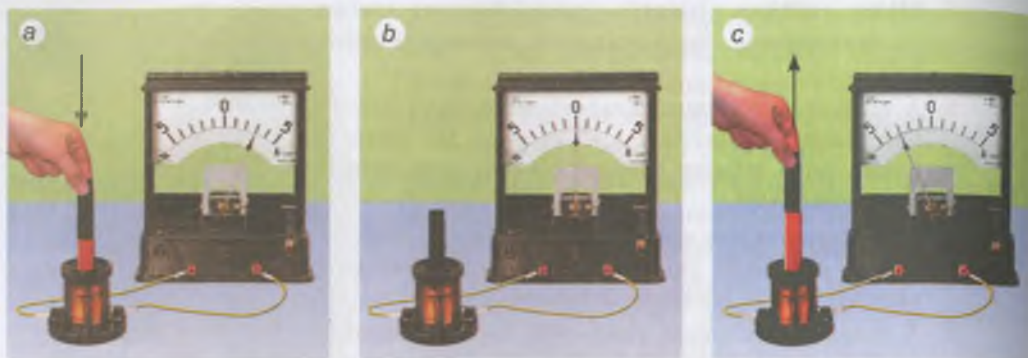
8. §. FARADAY KÍSÉRLETEI. AZ ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ JELENSÉGE. INDUKÁLT ELEKTROMOS ÁRAM

Oersted és Ampère kísérletei (lásd az 1. §-t) bebizonyították, hogy az elektromos áram mágneses teret hoz létre. Vajon meg lehet-e fordítani a folyamatot, azaz előállítható-e mágneses tér segítségével elektromos áram? 1831. augusztus 29-én, több mint 16 ezer kísérlet elvégzése után Michael Faraday angol fizikus és vegyész sikeresen állított elő elektromos áramot állandó mágnes mágneses terének segítségével. Vajon mi Faraday kísérletének a lényege, és milyen jelentősége volt a felfedezésének?

1

Megismételjük Faraday kísérleteit

Helyezzünk állandó mágneset tekercs belsejébe, majd kössük a tekercs végeit galvanométerhez. A mágnes mozgása során a galvanométer mutatója

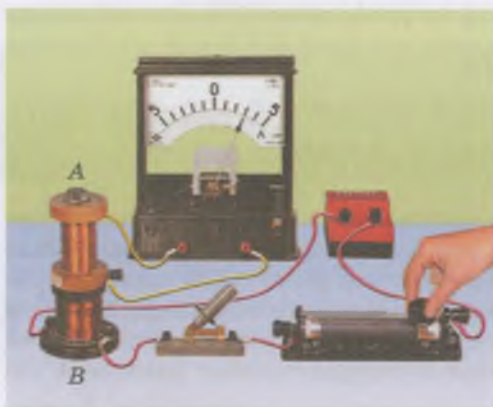


8.1. ábra. A tekercsben folyó áramot galvanométerrel mutatjuk ki: *a* – amikor a mágnes a tekercsben befelé mozog, a mutató jobbra lendül ki; *b* – ha a mágnes mozdulatlan, a tekercsben nincs áram, és a mutató sem lendül ki; *c* – amikor a mágnes a tekercsből kifelé mozog, a mutató balra fordul el

kilendül, ami elektromos áram jelenlétéről tanúskodik (8.1. *a* ábra). Minél gyorsabban mozgatjuk a mágnest, annál erősebb lesz az áram; és amint a mágnes mozgása megszűnik, az áram is eltűnik, a galvanométer mutatója visszatér a nulla beosztáshoz (8.1. *b* ábra). Ha a mágnest kivesszük a tekercsből, a galvanométer mutatója ellenkező irányba lendül ki (8.1. *c* ábra), a mágnes mozgásának megszűntekor pedig ismét visszaáll a nullára.

Ha a mágnest mozdulatlanul hagyjuk, és a tekercset mozdítjuk el (a mágnes felé, vagy azzal ellentétes irányba, vagy annak pólusaihoz közelítve), a galvanométer mutatója ismét kilendül.

Vegyünk két, *A* és *B* tekercset, és helyezzük azokat ugyanarra a vas-magra (8.2. ábra). A *B* tekercset reosztát közbeiktatásával kössük áramforráshoz, az *A* tekercset pedig kapcsoljuk galvanométerhez. Ha elmozdítjuk a reosztát csúszkáját, azt tapasztaljuk, hogy az *A* tekercsben áram indukálódik.



8.2. ábra. Ha zárjuk vagy nyitjuk a *B* tekercs áramkört, vagy megváltoztatjuk a rajta átfolyó áram erősségét, akkor az *A* tekercsben áram indukálódik

Az áram akkor is létrejön, ha a *B* tekercsen növeljük vagy csökkentjük az áramerősséget. Viszont az áram iránya eltérő lesz: a galvanométer mutatója az áramerősség növekedésekor az egyik, csökkenésekor pedig a másik irányba tér ki. Az *A* tekercsben szintén a *B* tekercs körének zárása és nyitása pillanatában keletkezik áram.

 Szerintetek az *A* tekercsben indukálódik áram (8.2. ábra), ha elmozdítják a *B* tekercshez viszonyítva?

Az elvégzett kísérletek a mai változatai annak a Michael Faraday 10 éven át végzett kísérletsorozatának,

amelynek eredményeként arra a következtetésre jutott, hogy *a zárt tekercsben elektromos áram csak akkor jön létre, ha a felszínén áthaladó mágneses indukcióvonalak száma megváltozik.*

Ezt a jelenséget **elektromágneses indukciónak**, a keletkezett áramot pedig **indukált áramnak** nevezték el (8.3. ábra).

 Létrejöh-e indukált áram a zárt huzalke-
ret belsejében, ha a keretet fokozatosan
(nem forgatva) áthúzzák az elektromágnes
pólusai között (8.4. ábra)?

2 Kiderítjük az indukált áram keletkezésének okait

Megállapítottuk, milyen körülmények között keletkezik zárt tekercsben elektromos áram. Vajon mi az oka a létrejöttének? Két esetet vizsgálunk meg.

1. *A huzalkeret mozog a mágneses térben* (8.3. *a* ábra). Ha a vezető mozog a mágneses térben, akkor a vezető belsejében lévő szabad töltésű részecskék vele együtt mozognak egy meghatározott irányban. A mozgó töltéssel rendelkező részecskékre a mágneses tér erőhatást gyakorol. Ennek az erőnek a hatására a részecskék a vezető hosszában irányított mozgásba kezdenek – a vezetőben indukált áram jön létre.

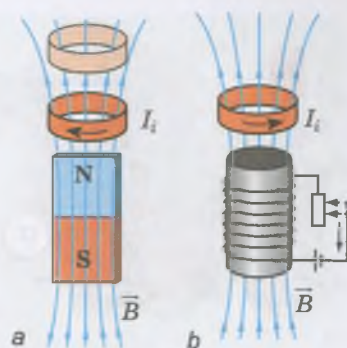
2. *A mozdulatlan huzalkeret változó mágneses térben helyezkedik el* (8.3. *b* ábra). Ebben az esetben a mágneses tér részéről ható erők eredményeként a huzalban lévő részecskék nem kezdenek kaotikus mozgásba. Akkor vajon miért jön létre a keretben áram? Arról van szó, hogy a **változó mágneses teret minden esetben elektromos örvénytér veszi körül** (az ilyen tér erővonalai zártak).

A vezetőben lévő szabad töltésű részecskékre nem a mágneses, hanem az elektromos tér hat, irányított mozgásra kényszerítve azokat, és indukált áramot hozva létre.

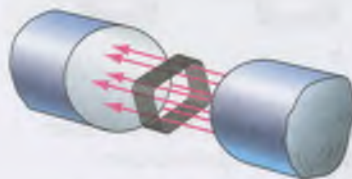
3 Meghatározzuk az indukált áram irányát

Az indukált áram irányának meghatározásához zárt tekercset használunk. Ha megváltozik a tekercsen áthaladó mágneses tér (például közelítik vagy távolítják a mágnezt), akkor a tekercsben indukált áram keletkezik. Ennek következtében a tekercs mágnessé válik. A kísérletek arról tanúskodnak, hogy:

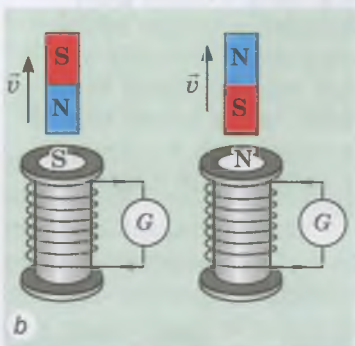
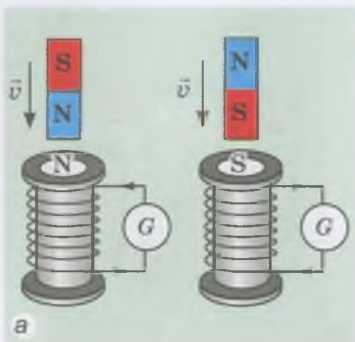
1) ha a tekercshez közelítik a mágnezt, akkor azt a mágnes taszítani fogja; 2) ha a mágnezt távolítják a tekercstől, a tekercs vonzódik a mágneshez.



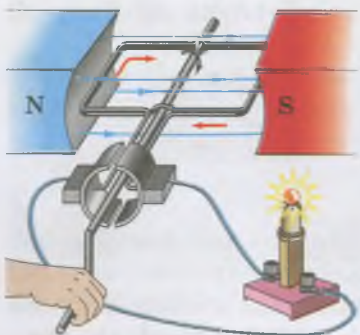
8.3. ábra. Indukált áram létrejötte a kereten áthaladó mágneses erővonalak számának megváltoztatása következtében: *a* – a keretet közelítik a mágneshez; *b* – gyengítik a keretet övező mágneses teret



8.4. ábra. A 8. §-ban található feladathoz



8.5. ábra. Az indukált áram iránya zárt tekercsben: a – a mágnes a tekercshez közeledik; b – a mágnes a tekercstől távolodik



8.6. ábra. Amikor a keret mágneses térben forog, benne indukált áram keletkezik

Ez a következőt jelenti:

1) ha a tekercsen áthatoló mágneses erővonalak száma növekszik (a tekercs belsejében erősödik a mágneses tér), akkor abban olyan irányú indukált áram keletkezik, hogy a tekercs és a mágnes egymemű pólusaival fordulnak egymás felé (8.5. a ábra);

2) ha a tekercsen áthaladó mágneses erővonalak száma csökken, akkor a tekercsben olyan irányú áram jön létre, hogy a tekercs és a mágnes különmemű pólusaival fordulnak egymás felé (8.5. b ábra).

Ismerve a tekercs pólusait, a jobbkeз-szabály segítségével (lásd a 3. §-t) meghatározható az indukált áram iránya. Hasonlóképpen határozható meg az indukált áram iránya abban az esetben is, amikor a két tekercs közös vasmagon helyezkedik el (lásd a 8. § *Gyakoroljuk a feladatok megoldását!* rubrikájának 5. pontját).

4 Megismerkedünk az ipari áramforrásokkal

Az elektromágneses indukció jelenségét az elektromos generátorokban alkalmazzák, amelyek nélkül elképzelhetetlen a modern energetika.

Az elektromos generátorok a mechanikai munkát elektromos energiává átalakító berendezések.

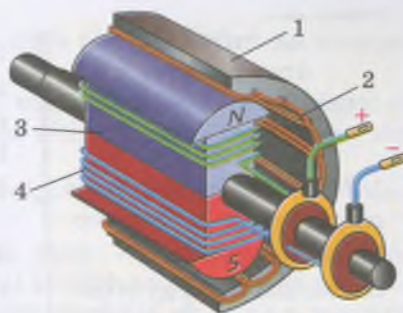
Hogy megértsük a generátorok működését, végezzünk el egy kísérletet. Vegyünk egy néhány menetes vezetőkeretet, és forgassuk egy állandó mágnes mágneses terében (8.6. ábra). A keret forgása során megváltozik a kereten áthaladó mágneses erővonalak száma: egyszer csökken, másszor növekszik. A keretben ezért áram indukálódik, amelyet az izzó felfénylése bizonyít.

A mai ipari generátorok felépítése gyakorlatilag megegyezik a villanymotorokéval. A működési elvük azonban a motorokénak a fordítottja. A generátor, ahogy a villanymotor is, státorból és rotorból áll (8.7. ábra). A masszív álló rész (1) egy üreges henger, amelynek belső felületén vastag szigetelt rézhuzal helyezkedik el – ez az álló rész tekercse (2). Az álló rész belsejében forog a rotor (3). A villanymotorokéhoz hasonlóan a rotor

egy henger, amelynek hornyaiban fekszik a rotor tekercse (4). A rotor tekercsére egyen-
áramú áramforrást kapcsolnak.

A rotor tekercsében folyó áram mág-
neses teret hoz létre a rotor környezetében,
amely áthalad a státor tekercsén.

Gőznyomás (atomerőművekben és
hőerőművekben) vagy bizonyos magas-
ságból zúduló víz hatására (vízi erőmű-
vekben) a generátor rotorja gyors forgást
végez. Ennek eredményeképpen az álló ré-
szén áthatoló mágneses tér megváltozik,
az elektromágneses indukció következtében
annak tekercsében elektromos áram induká-
lódik. Többszöri átalakítás után ez az áram
jut el a fogyasztókhoz.



8.7. ábra. Elektromos generátor
felépítésének vázlata:

- 1 – státor;
- 2 – a státor tekercse;
- 3 – rotor;
- 4 – a rotor tekercse

5

Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. Tekercset és alumíniumgyű-
rűt vasmagra helyeztek (1. ábra). Határozzá-
tok meg a gyűrűben az áramkör zárásakor
létrejött indukált áram irányát! Hogyan visel-
kedik a gyűrű az áramkör zárásának pill-
anatában? Bizonyos idő elteltével? Az áramkör
nyitásának pillanatában?

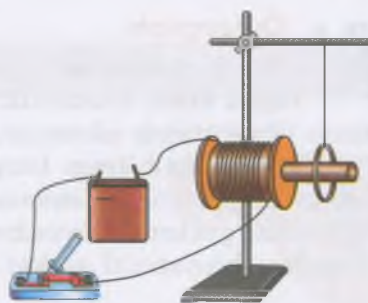
A fizikai probléma elemzése, megoldás

1) A tekercsben az áram a külső fal
mentén felfelé irányul (a „+”-tól „-” felé). A
jobbkeéz-szabály segítségével meghatározzuk a
tekercs pólusait (a mágneses erővonalak irá-
nyát a tekercs belsejében): a gyűrűhöz köze-
lebbi pólus lesz a déli (2. ábra).

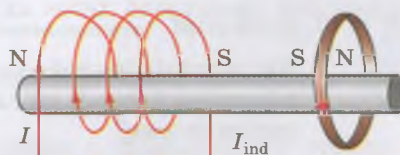
2) Az áramkör zárásának pillanatában
az áramerősség a tekercs belsejében megnő,
ezért a gyűrű belsejében erősödik a mágne-
ses tér.

3) A gyűrűben olyan irányú indukált
áram keletkezik, hogy a gyűrű és a tekercs
az egymű pólusukkal (déliklel) fordulnak
egymás felé, és taszítani fogják egymást.

4) A jobbkeéz-szabály segítségével meg-
határozzuk a gyűrűben lévő indukált áram
irányát (az ellentétes lesz a tekercsben lévő
áram irányával).



1. ábra



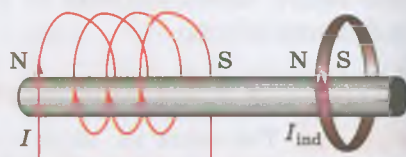
2. ábra

Az indukált áram iránya meghatározásának algoritmus

1. Meghatározzuk a külső mágneses tér indukcióvonalainak irányát.
2. Tisztázzuk, hogy erősödik vagy gyengül a külső mágneses tér (azaz növekszik vagy csökken a kereten áthaladó mágneses indukcióvonalak száma).
3. Meghatározzuk az indukált áram által létrehozott mágneses tér irányát.
4. Meghatározzuk az indukált áram irányát.

Szinte azonnal az áramkör zárása után a tekercsben az áram állandó lesz, a gyűrű belsőjében a mágneses tér nem változik, és a gyűrűben nem lesz indukált áram. Mivel a gyűrű lágymágneses anyagból készült, ezért nem lép kölcsönhatásba a tekercssel.

Az áramkör megszakításának pillanatában a tekercsben az áramerősség gyorsan csökken, a tekercs által létrehozott mágneses tér gyengül. A gyűrűben olyan irányú indukált áram jön létre, hogy a gyűrű és a tekercs a különmemű pólusukkal fordulnak egymás felé, és rövid ideig vonzzák egymást (3. ábra).



3. ábra



Összegezés

Zárt keretben a kereten áthaladó mágneses tér változásakor elektromos áram keletkezik. Az ilyen áramot indukált áramnak nevezzük, az áram létrejöttének jelenségét pedig elektromágneses indukciónak.

Az indukált áram létrejöttének egyik oka az, hogy a mágneses tér változása annak környezetében mindig elektromos teret kelt. Ez az elektromos tér hatást gyakorol a keretben található szabad töltéshordozókra, és irányított mozgásra kényszeríti azokat – indukált áram jön létre.



Ellenőrző kérdések

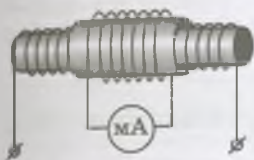
1. Ismertessétek Faraday kísérleteit!
2. Mi az elektromágneses indukció?
3. Milyen áramot nevezünk indukáltnak?
4. Mi az oka az indukált áram létrejöttének?
5. Milyen berendezések működése alapul az elektromágneses indukció jelenségén? Milyen energiaátalakulások mennek végbe bennük?
6. Magyarázzátok meg az elektromos generátorok felépítését és működési elvét!



8. gyakorlat

1. Két mozdulatlan tekercset a 1. ábrán látható módon helyeztek el. Az egyik tekercshez kapcsolt milliamperemő áramot jelez. Milyen feltételek mellett történhet ez meg?
2. A 2. ábrán látható eszközt „Lenz gyűrűinek” nevezzük. Az eszköz két, a függőleges tengely körül szabadon elforduló rúdra erősített alumíniumgyűrűből áll (az egyik zárt, a másik át van vágva).

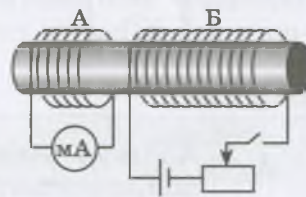
- 1) Hogyan viselkedik a zárt gyűrű, ha:
 - a) mágnessel közelítünk felé? b) a mágnest elfelé távolítjuk tőle? c) a mágnes déli pólusával közelítünk felé?
- 2) Az 1. pont minden esetére határozzátok meg az indukált áram irányát a zárt gyűrűben, valamint az indukált áram által létrehozott mágneses tér irányát!
- 3) Mi történik akkor, ha a mágnest az átvágott alumíniumgyűrűhöz közelítjük?
3. Két tekercset közös vasmagra helyeztek (3. ábra). Határozzátok meg az A tekercsben lévő indukált áram irányát, ha: 1) záródik az áramkör; 2) megszakad az áramkör; 3) a reosztát tolokáját balra mozdtítják el; 4) ha a reosztát tolokáját jobbra mozdtítják el!



1. ábra



2. ábra



3. ábra

4. Állítsátok össze a 8. § 5. pontjában leírt feladat fordítottját!

2. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA

Téma. Az elektromágneses indukció megfigyelése.

Cél: az indukált áram zárt tekercsben történő létrejötte feltételeinek vizsgálata; az indukált áram erősségét és irányát befolyásoló tényezők tisztázása.

Eszközök: milliampermérő, két rúd- vagy patkómágnes, huzaltekerccs.



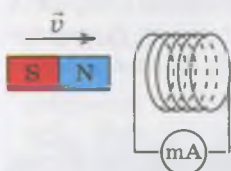
ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

II Előkészület a kísérlethez

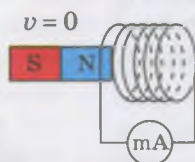
1. A munka kezdete előtt idézzétek fel:
 - 1) az elektromos árammal végzett munka során betartandó biztonsági előírásokat;
 - 2) az áramerősség ampermérővel történő mérésekor betartandó szabályokat;
 - 3) hogyan függ az indukált áram erőssége a mágneses tér változásának sebességétől;
 - 4) mitől függ az indukált áram iránya!

2. Végezzétek el a feladatot! Az 1–4. ábrákon milliampermérőhöz kapcsolt mágnesrúd és tekercs látható, valamint fel van tüntetve a mágnes mozgásának iránya. Az ábrákat rajzoljátok át a füzetbe, majd mindegyik esetre:

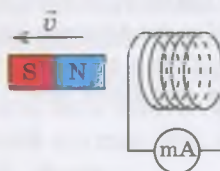
- 1) jelöljétek be a tekercs mágneses pólusait;
- 2) határozzátok meg, és jelöljétek be az indukált áram irányát a tekercsben!



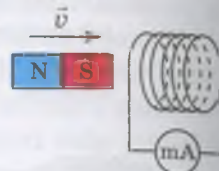
1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra

3. Állítsatok össze áramkört, és a tekercs huzaljait csatlakoztassátok a milliampermérőhöz!

4. A tekercs egyik végét filctollal jelöljétek meg!



1. kísérlet

Tisztázzuk a zárt vezetőkben keletkező indukált áram létrejöttének feltételeit és az indukált áram irányát befolyásoló tényezőket!

A tekercset és a mágnest a kezetekben tartva egymás után végezzétek el az 1. táblázatban leírt kísérleteket!

Figyeljétek meg! A mágnest a tekercsbe és a tekercsből a bejelölt vége felől célszerű mozgatni.

1. táblázat

S/sz	A mágnessel és tekercssel végzendő művelet	Hogyan viselkedik a milliampermérő mutatója (kitér balra, jobbra, mozdulatlan marad)
1.	A mágnest északi pólusával helyezzük a tekercsbe	
2.	A mágnest mozdulatlanul hagyjuk	
3.	A mágnest kihúzzuk a tekercsből	
4.	A mágnest déli pólusával helyezzük a tekercsbe	
5.	A mágnest mozdulatlanul hagyjuk	
6.	A mágnest kihúzzuk a tekercsből	
7.	A tekercset a mágnes déli pólusához közelítjük	
8.	A tekercset a mágnes északi pólusához közelítjük	

Az 1. kísérlet eredményeinek elemzése

Elemeztétek az 1. táblázat adatait, és vonjatok le következtetéseket, amelyekben jellemzitek:

- 1) milyen feltételek mellett jön létre a zárt tekercsben indukált áram;
- 2) hogyan változik az indukált áram iránya a mágnes mozgásirányának megváltoztatásával;
- 3) hogyan változik az indukált áram iránya, ha megváltozik a tekercshez közelítő és távolodó mágnes pólusa!

2. kísérlet

Az indukált áram értékét befolyásoló tényezők tisztázása.

A tekercset és a mágneset a kezetekben tartva egymás után végeztétek el a 2. táblázatban leírt kísérleteket! Mindegyik esetben olvassátok le az ampermérő állását és írtátok be a 2. táblázatba!

2. táblázat

S/sz	A mágnessel és tekercssel végzendő művelet	Áramerősség, I , mA
1.	Gyorsan behelyezzük a mágneset a tekercsbe	
2.	Lassan helyezzük be a mágneset a tekercsbe	
3.	Gyorsan behelyezzünk a tekercsbe két darab, egyenmű pólusukkal összeillesztett mágneset	
4.	Lassan helyezünk be a tekercsbe két darab, egyenmű pólusukkal összeillesztett mágneset	

A 2. kísérlet eredményeinek elemzése

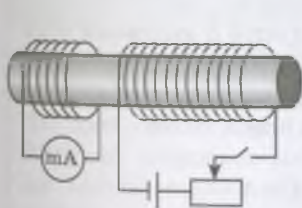
Elemeztétek a 2. táblázat adatait, és vonjatok le következtetéseket, melyekben jellemzitek:

1) hogyan függ az indukált áram erőssége a mágnes és a tekercs viszonylagos sebességétől;

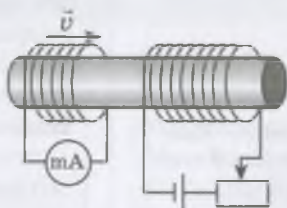
2) hogyan függ az indukált áram erőssége a külső mágneses tér indukтивitásának értékétől, amelynek változása az áram létrejöttét idézi elő a tekercsben!

Alkotói feladat

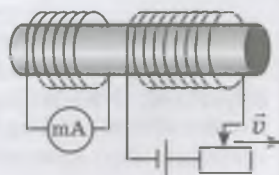
Gondoljátok végig, és írtátok le az indukált áram zárt tekercsben történő létrejöttének feltételeit azokra az esetekre, amikor a két tekercs egy magon helyezkedik el (lásd az 5–7. ábrákat). Ha van rá lehetőségetek, végezzétek el a kísérletet! Fogalmazzátok meg a következtetéseiteket Minden esetben jelöljétek meg mindegyik tekercs pólusát, és a bennük folyó áram irányát!



5. ábra



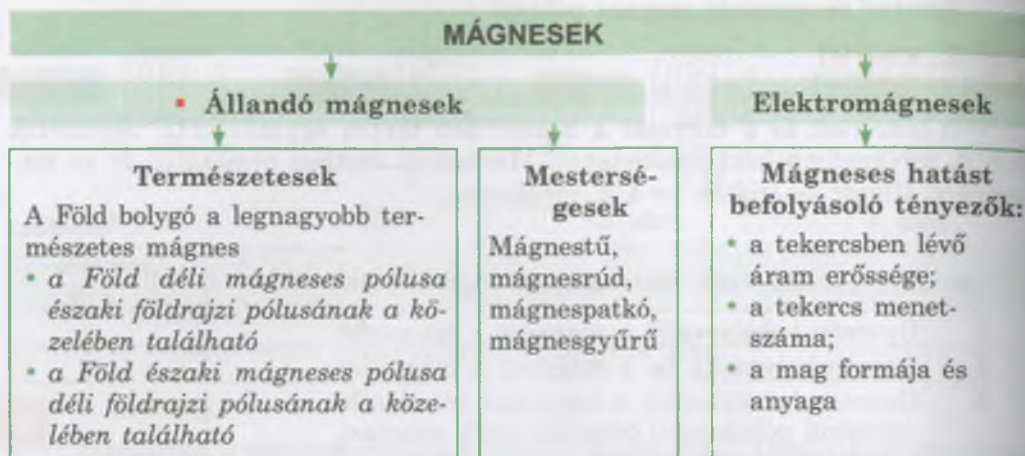
6. ábra



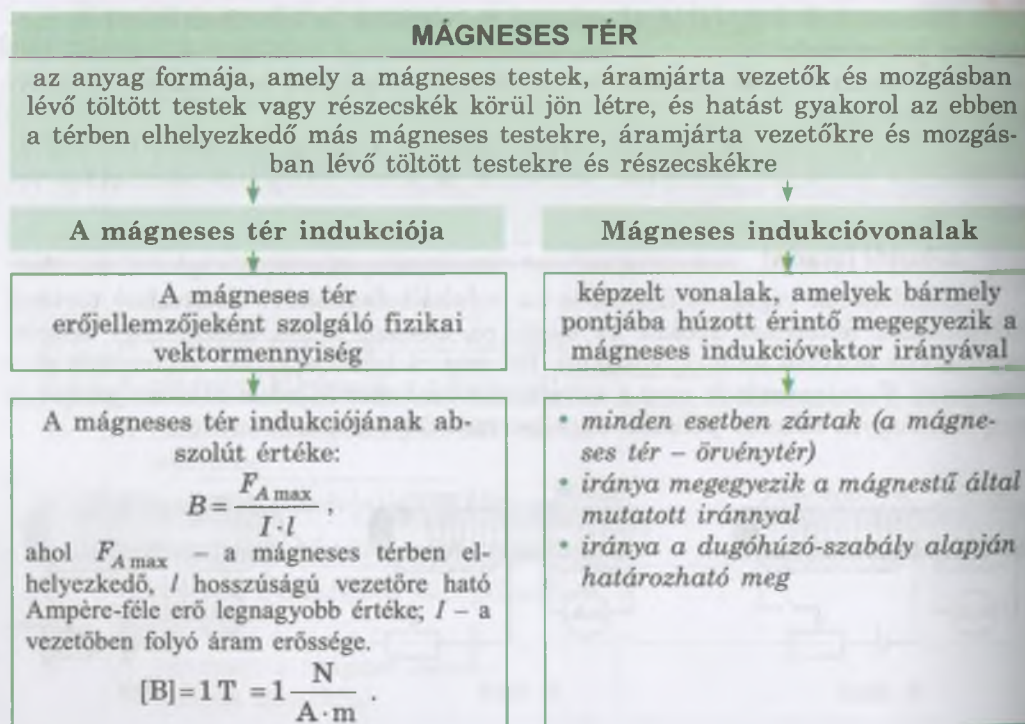
7. ábra

A Mágneses tér CÍMŰ I. RÉSZ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. Az első részt tanulva megtudhattátok, hogy az emberek elsőként az *állandó mágneseket* ismerték meg és kezdték el használni azokat; jóval később alkották meg az *elektromágneseket*, amelyeket széles körben használnak.



2. Tisztáztátok, hogy a *mágneses test*, töltéssel rendelkező mozgó részecskék és áramjárta vezető körül *mágneses tér* van.



3. Megtudtátok, hogy a mágneses térben minden anyag mágneseződik, de mindegyik eltérő módon.

AZ ANYAGOK MÁGNESES TULAJDONSÁGAI

Gyengemágneses anyagok

csekély mértékben megváltoztatják a külső mágneses teret

Diamágnesek

csekély mértékben gyengítik a külső mágneses teret

Paramágnesek

csekély mértékben erősítik a külső mágneses teret

Erősen mágneses anyagok

Több százszorosan és több ezerszeresen erősítik a külső mágneses teret

Ferromágnesek

keménymágnesű hosszú ideig megtartják a mágnesességet

puhamágnesű könnyen mágneseződnek és könnyen el is veszítik mágnesességüket

4. Tisztáztátok, hogy a mágneses térben lévő áramjárta vezetőre bizonyos erő – az Ampère-féle erő – hat.

AMPÈRE-FÉLE ERŐ

Hat

a mágneses térben lévő áramjárta vezetőre

Meghatározása

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

B – a mágneses tér mágneses indukciója;
 I – a vezetőben folyó áram erőssége;
 l – a vezető aktív részének hossza;
 α – a mágneses indukcióvektor és a vezetőben folyó áram iránya közötti szög

Iránya

balkéz-szabály segítségével határozható meg

Ampère-féle erő gyakorlati alkalmazása

Elektromos mérőműszerek

Villanymotorok

5. Megismételtétek Faraday kísérleteit, és megismerkedtetek az elektromágneses indukció jelenségével.

AZ ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ JELENSÉGE

Faraday kísérletei

Ha zárt tekercsben a felszínen áthaladó mágneses indukcióvonalak száma megváltozik, induktív elektromos áram jön létre

Ipari áramforrások

Az elektromos generátorok a mechanikai munkát elektromos energiává átalakító berendezések

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK A Mágneses tér CÍMŰ I. RÉSZHEZ

Az 1., 2., 5–7. feladatok csak egy helyes választ tartalmaznak.

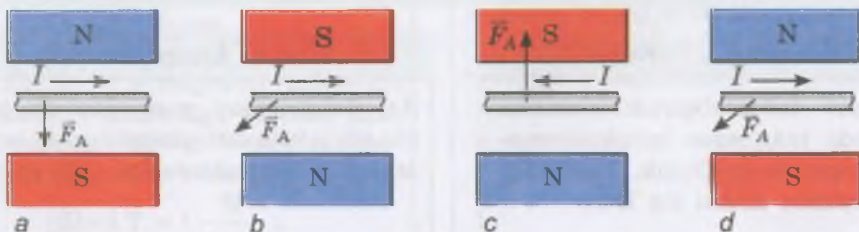
- (1 pont) Az iránytű déli mágneses pólusa általában a következő irányba mutat:
 - a Föld északi földrajzi pólusának irányába;
 - a Föld déli mágneses pólusának irányába;
 - a Föld déli földrajzi pólusának irányába;
 - a Föld egyenlítőjének irányába.
- (1 pont) Az áramjárta tekercs mágneses tere gyengül, ha:
 - a tekercsbe vasmagot helyeznek;
 - növelik a tekercs menetszámát;
 - csökkentik az áramerősséget;
 - növelik az áramerősséget.
- (2 pont) Feleltessétek meg a tudományos tényeket és a bizonyításukhoz szükséges kísérleteket!

1. Az áramjárta vezető körül mágneses tér van	A Ampère kísérletei
2. A Földbolygó körül mágneses tér van	B Gilbert kísérlete
3. Két áramjárta vezető kölcsönhatásba lép	C Oersted kísérlete
4. A változó mágneses tér elektromos teret hoz létre	D Coulomb kísérlete
	E Faraday kísérletei
- (2 pont) Válasszátok ki az összes helyes állítást!
 - A mágnes pólusa a mágnesnek az a része, ahol a legerősebb a mágneses hatás.
 - A homogén mágneses tér indukcióvonalai görbék is lehetnek
 - A mágneses indukció mértékegysége a SI rendszerben a tesla.
 - A rotor – a motor mozdulatlan része.
- (2 pont) Melyik esetben van feltüntetve helyesen az áramjárta vezető mágneses terének az iránya (1. ábra)?



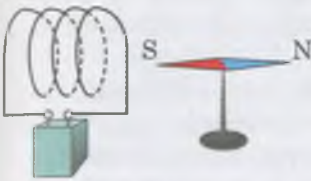
1. ábra

- (2 pont) A 2. ábrán melyik esetben van helyesen feltüntetve az Ampère-féle erő iránya?

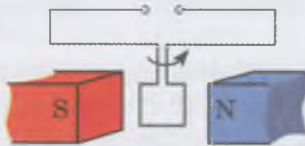


2. ábra

7. (2 pont) A 0,6 m hosszúságú egyenes vezető az 1,2 mT indukciójú homogén mágneses térben van és a tér erővonalaival 30° -os szöget zár be. Határozzátok meg a vezetőre ható Ampère-féle erő nagyságát, ha a vezetőben folyó áram erőssége 5 A!
a) 1,8 mN; b) 2,5 mN; c) 3,6 mN; d) 10 mN.
8. (2 pont) Órlés előtt a gabonát átengedik egy erős elektromágnes pólusai között. Mi ennek a célja?
9. (3 pont) Az áramjárta tekercs mágneses terében a mágnesű a 3. ábrán bemutatott helyzetben állapodott meg. Határozzátok meg az áramforrás pólusainak helyzetét!
10. (3 pont) A 4. ábrán egy állandó mágnes mágneses terében forgó vezetőkeret látható. Határozzátok meg az áramforrás pólusainak helyzetét!
11. (3 pont) Az 5. ábrán egy mágnesparkó pólusai között elhelyezett áramjárta vezetőt látunk. Határozzátok meg a mágnes pólusait!



3. ábra

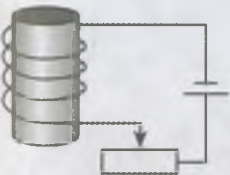


4. ábra

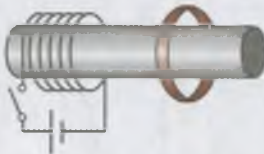


5. ábra

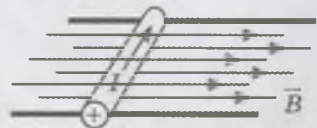
12. (3 pont) Kitér-e a mágnesű az észak-déli irányból, ha vashengert helyezzünk mellé? Ha rézhengert?
13. (4 pont) Határozzátok meg az elektromágnes pólusainak helyzetét (6. ábra)! Hogyan változik az elektromágnes emelőereje, ha a reosztát csúszkáját balra húzzuk?
14. (4 pont) Határozzátok meg az induktív áram irányát a zárt vezetőgyűrűben az áramkör zárásának pillanatában (7. ábra)!
15. (4 pont) A 40 cm hosszú és 50 g tömegű acélrúd merőlegesen fekszik a vízszintes lécekhez viszonyítva (8. ábra). A lécek mentén 0,25 T indukciójú homogén áram folyik. A rúd 2 A erősségű áramot vezetnek. Mekkora erővel hat a rúd a lécekre?



6. ábra



7. ábra



8. ábra

A feleleteket a könyv végén találjátok. Jelöljétek meg a helyes válaszokat, és számoljátok össze az elért pontszámot, majd az összeget osszátok el hárommal! A kapott szám jelenti a tudásszinteteket.



A gyakorló tesztfeladatokat megtalálhatjátok az *Interaktív tanulás* című honlapon.

A csillagoktól a „lebegő” békákig, avagy miért van szükség szupererős mágnesekre

Az emberek többségének a mágnesről az iránytű jut eszébe. A mérnökök még említik a mágnesek alkalmazását a villanymotorokban és generátorokban. Azonban ezeket az eszközöket már elég régóta ismerjük. Mindez azt jelenti, hogy nincs is szükség a mágneses jelenségek tanulmányozására?

Ne siessünk a válasszal, gondoljunk például a súrlódásmentesen közlekedő „lebegő” vonatokra. Ezeknél mágneses tér játssza a sínek szerepét. Két mágnes, amelyek közül az egyik a pályatestben, a másik pedig magában a vonatban található, egymű pólusaikkal vannak egymás felé fordítva, tehát taszítják egymást. Ennek eredményeként a vonat mintegy „lebeg” a sínek felett. Az ilyen rendszer előnyeiről a 7. osztályos tankönyv Enciklopédikus oldalain már beszéltünk.

A következőkben tekintsük át a nagyteljesítményű elektromágnesek további néhány alkalmazását. De előbb tisztázzuk, mit nevezünk szupererős mágnesnek. Ehhez össze kell hasonlítanunk a különböző objektumok mágneses tereit egy táblázat segítségével, amelyből megtudhatjuk, hányszor erősebb az adott objektum mágneses tere a Föld mágneses terénél. A Föld mágneses terének ereje szolgál tehát mértékegységül. Néhány esetben már ez a viszonylag gyenge tér is zavaró lehet, ezért a tudósok az úgynevezett *mágnesesen árnyékolt szoba* segítségével megtanulták árnyékolni ezt a hatást. Ezekben a mágneses tér erőssége 10 milliószor kisebb a Föld mágneses terénél.

Amint a táblázatból kiderül, sikerült létrehozni a földi mágneses térnél 200 000-szer erősebb mágnest. Hol használják ezeket a szupererős mágneseket?

Elsősorban a fizikusoknak van szükségük ilyen mágnesekre ahhoz, hogy megtartsák a töltött részecskék nyalábját a részecskegyorsítóban.



1. ábra. A világ egyik legnagyobb részecskegyorsítója



2. ábra. A töltött részecskékét a gyorsító belsejében tartó szupererős mágnesek

A mágneses terek viszonylagos erőssége

A mágneses tér forrása, vagy a mérés helye	Viszonylagos érték
A Föld felszíne	1
Mágnesesen árnyékolt szoba	10^{-6}
Iskolai laboratóriumi mágnes	200
A napfolt közepe	3000
Nagy elektromágnes	30 000
Szupererős laboratóriumi mágnes	200 000
A neutroncsillag felszíne	10^{12}

Az 1. ábrán a világ egyik legnagyobb részecskegyorsítóját láthatjuk. A gigantikus, több kilométer átmérőjű gyűrűben töltött részecskék mozognak. Azért, hogy ezek a részecskék ne „kenődjenek fel” a gyorsító falára, szupererős mágneseket (2. ábra) alkalmaznak.

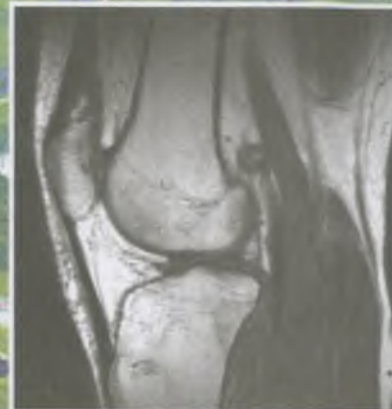
A szupererős mágneseket a gyógyászatban is alkalmazzák: segítségükkel állítják elő az ember belső szerveinek képét (3., 4. ábrák). A röntgendiagnosztikával ellentétben a *mágneses rezonanciás vizsgálat* (MRI) lényegesen veszélytelenebb.

Végül nézzük meg a szupererős mágnesek egy további alkalmazását. A mérnökök már elérték a nehéz vonatok lebegtetését a pálya felett. Vajon megvalósítható-e ugyanez az emberrel és az állatokkal is?

Kiderült, hogy a probléma itt az anyagokban rejlik. A mágneses hatás felerősítésére a vonatokban különleges anyagokat alkalmaznak, az emberi test anyaga azonban nem rendelkezik ilyen tulajdonságokkal. Az emberi testbe mégsem építhetünk be vasdarabokat! A lebegés elérésében segítségünkre lehetnek a szupererős mágnesek. Kiderült ugyanis, hogy nagyon erős mágneses térben az élő szervezet gyenge mágneses tere is elégséges lehet a szükséges taszítóerő biztosításához. A tudósoknak sikerült ilyen módon lebegésre bírniuk egy békát (5. ábra). A kísérletező tudósok úgy találták, hogy a lebegés után a béka jól érezte magát. Már csak egy „csekélységet” kell megoldani: a mágneses teret 10- vagy 100-szorosára felerősíteni, hogy az ember is megismerhesse a mágneses lebegés mámorító élményét.



3. ábra. Az ember belső szerveinek vizsgálatára szolgáló, mágneses rezonancián alapuló eszköz



4. ábra. MRI-vel készített fénykép



5. ábra. Lebegő béka

Projektek ajánlott témái

1. Mágneses anyagok és felhasználásuk.
2. Információ mágneses rögzítése.
3. Mágneses kölcsönhatások megnyilvánulása és felhasználása a természetben és a technikában.
4. A Föld geomágneses tere.
5. Mágneses viharok és hatásuk az emberi szervezetre.
6. Különféle elektromágneses berendezések.
7. Áramgenerátorok.

Referátumok és beszámoló témái

1. A mágneses tér hatása a vetőmag csírázására és növekedésének gyorsaságára.
2. A mágneses tér hatása az ember életére és egészségére.
3. A Lorenz-erő. Előfordulása a természetben, felhasználása a technikában.
4. A mágnesesség tanulmányozásának története.
5. Az atomok és összetevőik mágneses momentuma.
6. Nem mágneseződő anyagok és felhasználásuk.
7. Az ukrán tudósok szerepe a mágnesesség tanulmányozásában.
8. Faraday és Maxwell – az elektromágneses tér elméletének megalapítói.
9. Mágneses viharok a Szaturnusz és Uránusz óriásbolygókon.
10. Nikola Tesla – az ember, aki megelőzte korát.
11. Hogyan működnek a részecskegyorsítók?
12. Mi a mágneses szeparátor, és mire szolgál?
13. MHD generátor. Mit generál, és hogyan működik?
14. Mi a hiszterézis hurok, és hogyan kötődik a mágneseződéshez?
15. Mágneses folyadék: különleges tulajdonságai, felhasználásának példái.

Kísérleti feladatok témái

1. Állandó mágnesek tulajdonságainak tanulmányozása.
2. A Föld mágneses terének tanulmányozása.
3. Az áramjárta tekercs mágneses tere indukciójának és patkómágnes mágneses terének mérése.
4. Elektromos generátor előállítás.
5. Az elektromágneses indukció jelenségének tanulmányozása.
6. Mágneses folyadék előállítása, tulajdonságainak tanulmányozása.
7. Villanymotor készítése.

II. RÉSZ

FÉNYJELENSÉGEK

- Bizonyára sokszor megmértétek a magasságokat, és most megtudjátok, hogy magasságok ismeretében hogyan határozhatjátok meg egy fa magasságát
- Többször gyönyörködtetek a szivárványban, most megtudhatjátok, hogyan készíthettek otthon ti is szivárványt
- Jól ismeritek azt a mondást, hogy „éjszaka minden macska szürke”, ezután meg tudjátok magyarázni ezt a fizika szemszögéből
- Tisztában vagytok vele, hogy sokan kénytelenek szemüveget hordani, most megtudjátok, hogyan segíti elő a szemüveg a jobb látást



9. §. FÉNYJELENSÉGEK. FÉNYFORRÁSOK ÉS FÉNYÉRZÉKELŐK. A FÉNY TERJEDÉSI SEBESSÉGE

Az öt érzékszervünk közül környezetünkéről a szem révén jutunk legtöbb információhoz. De a minket övező világot nem csak azért érzékeljük, mert fény esik a szemünkbe. Tehát elkezdjük a fény- vagy optikai, vagyis a fénnel kapcsolatos jelenségek tanulmányozását (gör. *optikos* – tekintet).

1 Megfigyeljük a fényjelenségeket

Nap mint nap találkozhattok fényjelenségekkel, hiszen azok a minket körülvevő természet részei.

Egyes fényjelenségek számunkra csodáknak számítanak, például a sivatagi délibáb vagy a sarki fény. De vannak ennél sokkal hétköznapiabb jelenségek is: a harmatcseppről visszaverődő napsugár, Hold-szivárvány a vízen, a szivárvány hétszínű hídja nyári zápor után, villám a viharfelhőben, csillagok vibrálása az éjszakai égbolton – ezek is csodák, hiszen csodálatossá változtatják, színesítik a minket körülvevő világot.

2 Tisztázzuk, mi a fényforrás

A **fényforrás** olyan fizikai test, amelynek részecskéi (atomok, molekulák, ionok) fényt sugároznak.

Nézzetek körül, idézzétek fel a tapasztalataitokat – nem kétséges, hogy számtalan fényforrást ismertek: csillagok, villámlás, gyertyafény, izzó, a számítógép képernyője (lásd a 9.1. ábrát). Fényt élőlények is sugározhatnak (szentjánosbogarak – fényes pontok, amelyeket meleg nyári estéken figyelhetünk meg az erdei aljnövényzetben, egyes tengeri élőlények, sugárállatkák és egyebek).

Felhőtlen éjszakákon tisztán kivehetők a Hold sugarai által megvilágított tárgyak. De a Hold nem tekinthető fényforrásnak, mivel nem sugároz fényt, csak visszaveri a Nap sugarait.

Nevezhetjük-e fényforrásnak a tükröt, amellyel visszatükröztitek a napsugarakat? Válaszokat magyarázzátok meg!



9.1. ábra. Néhány fényforrás

3 Megkülönböztetjük a fényforrásokat

Megkülönböztetünk **természetes** és **mesterséges** (ember alkotta) fényforrásokat.

Természetes fényforrások például a Nap és a csillagok, az izzó láva és a sarki fény, egyes fényt kibocsátó állatok és növények (mélytengeri tintahal, fluoreszkáló baktériumok, szentjánosbogarak).

A természetes fényforrások nem képesek kielégíteni az ember fényigényét, ezért az emberek már ősidőktől kezdve **mesterséges fényforrásokat** hoztak létre. Eleinte ez a tűzrakás (máglya) és mécses, később a gyertya, olajlámpa, gázlámpa volt. A XIX. század végén feltalálták az elektromos izzót. Napjainkban különféle típusú elektromos izzókat (égőket) használnak (9.2., 9.3. ábrák).

? Milyen típusú elektromos izzókat használnak a háztartásokban? Milyen lámpák segítségével hoznak létre különféle fényeffektusokat?

Megkülönböztetünk **hőmérsékleti (termikus)** és **lumineszcens** fényforrásokat.

A **hőmérsékleti sugárzók** magas hőmérsékletüknek köszönhetően sugároznak ki fényt (9.4. ábra).

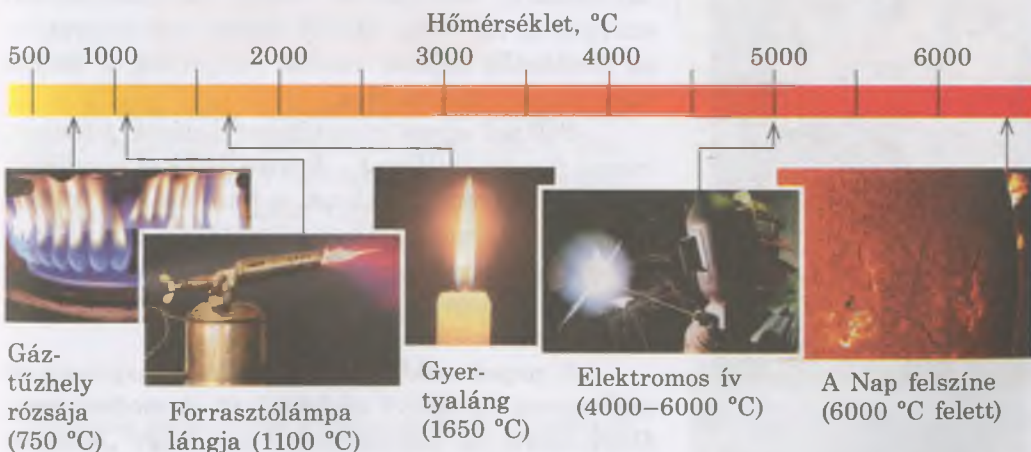
A **lumineszcens fényforrások** működéséhez nincs szükség magas hőmérsékletre: viszonylag intenzív fénysugárzás mellett hőmérsékletük relatíve alacsony marad. A lumineszcens fényforrások példái a sarki fény és a tengeri planktonok, a telefon kijelzője és a fényindikátor, a LED lámpák és fénycsővek, a fényvisszaverődő festékekkel ellátott közlekedési táblák és jelzőtáblák.



9.2. ábra. A nagy teljesítményű mesterséges fényforrás egyik példája a modern gépkocsik fényszórójában használt halogén izzó



9.3. ábra. A modern közlekedési lámpák fénye még erős napfényben is könnyen észlelhető. Ezekben a berendezésekben az izzószálas lámpákat LED lámpákkal cserélték fel



9.4. ábra. Néhány hőmérsékleti sugárzó

4

Megvizsgáljuk a pontszerű és a kiterjedt fényforrásokat

Azt a fényforrást, amelyik nem sugároz egyenletesen minden irányba fényt, és mérete a megfigyelés helyétől való távolsághoz viszonyítva elenyésző, **pontszerű fényforrásnak** nevezzük.

A pontszerű fényforrások legjobb példái a csillagok, hiszen mi a Földről nézzük azokat, vagyis akkora messzeségből, amely több milliószorosa méreteiknek.

A nem pontszerű fényforrásokat *kiterjedt fényforrásoknak* nevezzük.

Az esetek többségében kiterjedt fényforrással van dolgunk. Ezek fénycsövek, a mobiltelefon kijelzője, gyertyaláng, tábortűz.

A feltételektől függően egyazon fényforrás viselkedhet pontszerű és kiterjedt fényforrásként is.

?

A 9.5. ábrán kert megvilágításához használt kültéri lámpa látható. Szerintetek milyen esetben tekinthetjük ezt a lámpát pontszerű fényforrásnak?



9.5. ábra. A 9. §-ban található feladathoz

5

Jellemezzük a fényérzékelőket

A **fényérzékelők** olyan berendezések, amelyek fény hatására megváltoztatják tulajdonságaikat, és segítségükkel kimutatható a fény-sugárzás.

A fényérzékelők lehetnek *mesterségesek* és *természetesek*. A fényérzékelőkben a fénysugárzás energiája más típusú energiává alakul át – hőenergiává, amelyről a fényt elnyelő test felmelegedése tanúskodik, elektromos, vegyi, sőt mechanikai energiává. Az ilyen átalakulások eredményeként az érzékelők sajátos módon reagálnak a fényre vagy annak változására.

Például egyes riasztóberendezések *fotoelektromos fényérzékelőkkel* – **fotocellákkal** – működnek. Az őrzendő területet a fotocellákra irányított vékony fénynyalábok pásztázzák (9.6. ábra). Ha egy ilyen nyaláb útjába akadály kerül, akkor az érzékelő nem kap fényenergiát, amiről azonnal jelzést ad.



9.6. ábra. A modern riasztóberendezésekben érzékeny fotocellákat használnak

A napelemekben a fotocellák a napenergiát elektromos energiává alakítják át. A modern napfénykollektorok napelemekből álló nagy „energia-mezők”.

Fényképezéshez hosszú időn át *fotokémiai fényérzékelőket* (film, fényképpapír) használtak, amelyeken fény hatására kémiai reakciók mentek végbe (9.7. ábra).

A modern digitális fényképezőgépekben film helyett nagyszámú fotocellából álló mátrixokat használnak. A cellák mindegyike érzékeli a bejövő fényáram ráeső részét, az elektromos jellé alakítja, majd a képernyő megfelelő pontjába továbbítja.

A *természetes fényérzékelő* példája az élőlények szeme (9.8. ábra). Fény hatására a retinában kémiai reakciók mennek végbe, idegimpulzusok keletkeznek, amelyek hatására az agy létrehozza a környezet ábrázolását.

6

Megismerkedünk a fény terjedési sebességével

A csillagos eget figyelve bizonyára nem gondolatok, hogy egyes csillagok már rég kialudtak. Sőt, az előttünk élő nemzedékek is ugyanezekben a csillagokban gyönyörködtek, amelyek már akkor sem léteztek! Hogyan lehetséges, hogy a csillag fénye látható, holott maga a csillag már megszűnt létezni?

Arról van szó, hogy a fény a térben véges sebességgel terjed. A *c* fénysebességnek óriási nagyságú értéke van, amely a vákuumban megközelítőleg háromszázezer kilométer másodpercenként:

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}^*$$

A fény több kilométernyi távolságot tesz meg a másodperc ezredrésze alatt. Ha a fényforrás és az érzékelő berendezés közötti távolság viszonylag kicsi, akkor úgy érzékeljük, hogy a fény azonnal terjed. De a távoli csillagoktól a fény több ezer vagy millió éven keresztül jut el hozzánk.



9.7. ábra. Film és fényképpapír – fotokémiai fényérzékelők



9.8. ábra. Az élőlények szeme – természetes fényérzékelő

A hozzánk legközelebb található Alfa Centauri csillagtól a fény közel 4 év alatt jut el a Földre. Ezért, amikor megfigyeljük ezt a csillagot, tulajdonképpen a 4 évvel korábbi állapotát láthatjuk.

De léteznek olyan galaxisok, amelyek tőlünk egymillió fényévnire találhatók (vagyis a fény egymillió évig megy hozzájuk). Képzeljétek el, hogy az ilyen galaxisban létezik fejlett civilizáció. Ez azt jelenti, hogy ott a Földet a dinoszauruszok idejében meglévő állapotában látják.



* Feladatok oldása közben a *vákuumban mért fénysebesség*

közelítő értékét használjuk: $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8$



Összegezés

Az olyan fizikai testeket, amelyek atomjai és molekulái fényt sugároznak, fényforrásoknak nevezzük. A fényforrások lehetnek hőmérsékleti (termikus) sugárzók és lumineszcensek; természetesek és mesterségesek; pontszerűek és kiterjedtek. Például a sarki fény – természetes, kiterjedt fényű lumineszcens fényforrás.

A fényérzékelők olyan berendezések, amelyek fény hatására megváltoztatják tulajdonságaikat, és a segítségükkel kimutatható a fénysugárzás. A fényérzékelőkben a fényenergia más energiafajtvá alakul át. Az élőlények látószerve – természetes fényérzékelő.

A fény a térben véges sebességgel terjed. A fény terjedési sebessége vákuumban: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.



Ellenőrző kérdések

1. Milyen szerepe van a fénynek az ember életében?
2. Mit nevezünk fényforrásnak? Mondjatok példákat!
3. Fényforrás-e a Hold? Válaszotokat magyarázzátok meg!
4. Mondjatok példákat természetes és mesterséges fényforrásokra!
5. Mi a közös a hőmérsékleti (termikus) sugárzóban és a lumineszcens fényforrásokban? Miben különböznek egymástól?
6. Milyen feltételek mellett lesz egy fényforrás pontszerű?
7. Milyen berendezéseket nevezünk fényérzékelőknek? Mondjatok példákat természetes és mesterséges fényérzékelőkre!
8. Milyen sebességgel terjed a fény vákuumban?



9. gyakorlat

1. Feleltessétek meg a fényforrásokat és a típusaikat (lásd az ábrát).
A természetes hőmérsékleti
B mesterséges hőmérsékleti
C természetes lumineszcens
D mesterséges lumineszcens
2. Mindegyik felsorolásban keressétek meg az oda nem illő szót vagy szóösszetételt!
a) gyertyaláng, Nap, csillag, Hold, LED égő;
b) a bekapcsolt számítógép képernyője, villám, izzólámpa, fáklya;
c) fénycső, gáztűzhely rózsájának lángja, máglya, sugárállatka.
3. Megközelítőleg mennyi idő alatt ér el a fény a Naptól a tőle 150 millió km-re lévő Földre?
4. A felsorolt esetek közül mikor tekinthető a Nap pontszerű fényforrásnak?
a) napfogyatkozás megfigyelése;
b) a Nap megfigyelése a Naprendszeren kívül repülő űrhajó ablakából;
c) idő meghatározása napóra segítségével.
5. A csillagászatban használatos hosszsmértékek egyike a *fényév*. Hány méter egy fényév, ha az egyenlő a fény által vákuumban egy év alatt megtett távolsággal?
6. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával derítsétek ki, hogy ki határozta meg elsőként a fény terjedési sebességét! Mi készítette erre a tudóst?



1. Telefon



2. Fáklya



3. Szentjánosbogár

10. §. FÉNYSZUGÁR ÉS FÉNYNYALÁB. A FÉNY EGYENES VONALÚ TERJEDÉSÉNEK TÖRVÉNYE. NAP- ÉS HOLDFOGYATKOZÁS

Amikor bújócskáztok vagy a napfényt tükrözitek, nem is sejtitek, hogy a fény egyenes vonalú terjedésének törvényét használjátok ki. Tisztázzuk, mi ennek a törvénynek a lényege, és milyen jelenségekre nyújt magyarázatot.

1 Megtanuljuk megkülönböztetni a fénysugarat és fénynyalábot

A fénynyaláb megfigyeléséhez nincs szükségünk semmilyen speciális berendezésre (10.1. ábra). Elegendő kitárnunk egy sötét folyosó és világos szoba közötti ajtót, a sötétben felkapcsolni egy lámpát, vagy napos időben lazán behúzni a függönyt. Az első esetben a *fénynyalábok* az ajtó nyílásán a padlóra esnek; a másodikban a fényt a lámpa reflektora meghatározott irányba tereli; a harmadik esetben a napsugarak a függöny hézagain át jutnak a szobába.

A való életben kizárólag fénynyalábokkal van dolgunk. Noha gyakran mondjuk, hogy napsugár vagy fénysugár. Valójában a *geometriai optika* szemszögéből nézve, amellyel ebben a tanévben ismerkedtek meg, a következő kifejezés lenne a helyes: napsugárnyaláb, fényszórósugárnyaláb. A fénynyalábok vázlatos ábrázolására *fénysugarakat* használnak (10.2. ábra).

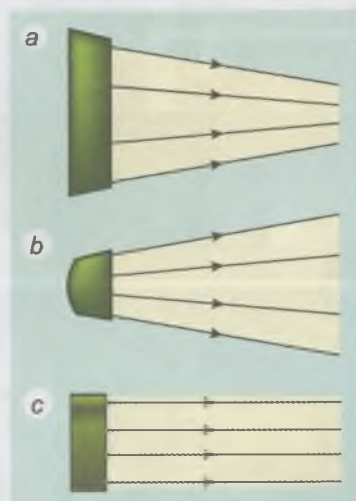
A **fénysugár** a fényenergia terjedésének irányát mutató vonal.

Tehát, ha a továbbiakban olyan kifejezésekkel találkoztok, mint „rászik a fénysugár”, „fénysugártörés”, akkor emlékezzetek rá, hogy a sugár által meghatározott irányba tartó fénynyalábról van szó.

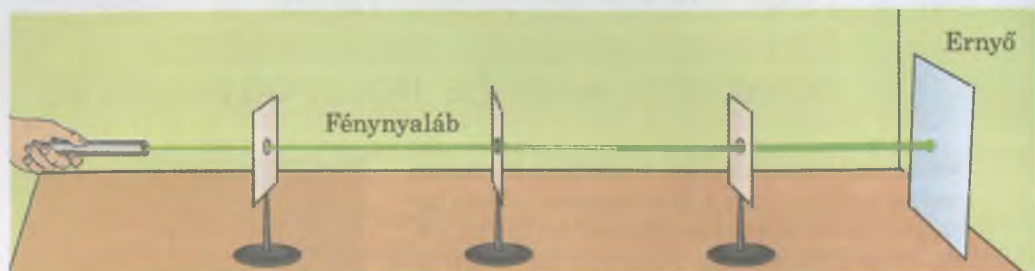
Figyeljétek meg a 10.1., 10.2. ábrákat, és állapítsátok meg, melyik típusú fénynyalábhoz tartozik a napsugárnyaláb! *Segítségül:* képzeljétek el, milyennek látja a vasúti síneken álló megfigyelő a távolban eltűnő sín párt!



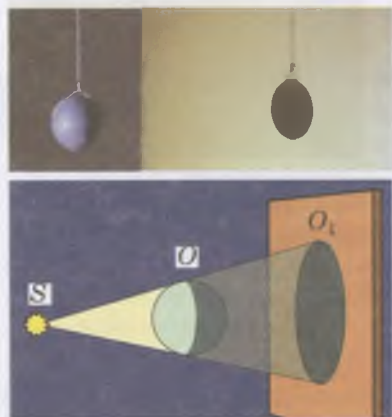
10.1. ábra. A felhőkön átjutó napsugárnyalábok



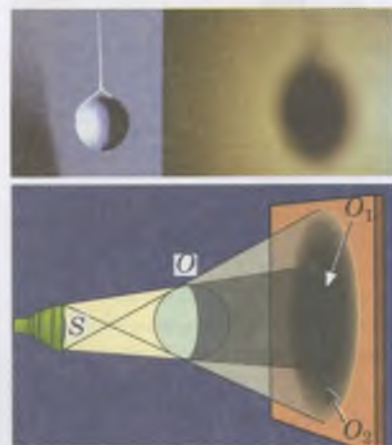
10.2. ábra. Fénynyaláb – fénysugarak összessége. Fénynyalábok: a – összestartó; b – széttartó; c – párhuzamos



10.3. ábra. A fény egyenes vonalú terjedését bizonyító kísérlet



10.4. ábra. Az S pontszerű fényforrás által megvilágított O tárgy O_1 teljes árnyéka



10.5. ábra. Az S kiterjedt fényforrás által megvilágított O tárgy O_1 teljes és O_2 félárnyéka

2 Meggyőződünk a fény egyenes vonalú terjedéséről

Elvégezzünk egy kísérletet (lásd a 10.3. ábrát). Egy sorban elhelyezünk egy fényforrást, néhány, nagyjából 5 mm átmérőjű lyukkal ellátott kartonpapírt és egy képernyőt. A lapokat úgy helyezzük el, hogy a képernyőn fényfolt jelenjen meg. Ha vennénk egy kötőtűt, akkor azt könnyen áttolhatnánk az összes lyukon, tehát a lyukak egy egyenes mentén helyezkednek el.

Ez a kísérlet illusztrálja a fény egyenes vonalú terjedésének törvényét.

Átlátszó homogén közegben a fény egyenes vonalúan terjed.

Erről a törvényről már 2500 évvel ezelőtt írt *Eukleidész* ókori görög tudós. A mértanban a sugár és az egyenes vonal fogalma a fénysugarak elképzelése alapján jött létre.

3 Megismerkedünk az árnyék és félárnyék fogalmával

A fény egyenes vonalú terjedésével magyarázható az a tény, hogy bármely, fényforrással megvilágított, nem átlátszó test **árnyékot** vet.

Ha a fényforrás pontszerű, a tárgynak jól körülhatárolt árnyéka lesz. Ebben az esetben csak teljes árnyék keletkezik (10.4. ábra).

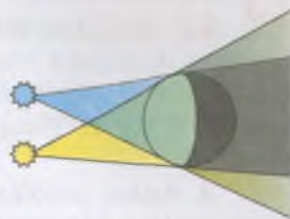
A **teljes árnyék** a térnek azon része, ahová nem jut el a fényforrás által kibocsátott fény.

Ha a testet kiterjedt fény világítja meg, akkor elmosódott körvonalú árnyék keletkezik,

vagyis nem csak árnyék, hanem *félárnyék* is létrejön (10.5. ábra).

A **félárnyék** a térnek egyes meglévő pontszerű vagy kiterjedt fényforrások egy része által megvilágított területe.

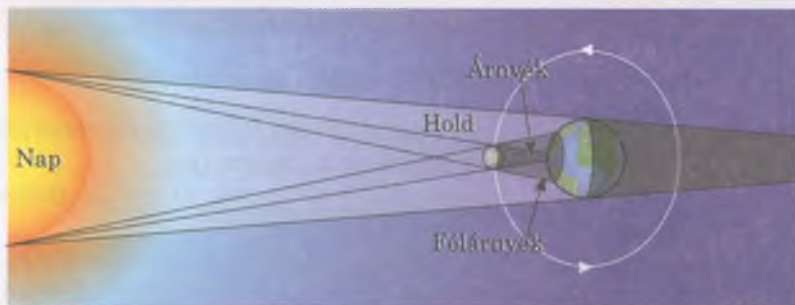
Teljes árnyékban állva láthatjuk-e a fényforrás által kibocsátott fényt? Félárnyékban állva? Véleményetek szerint milyen lesz a félárnyék kontúrja (jól körülhatárolt vagy elmosódott), ha a tárgyat két pontszerű fényforrással világítják meg (10.6. ábra)?



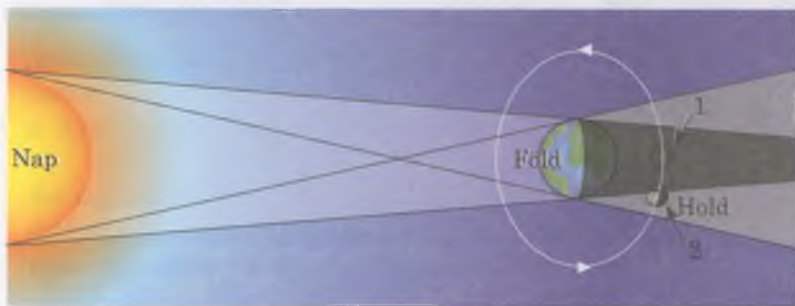
10.6. ábra. A 10. §-ban található feladathoz

Az árnyék és félárnyék keletkezését kozmikus léptékben nap- vagy holdfogyatkozáskor figyelhetjük meg. A Hold Föld körüli forgásának eredményeként néha előfordul, hogy a Hold, a Nap és a Föld egy vonalba kerül. Ha eközben a Hold a Föld és a Nap között helyezkedik el, akkor **napfogyatkozásról** beszélünk (10.7. ábra). A Föld azon részén, ahová a Hold teljes árnyéka vetül, *teljes napfogyatkozás* figyelhető meg, ahová a félárnyéka – ott *részleges napfogyatkozás* lesz. Egy év leforgása alatt Földünkön 2–5 napfogyatkozás figyelhető meg.

Ha a Föld körül keringő Hold a Föld árnyékába kerül, **holdfogyatkozás** figyelhető meg (10.8. ábra). Az év folyamán 2–4 holdfogyatkozás történik.



10.7. ábra. Napfogyatkozás: a – teljes (a teljes árnyék területén); b – részleges (a félárnyék területén)



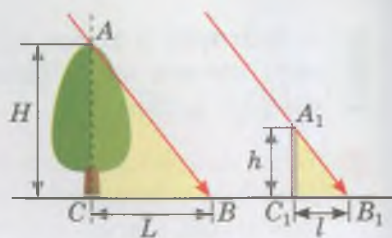
10.8. ábra. Holdfogyatkozás: a – teljes (a Hold az 1. helyzetben); b – részleges (a Hold a 2. helyzetben)

4

Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. Napsütéses időben a függőlegesen felállított méteres vonalzó által létrehozott árnyék hossza 24 cm, a fa árnyékáé pedig 3,6 m. Határozzátok meg a fa magasságát!

A fizikai probléma elemzése. A feladat megoldásához felhasználjuk a fény egyenes vonalú terjedésének törvényét! Magyarázó ábrát készítünk; megjegyezzük, hogy a Nap felől érkező fénynyaláb párhuzamos.



Adva van:

$$h = 1 \text{ m}$$

$$l = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

$$L = 3,6 \text{ m}$$

Meghatározzuk:

$H = ?$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Az ábráról láthatjuk, hogy $ACB\Delta \sim A_1C_1B_1\Delta$.

A háromszögek hasonlósága alapján: $\frac{H}{h} = \frac{L}{l} \Rightarrow H = \frac{h \cdot L}{l}$.

Ellenőrizzük a mértékegységeket, meghatározzuk a keresett mennyiséget:

$$[H] = \frac{\text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}} = \text{m}; \quad H = \frac{1 \cdot 3,6}{0,24} = \frac{360}{24} = \frac{30}{2} = 15 \text{ (m)}.$$

Felelet: $H = 15 \text{ m}$.

**Összegezés**

Átlátszó homogén közegben a fény egyenes vonalúan terjed. A fényenergia terjedésének irányát jelző vonalat fénysugárnak nevezzük.

Mivel a fény egyenesen terjed, a nem átlátszó testek árnyékot (teljes árnyékot, félárnyékot) hoznak létre.

A teljes árnyék a térnek azon része, ahová nem jut el a fényforrás által kibocsátott fény. A félárnyék a térnek egyes meglévő pontszerű vagy kiterjedt fényforrások egy része által megvilágított területe.

Nap- és holdfogyatkozások idején kozmikus léptékű árnyék és félárnyék létrejötte figyelhető meg.



Az első időmérő eszközök a *napórák* voltak. Működési elvük azon alapul, hogy a testek árnyékának hossza és iránya megváltozik a nappal folyamán.

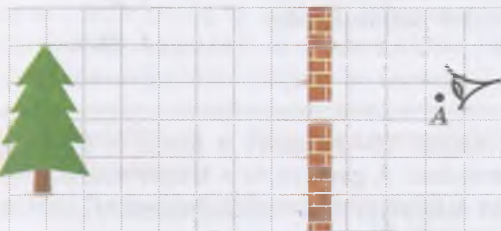
Minden napóra *számlapból* (számokat tartalmazó lapos felület) és *gnómonból* (a számlaphoz rögzített függőleges fém-, műanyag vagy farúdból) áll.

Ellenőrző kérdések

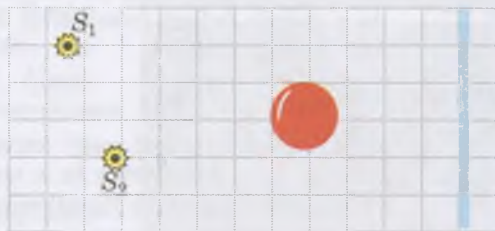
1. Határozzátok meg a fénysugár fogalmát! 2. Fogalmazzátok meg a fény egyenes vonalú terjedésének törvényét! 3. Milyen megfigyelések és kísérletek bizonyítják a fény egyenes vonalú terjedését? 4. Milyen feltételek mellett hoznak létre a tárgyak teljes árnyékot, teljes és félárnyékot? 5. Mikor figyelhető meg a Földön teljes napfogyatkozás? Részleges napfogyatkozás? 6. Mikor figyelhető meg a Földön teljes holdfogyatkozás? Részleges holdfogyatkozás?

10. gyakorlat

1. A megfigyelő szeme a rés előtt az A pontban van (1. ábra). Szerkesztéssel határozzátok meg, mekkora részét látja a fának! Melyik pontból láthatná a teljes fát?
2. A labdát két pontszerű, S_1 és S_2 fényforrás világítja meg (2. ábra). Rajzoljátok át az ábrát a füzetetekbe, és ábrázoljátok a labda által az ernyőn létrehozott árnyékot és félárnyékot!



1. ábra



2. ábra

3. Napfogyatkozás idején a Földön a Hold árnyéka és félárnyéka jön létre (3. a ábra). A 3. b, c, d ábrákon ennek a holdfogyatkozásnak láthatjátok a Föld különböző pontjaiból készített felvételeit. Melyik felvétel készült az 1. pontból? A 2. pontból? A 3. pontból?

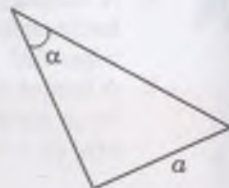


3. ábra

4. A 6 cm átmérőjű, gömb formájú lámpa 1 m távolságra van az ernyőtől. Határozzátok meg, az ernyőtől mérve melyik az a legkisebb távolság, amelyre

egy 40 mm átmérőjű teniszlabdát helyezhetünk el oly módon, hogy az ernyőn csak a félárnyéka látszódjon?

5. Miért nem hoz létre árnyékot még napfényes időben sem a nagy magasságban szálló repülőgép? A feleletet magyarázzátok meg, és készítsetek hozzá rajzot!
6. A Holdon tartózkodó űrhajós a Földet figyeli. Mit lát abban a pillanatban, amikor a Földön teljes holdfogyatkozás van? Amikor részleges a holdfogyatkozás?
7. Szerintetek miért figyelünk meg gyakrabban holdfogyatkozást, mint napfogyatkozást, jöllehet a számuk évente nagyjából azonos?
8. A parkban az egyenes fasort lámpa világítja meg. Mérőműszerek nélkül hogyan állapítanátok meg, milyen magasan van a lámpatest? *Segítségül:* ti is a fasor mellett álltok, és ismeritek saját testmagasságotokat.
9. A 4. ábra derékszögű háromszöget ábrázol. Az a befogó hossza 5 cm, az α szög 30° . Határozzátok meg az átfogó és a másik befogó hosszát! A feladatot oldjátok meg kétféleképpen!



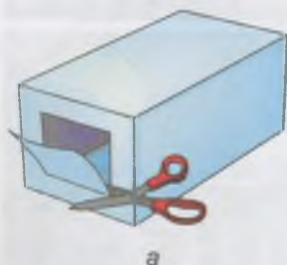
4. ábra



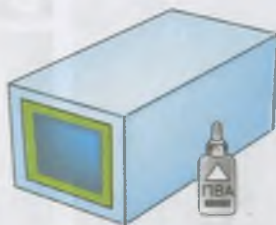
Gyakorlati feladatok

1. Állítsátok a gyertyát vagy asztali lámpát 30–40 cm-re a faltól. A fal és a gyertya közé helyezzétek be a tenyereteket! A gyertya és a tenyeretek közötti távolságot változtatva figyeljétek meg a falon végbemenő változásokat! Írjátok le, és magyarázzátok meg, amit tapasztaltok!
2. Hogyan állapítható meg kötőtűvel, hogy egyenes-e a kartonlapon húzott vonal?
3. Készítsetek *camera obscurát* (lyukkamerát) (lat. *camera* – szoba, *obscura* – sötét). Ennek a berendezésnek a leírására *Arisztotelész* (i. e. IV. sz.) és *Mo Ti* kínai filozófus (i. e. V. sz.) munkái között bukkantak rá. A lyukkamerát a mai fényképezőgép elődjének tartják. Elkészítése a következőképpen történik:

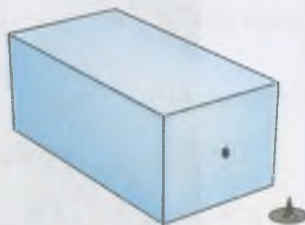
- 1) vegyetek egy kartondobozt, és készítsetek ernyőt: a doboz egyik végén vágjatok ki kis ablakot (5. a ábra), és ragasszátok be zsírpapírral (5. b ábra);
- 2) a doboz ellenkező végén készítsetek 1 mm átmérőjű lyukat (5. c ábra).



a



b



c

5. ábra

Sötét helyiségben irányítsátok a lyukat gyertyafényre, és az ernyőn megkapjátok a láng képét. Milyen a kapott kép: egyenes vagy fordított, nagyított vagy kicsinyített, éles vagy elmosódott? Idézzétek fel a fény egyenes vonalú terjedésének törvényét, és magyarázzátok meg, hogyan jött létre ez a kép!

11. §. FÉNYVISSZAVERŐDÉS. A FÉNYVISSZAVERŐDÉS TÖRVÉNYEI. SÍKTÜKÖR

A minket körülvevő objektumok nagy része, így a házak, fák, osztálytársaitok – nem fényforrások. Azonban mégis látjuk őket. A „miértre” ebben a paragrafusban kapjátok meg a választ.

1 Tisztázzuk, miért látunk olyan testeket, amelyek nem fényforrások

Már tudjátok, hogy a homogén átlátszó közegben a fény egyenes vonalúan terjed. Mi történik akkor, ha a fénynyaláb útjába valamilyen test kerül? Ha a test átlátszó, a fény egy része *áthatol* rajta, egy részét a test *elnyeli*, bizonyos része pedig a testről *visszaverődik*. Egyes visszavert sugarak a szemünkbe jutnak, ennek köszönhetően látjuk a testet (11.1. ábra).

2 Felállítjuk a fényvisszaverődés törvényét

A fényvisszaverődés törvényének felállításához speciális berendezést – *optikai korongot** – használunk. A korong közepére tükröt rögzítünk, és vékony fénynyalábot irányítunk rá oly módon, hogy a korong felszínén vékony csíkot hagyjon. Azt tapasztaljuk, hogy a tükör által visszavert nyaláb szintén csíkot hagy a korongon (11.2. ábra).

A beeső nyaláb irányát *CO* sugárral jelöljük (11.2. ábra). Ezt a sugarat *beeső sugárnak* nevezzük. A visszavert nyaláb irányát *OK* sugárral jelöljük, amelyet *visszavert sugárnak* mondunk.

Az *O* pontba egy *OB* beesési merőlegest állítunk. Megjegyezzük, hogy a *beeső sugár*, a *visszavert sugár* és a *beesési merőleges* egy síkban – a korong síkjában – *fekszik*.

A *beeső sugár* és a *beesési pontba* állított *merőleges* közötti szöget *beesési szögnek* nevezzük; a *merőleges* és a *visszavert sugár* által alkotott β szög a *visszaverődési szög*.

Megmérve az α és β szögeket, megbizonyosodunk róla, hogy azok azonosak.



11.1. ábra. Fényforrás nélkül semmit sem látunk. Ha van fényforrásunk, akkor nem csak magát a fényforrást látjuk, hanem azokat a tárgyakat is, amelyek visszaverik a fényforrásból rájuk eső fényt



11.2. ábra. A fényvisszaverődési törvény bemutatása optikai korong segítségével: α – beesési szög; β – visszaverődési szög

* *Optikai korong* – beosztásokkal ellátott fehér korong, amelynek a szélén fényforrás található.



11.3. ábra. A beesési szög megváltozásával megváltozik a visszaverődési szög is. A két szög minden esetben egyenlő



11.5. ábra. A fénysugarak megfordíthatóságának bemutatása: a visszavert sugár a beeső sugár vonalán halad



11.6. ábra. A tükörbe nézve minden alkalommal „iker-testvérünket” látjuk. Igazából semmilyen iker nincs ott – a tükörben saját tükörképünket láthatjuk



11.4. ábra. A 11. §-ban található feladathoz

Ha elmozdítjuk a fényforrást a korong peremementén, akkor megváltozik a *beesési* és a *visszaverődési* szög is, de minden alkalommal azonosak maradnak (11.3. ábra). Tehát megfogalmazzuk a **fényvisszaverődés törvényét**:

1. A beeső sugár, a visszavert sugár és a beesési pontba állított merőleges egyazon síkban fekszenek.
2. A visszaverődési szög egyenlő a beesési szöggel: $\alpha = \beta$.

A fényvisszaverődés törvényét *Eukleidész* ógörög tudós fogalmazta meg az i. e. III. században.

1. Milyen irányban kell elfordítania a professzornak a tükröt, hogy a napsugár a fiú arcába essen (11.4. ábra)?

Az optikai korong tükrének segítségével bemutatható a **fénysugarak megfordíthatósága** is: *ha a beeső sugarat a visszavert sugár útvonalára irányítjuk, akkor a visszavert sugár a beeső sugár vonalán fog haladni* (11.5. ábra).

3 Tanulmányozzuk a síktükör képalkotását

Megvizsgáljuk, hogyan jön létre ábrázolás a síktükörben (11.6. ábra). Az *S* pontszerű fényforrásból

a síktükör felszínére kiterjedt fénynyaláb esik. Ebből a nyalábból kiemeljük az SA , SB és SC sugarakat. A fényvisszaverődési törvények alapján megszerkesztjük a visszavert AA_1 , BB_1 és CC_1 sugarakat (11.7. a ábra). Ezek a sugarak széttartó nyalábot alkotnak. Ha meghosszabbítjuk azokat az ellenkező irányba (a tükör mögött), akkor a tükör mögött található S_1 pontban metszik egymás.

Ha a tükörről visszavert sugarak egy része a szemünkbe jut, akkor úgy tűnik, mintha a visszavert sugarak az S_1 pontból jönnének, noha valójában az S_1 pontban semmiféle fényforrás nincs. Ezért az S_1 pontot az S pont **virtuális képének** nevezzük. A síktükör minden esetben virtuális képet mutat.

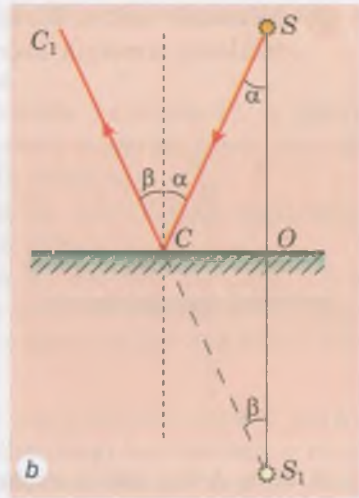
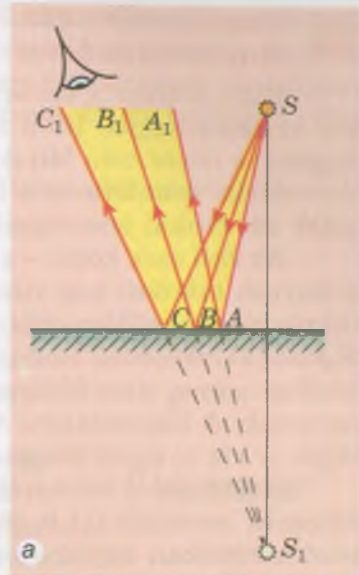
Tisztázzuk, hogyan helyezkedik el a tükörhöz viszonyítva a tárgy és annak tükörképe. A mértanhoz fordulunk segítségért. Vizsgáljuk meg például az SC sugarat, amely a tükörrre esik, majd visszaverődik róla (11.7. b ábra).

Az ábrán láthatjuk, hogy $SOCA = S_1OC\Delta$ – derékszögű háromszögek, melyek OC közös oldallal és egyenlő hegyesszögekkel rendelkeznek (mivel a fényvisszaverődési törvény alapján $\alpha = \beta$). A háromszögek egyenlőségéből következik, hogy $SO = S_1O$, vagyis az S pont és annak S_1 tükörképe szimmetrikusak a tükör síkjához viszonyítva.

Ugyanez mondható el a kiterjedt tárgyról is: *a tárgy és annak tükörképe szimmetrikusak a tükör síkjához viszonyítva.*

A síktükör képalkotásának a következő általános jellemzését fogalmazhatjuk meg:

1. A síktükör a tárgyak virtuális képét mutatja.
2. A tárgy és annak tükörképe szimmetrikus a tükör síkjához viszonyítva, ami azt jelenti:
 - 1) a tárgy tükörképének a mérete megegyezik magának a tárgynak a méretével;
 - 2) a tárgy tükörképe ugyanolyan távolságra van a tükör síkjától, mint maga a tárgy;
 - 3) a tárgyon és a tükörképén lévő pontot összekötő egyenes merőleges a tükör síkjára.



11.7. ábra. Pontszerű fényforrás tükörképének megalkotása síktükörön: S – fényforrás; S_1 – a fényforrás virtuális ábrázolása

* 4 Megkülönböztetjük egymástól a tükrös és szórt (diffúz) fényvisszaverődést

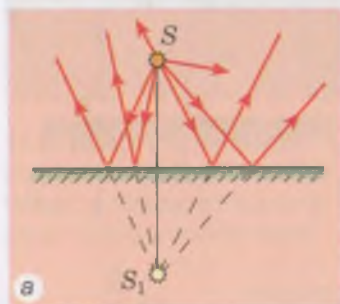
Este, amikor a szobában felkapcsoljuk a villanyt, megláthatjuk magunkat az ablaküvegen. Ha a függönyöket összehúzzuk, a tükörképünk eltűnik: a függönyre nézve nem látjuk magunkat.

Miért nem látható a függönyön a tükörképünk? A kérdésre a válasz legalább két fizikai jelenséggel függ össze.

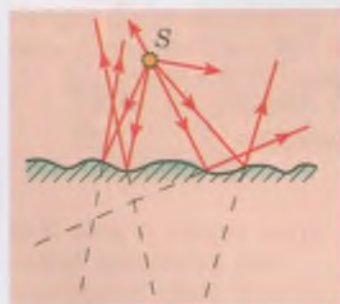
Az első ezek közül – a **fényvisszaverődés**. Hogy megjelenjen a tükörkép, a fénynek *tükrösen* kell visszaverődnie a felületről: az S fényforrásból jövő fény tükrös visszaverődése után a visszavert sugarak folytatásai egy S_1 pontban, az S pont tükörképében metszik egymást (11.8. a ábra). Az ilyen visszaverődés kizárólag nagyon sima felületek esetében lehetséges, amelyeket *tükrös felületeknek* neveznek. A hagyományos tükrön kívül ilyen felület még a síküveg, fényezett bútor, a víz nyugodt felszíne (18.8. a, b ábra).

A fény érdes felületről történő visszaverődését *szórt* vagy *diffúz* visszaverődésnek nevezzük (11.9. ábra). Ebben az esetben a visszavert sugarak különböző irányokban terjednek szét (ezért látjuk a megvilágított tárgyat bármelyik oldalról). Érthető, hogy sokkal több az ilyen típusú felület, mint a tükrös.

! Nézzetek szét a környezetetekben, és nevezetek meg legalább tíz olyan felületet, amelyik szórt fényt ver vissza!



11.8. ábra. A fény tükrös visszaverődése – visszaverődés sima felületről



11.9. ábra. Szórt (diffúz) fényvisszaverődés – visszaverődés érdes felületről

A tükörkép láthatóságát befolyásoló másik fizikai jelenség – a **fényelnyelés**. A fizikai testek nemcsak visszaverik, hanem el is nyelik a fényt. A legteljesebben a tükör veri vissza a fényt: a ráeső fény 95%-át képes visszaverni. Jó fényvisszaverők még a fehér színű testek, miközben a fekete színűek a rájuk eső fényt szinte teljes egészében elnyelik.

 Amikor késő ősszel leesik a hó, az éjszakák jóval világosabbak lesznek. Miért? 

5 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. Az 1. ábrán egy BC tárgy és NM tükör vázlatos ábrázolása látható. Határozzátok meg grafikusán azt a szakaszt, ahonnan a BC tárgy tükörképe teljes egészében látható!

A fizikai probléma elemzése. Hogy a tárgy egy meghatározott pontja látható legyen a tükörben, arra van szükség, hogy a megfigyelő szemébe verődjön vissza a pontból a tükörrre eső sugarak egy része. Ha a szembe a tárgy szélső pontjaiból eső sugarak verődnek vissza, akkor érthető, hogy a tárgy összes pontjából kiinduló sugár szintén a szembe jut.

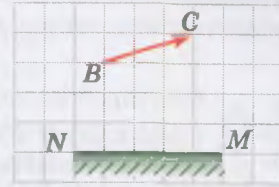
A feladat megoldása, az eredmények elemzése

1. Megszerkesztjük a B pont B_1 képét a síktükör felszínén (2. a ábra). A tükör felszíne és a tükör szélső pontjaiból visszavert sugarak által határolt terület lesz az a rész, ahonnan látható a B pont B_1 tükörképe.

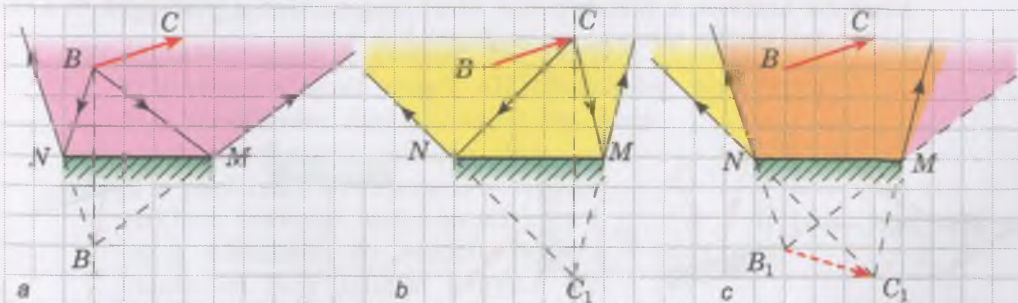
2. Hasonlóképpen szerkesztjük meg a C pont C_1 tükörképét, majd meghatározzuk a láthatósági területét a tükörben (2. b ábra).

3. A megfigyelő a teljes tárgyat csak abban az esetben láthatja, ha a mindkét pontból – B_1 és C_1 – visszavert sugarak a szemébe jutnak (2. c ábra). Tehát a narancssárga terület az a rész, ahonnan a tárgy teljes tükörképe látható.

 Elemeztétek a kapott eredményt, még egyszer vizsgáljátok meg a 2. ábrát, és ajánlatok egyszerűbb módszert a tárgy láthatósági területének a meghatározására! A láthatósági terület kétféle módszer szerint történő megszerkesztésével ellenőriztéték feltevéseiteket!



1. ábra



2. ábra



Összegezés

Az összes látható test visszaveri a fényt. A fény visszaverődése közben teljesül a fényvisszaverődés mindkét törvénye: 1) a beeső sugár, a visszavert sugár és a beesési pontba állított merőleges ugyanabban a síkban fekszik; 2) a visszaverődési szög egyenlő a beesési szöggel.

A tárgy ábrázolása a síktükörben virtuális, annak mérete megegyezik a tárgy méretével, a tükörtől ugyanolyan távolságra helyezkedik el, mint maga a tárgy.

* Megkülönböztetünk tükros és szórt (diffúz) fényvisszaverődést. Tükros visszaverődés esetén láthatjuk a tükör felszínén a tárgy tükörképét; szórt fényvisszaverődés esetén a tárgy tükörképe nem látható.



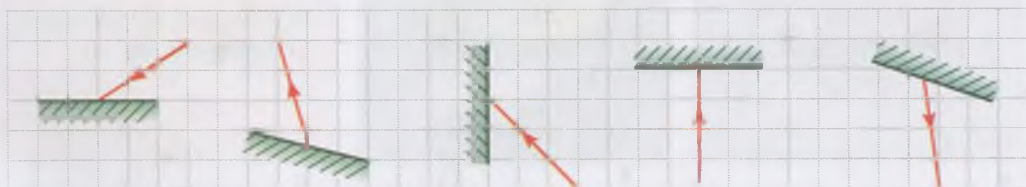
Ellenőrző kérdések

1. Miért látjuk a minket körülvevő tárgyakat? 2. Milyen szöget neveznek beesési szögnek? Visszaverődési szögnek? 3. Fogalmazzatok meg a fényvisszaverődés törvényeit! 4. Milyen berendezés segítségével győződhetünk meg a fényvisszaverődés törvényeinek igazáról? 5. Miben rejlik a fénysugarak megfordíthatósága? 6. Milyen esetben nevezik a képet virtuálisnak? 7. Jellemezzétek a tárgy tükörképét a síktükörben! * 8. Mi a különbség a szórt és a tükros fényvisszaverődés között?



11. gyakorlat

1. A kislány 1,5 m távolságra áll a síktükörtől. Mekkora távolságra lesz a kislánytól a tükörképe? Jellemezzétek azt!
2. A gépkocsivezető a visszapillantó tükörbe nézve meglátta a hátsó ülésen lévő utasát. Láthatja-e az utas ebben a pillanatban a vezetőt ugyanabban a tükörben?
3. Rajzoljátok át a füzetbe az 1. ábrát, majd minden esetben szerkesszétek meg a beeső (vagy visszaverődő) sugarat! Jelöljétek meg a beesési és visszaverődési szögeket!
4. A beeső és visszaverődő sugarak közötti szög 80° . Mekkora a sugár beesési szöge?
5. A tárgyat a síktükörtől 30 cm távolságra helyezték el. Később a tárgyat 10 cm-re elmozdították a tükörtől a síkjára merőleges egyenes mentén, majd 15 cm-re a tükör síkjával párhuzamosan. Milyen volt a tárgy és a tükörképe közötti távolság? Milyen lett ez a távolság?
6. 4 km/h sebességgel közeledtek a tükros szekrény felé. Milyen sebességgel közeledik hozzátok a tükörképek? Mennyivel csökken a közöttük és a tükörképek közötti távolság, ha megtesztek 2 méter?

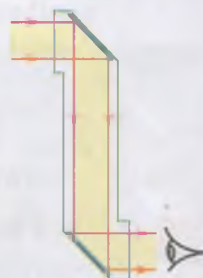


1. ábra

7. A napsugár visszaverődik a tó felszínéről. A beeső sugár és a vízfelszín közötti szög kétszer nagyobb a beeső és visszaverődő sugarak közötti szögnél. Mennyivel egyenlő a sugár beesési szöge?
8. A kislány a falra kis szögben felfüggesztett tükörbe néz (2. ábra).
 - 1) Szerkesszék meg a kislány tükörképét!
 - 2) Grafikusan határozzátok meg, mennyit lát magából a kislány, és azt a területet, ahonnan a kislány teljes egészében látja önmagát!
 - 3) Milyen változások történnek, ha a tükröt fokozatosan nem átlátszó ernyővel vonjuk be?
9. Éjszaka a gépkocsi fényszórói által megvilágított, vízzel teli kátyú a vezetőnek csak sötét foltnak tűnik az úteseten. Mi ennek az oka?
10. A 3. ábrán a sugarak útja látható a *periszkóp* belsejében (a *periszkóp* olyan szerkezet, amelynek a működési elve a fény egyenesvonalú terjedésén alapszik). Magyarázzátok meg a berendezés működési elvét! Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjatok meg minél többet a felhasználási területéről!



2. ábra



3. ábra

3. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA



Téma: Fényvisszaverődés vizsgálata síktükörrel.

Cél: a fényvisszaverődés törvényeinek kísérleti vizsgálata.

Eszközök: vonalzó, szögmérő, ceruza, fényforrás (gyertya vagy asztali lámpa), síktükör, ernyő keskeny réssel, néhány üres fehér lap.

ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

II Előkészület a kísérlethez

1. A munka kezdete előtt idézzétek fel: 1) az üvegtárgyakkal történő munka közben betartandó balesetvédelmi előírásokat; 2) a fényvisszaverődés törvényeit!
2. Állítsátok össze a kísérleti berendezést (1. ábra):
 - 1) a réssel ellátott ernyőt állítsátok fehér papírlapra;
 - 2) a fényforrást úgy állítsátok be, hogy a papíron fénycsík jelenjen meg;
 - 3) a papírhoz merőlegesen, és a fénycsíkhoz bizonyos szögben állítsátok be a síktükröt oly módon, hogy a visszavert fény szintén hagyjon látható csíkot a papírlapon!



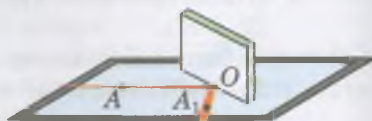
1. ábra



Kísérlet

Szigorúan tartsátok be a balesetvédelmi előírásokat (lásd a könyv belső borítóját)!

1. Hegyes ceruzával húzzatok vonalat a tükör mentén!
2. Tűntessetek fel a papírlapon három pontot: az elsőt a beeső, a másodikat a visszaverődő sugár közepén, a harmadikat pedig a tükrön lévő beesési pontban (2. ábra)!
3. A leírt műveleteket más-más papírlapon, a tükör helyzetét változtatva ismételjétek meg néhányszor!
4. Győződjétek meg arról, hogyha megváltoztatjátok a tükör és a papírlap közötti szöget, akkor nem fogjátok látni a visszavert fénysugárnyalábot!



2. ábra



A kísérlet eredményeinek feldolgozása

Mindegyik kísérlethez:

- 1) szerkesszétek meg a beeső és visszavert sugarat;
- 2) a beesési pontba állítsatok merőleget a tükör síkjához;
- 3) jelöljétek be, és mérjétek meg a fény beesési (α) és visszaverődési (β) szögét!

A mérések eredményeit írjátok be a táblázatba!

A kísérlet sorszáma	Beesési szög α , fok	Visszaverődési szög β , fok
1		
...		



A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és annak eredményeit! Vonjatok le következtetést, amelyben összefoglaljátok: 1) milyen összefüggést állítottatok fel a beesési és visszaverődési szög között; 2) pontosak-e a mérési eredmények, és ha nem, akkor mi a hiba oka!



Alkotói feladat

Az ábra segítségével gondoljátok végig és állítsátok össze a szoba magasságának síktükör segítségével történő meghatározásának tervét; soroljátok fel a szükséges eszközöket! Lehetőség szerint végezzétek el a kísérletet!

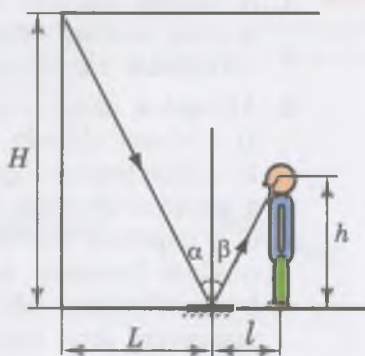


Csillagos feladat

Mindegyik kísérletre határozzátok meg a viszonylagos hibát a következő képlet segítségével:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{\beta}{\alpha} \right| \cdot 100\%,$$

ahol α – a beesési szög; β – a visszaverődési szög.





12. §. FÉNYTÖRÉS KÉT KÖZEG HATÁRFELÜLETÉN. A FÉNYTÖRÉS TÖRVÉNYEI

Egy ókori görög értekezésben a következő leírás található: „Úgy kell megállni, hogy az edény aljára helyezett lapos gyűrű ne legyen látható az edény oldalától. Utána – a szem helyzetét nem változtatva – az edénybe vizet öntünk. A fény megtörik a víz felszínén és a gyűrű láthatóvá válik” (12.1. ábra). Ezt a „trükköt” ti is bemutathatjátok a családotoknak, de a lényegét csak a következő paragrafus megtanulása után fogjátok tudni megmagyarázni.



12.1. ábra. „Trükk” pénzérmével. Ha a csészében nincs víz, nem látjuk az alján lévő érmét (a); ha vizet öntünk bele, a csésze alja mintha felemelkedne, és az érme láthatóvá válik (b)

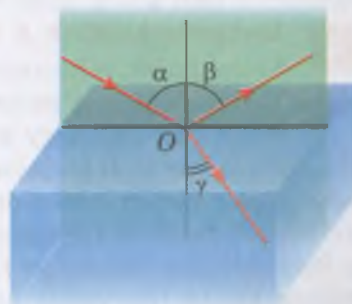
1 Megfogalmazzuk a fénytörés törvényeit

Elvégezzünk egy kísérletet (12.2. ábra). Az optikai korong közepére rögzített átlátszó, üveg félhenger lapos felszínére vékony fénynyalábot irányítunk. A fény nemcsak visszaverődik a henger felszínéről, hanem egy része át is hatol az üvegben. A levegőből az üvegbe jutva megváltozik a fény haladási iránya.

A fény terjedési irányának megváltozását két közeg határán **fénytörésnek** nevezzük.

A megtört sugár és a két közeg határán lévő beesési pontba húzott merőleges által bezárt γ (gamma) szöget **törési szögnek** nevezzük.

Az optikai koronggal végzett számtalan kísérlet arról tanúskodik, hogy a beesési szög növekedésével a törési szög is növekszik, a beesési szög csökkenésével a törési szög szintén csökken (12.2. ábra). Ha a fény merőlegesen esik a közegeket elválasztó határvonalra (a beesési szög $\alpha = 0$), a fény terjedési iránya nem változik.



12.2. ábra. Fénytörés megfigyelése a fény levegőből üvegbe történő átmenetekor: α – beesési szög; β – visszaverődési szög; γ – törési szög



12.3 ábra. A fénytörés törvényeinek bemutatása: a beesési szög csökkenésével ($\alpha_2 < \alpha_1$) csökken a törési szög is ($\gamma_2 < \gamma_1$), eközben $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma_2}$

A fénytörésről elsőként *Arisztotelész* (i. e. IV. sz.) ógörög filozófus írásaiban olvashatunk, aki a következő jelenségen gondolkodott el: „Miért tűnik töröttnek a vízbe mártott bot?” A fénytörést számokkal alátámasztva körülíró törvényt csak 1621-ben fogalmazta meg *Willebrord Snellius* (1580–1626) holland természettudós.

A fénytörés törvényei:

1. A beeső fénysugár, a megtört fénysugár és a két közeg elválasztó határfelületéhez a beesési pontban állított merőleges egy síkban fekszik.
2. A beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának hányadosa ugyanarra a két közegre vonatkoztatva állandó:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

ahol n_{21} – fizikai mennyiség, amelyet a 2. közegnek (az a közeg, amelyben a fény a törés után terjed) az 1. közeghez (ebből a közegből esik a fény) viszonyított *relatív törésmutatójának* nevezünk.

2 Megismerkedünk a fénytörés okával

Vajon miért változtatja meg a fény az irányát az egyik közegből a másikba történő átmenet során?

Arról van szó, hogy különböző közegekben a fény eltérő sebességgel terjed, de minden esetben lassabban, mint a vákuumban. Például a fény terjedési sebessége a vízben 1,33-szor kisebb, mint a vákuumban; amikor a fény a vízből az üvegbe hatol, a terjedési sebessége még 1,3-szeresen csökken; a levegőben a fény terjedési sebessége 1,7-szer nagyobb, mint az üvegben, és csak kis mértékben kisebb (nagyjából 1,0003-szor), mint a vákuumban.

Tehát a fénytörés oka a fény sebességének változása a különböző közegekbe történő átmenete során.

Beszélhetünk még **optikai sűrűségről** is: minél kisebb a fény terjedési sebessége a közegben (minél nagyobb a törésmutató), annál nagyobb a közeg optikai sűrűsége.

7 Szerintetek melyik közeg optikai sűrűsége a nagyobb, az üvegé vagy a vízé? Melyik közeg optikai sűrűsége kisebb, az üvegé vagy a levegőé?

3 Tisztázzuk a törésmutató fizikai tartalmát

A **relatív törésmutató** (n_{21}) azt mutatja, hogy a fény sebessége az 1. közegben hányszor nagyobb (kisebb), mint a 2. közegben:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Figyelembe véve a fénytörés második törvényét: $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$, a következőt kapjuk:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Elemezve az utolsó képletet, a következő következtetéseket vonhatjuk le:

- 1) *minél gyorsabban változik a fény sebessége, annál nagyobb a fénytörés;*
- 2) *ha a fénysugár a nagyobb optikai sűrűségű közegbe megy át (vagyis a*

fény sebessége csökken: $v_2 < v_1$), akkor a törési szög kisebb a beesési szögtől: $\gamma < \alpha$ (lásd például a 12.2., 12.3. ábrákat);

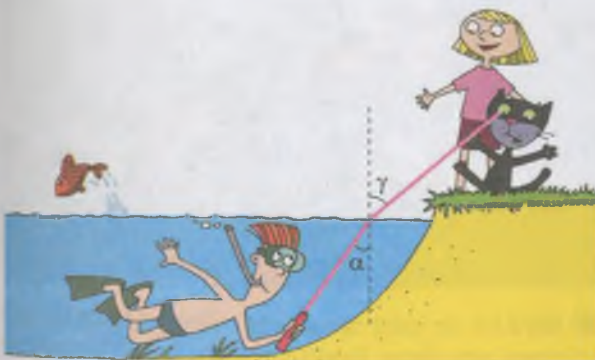
- 3) *ha a fénysugár a kisebb optikai sűrűségű közegbe megy át (vagyis a fény sebessége növekszik: $v_2 > v_1$), akkor a törési szög nagyobb a beesési szögtől: $\gamma > \alpha$ (12.4 ábra).*

A fény sebességét a különböző közegekben általában a fény vákuumbeli sebességéhez viszonyítják. Amikor a fény a vákuumból más közegbe megy át, abban az esetben a törésmutatót a közeg *n abszolút törésmutatójának* nevezzük.

A közeg **abszolút törésmutatója** azt mutatja, hányszor kisebb a fény sebessége az adott közegben, mint a vákuumban:

$$n = \frac{c}{v},$$

ahol c – a fény sebessége a vákuumban ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s); v – a fény sebessége az adott közegben.



12.4. ábra. Amikor a fény nagyobb optikai sűrűségű közegből kisebb optikai sűrűségű közegbe megy át, a törési szög nagyobb a beesési szögnél ($\gamma > \alpha$)

Anyag	Abszolút törésmutató n
Levegő	1,0003
Jég	1,31
Víz	1,33
Benzin	1,50
Üveg	1,43–2,17
Kvarc	1,54
Gyémánt	2,42

A fény sebessége a vákuumban nagyobb, mint bármely közegben, ezért az abszolút törésmutató mindig nagyobb egynél (lásd a táblázatot).

Figyeljétek meg: $n_{\text{levegő}} \approx 1$, ezért a fénynek a levegőből valamilyen közegbe történő átmenete esetében a közeg relatív törésmutatója megegyezik az abszolút törésmutatóval.

A fénytörés jelensége szolgál számos optikai berendezés működésének az alapjául, közülük néhányat a későbbiekben ismerkedhetek meg.



Alkalmazzuk a teljes belső fényvisszaverődés jelenségét

Megvizsgáljuk azt az esetet, amikor a fény a nagyobb optikai sűrűségű közegből kisebb optikai sűrűségű közegbe megy át (12.5. ábra). Láthatjuk, hogy a beesési szög növekedésével ($\alpha_2 > \alpha_1$) a γ törési szög a 90° -hoz közelít, a megtört nyaláb fényessége csökken, a visszavert nyaláb élénksége pedig pont ellenkezőleg – erősödik. Érthető, hogyha tovább növekszik a beesési szög, a törési szög eléri a 90° -ot, a megtört nyaláb eltűnik, a beeső nyaláb pedig teljes egészében (energiavesztés nélkül) visszatér az első közegbe, vagyis a fény teljes egészében visszaverődik.

Azt a jelenséget, amelyben nincs fénytörés (a fény teljes egészében visszaverődik a kisebb optikai sűrűségű közegről), a **fény teljes belső visszaverődésének** nevezzük.

A teljes belső visszaverődés jelenségét azok ismerhetik jól, akik már legalább egyszer úsztak nyitott szemmel a víz alatt (12.6. ábra).



12.5. ábra. Ha a fény az üvegről a levegőbe esik, a beesési szög növekedése során a törési szög megközelíti a 90° -ot, a fényessége pedig csökken



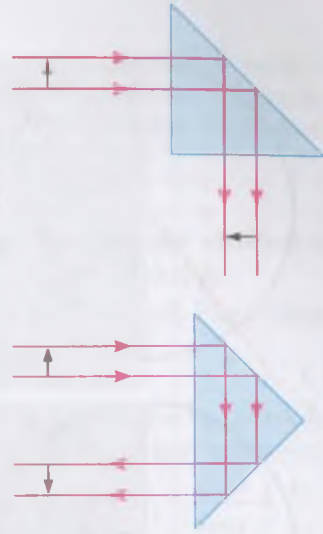
12.6. ábra. A víz alatt tartózkodó megfigyelőnek a víz felszínének egy része fénylő tükörnek tűnik

Az ékszerészek évszázadok óta felhasználják a teljes belső fényvisszaverődés jelenségét a drágakövek értékének növeléséhez. A természetes köveket poliéder formájúra csiszolják: a poliéder lapjai lesznek a „belső tükrök”, és a kő csillog a ráeső fényben.

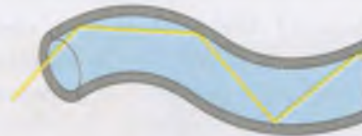
A teljes fényvisszaverődést az optikai berendezésekben hasznosítják (12.7. ábra). Fő alkalmazási területe az **optikai szálakkal** kapcsolatos. Ha a vékony üvegszálakból álló üvegkábel egyik végére fénynyalábot irányítanak, akkor a fény többszöri visszaverődés után a kábel másik végén jelenik meg, függetlenül attól, hogy a kábel egyenes vagy hajlított. Az ilyen üvegszát **fényvezetőnek** vagy **fényvezetőnek** nevezzük (12.8. ábra).

A fényvezetőket az egészségügyben a belső szervek vizsgálatánál alkalmazzák (endoszkópia); a technikában a motorok belső hibáinak a szétszedésük nélküli kiderítésére; zárt helyiségek napfényrel történő megvilágítására; dekoratív lámpákban (12.9. ábra).

De leggyakrabban a fényvezetőket információátvitelre használják (12.10. ábra). Az „üvegkábel” jelentősen olcsóbb és könnyebb a rézkábelnél, gyakorlatilag semmilyen külső tényező hatására sem változtatja meg a tulajdonságait, és lehetővé teszi a jelek nagy távolságra történő, veszteség nélküli továbbítását. Napjainkban a hírközlésben az optikai kábelek lassan kiszorítják a hagyományos kábeleket. Amikor a tévét nézitek vagy interneten böngészték, emlékezzetek rá, hogy az információ útjának nagyobb részét „üvegúton” teszi meg. ➡



12.7. ábra. Sok optikai berendezésben a fény terjedésének irányát teljesen visszaverő prizma segítségével változtatják meg: *a* – a prizma visszafordítja a képet; *b* – a prizma átfordítja a képet



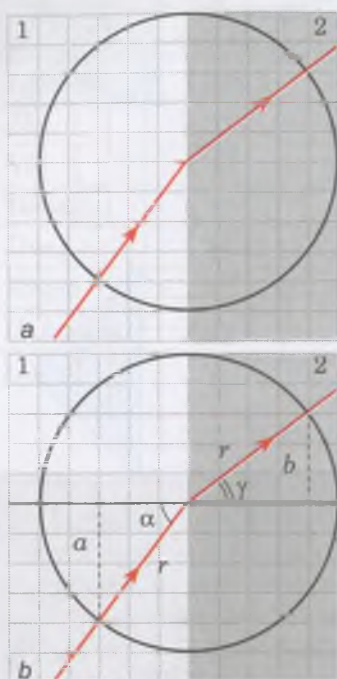
12.8. ábra. Fénynyaláb terjedése fényvezetőben



12.9. ábra. Dekoratív lámpa fényvezetőkkel



12.10. ábra. Optikai kábel



12.11. ábra. A 12. §-ban található feladathoz

5

Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. A fénysugár az 1. közegből a 2. közegbe megy át (12.11. a ábra). A fény sebessége az 1. közegben $2,4 \cdot 10^8$ m/s. Határozzátok meg a 2. közeg abszolút törésmutatóját és a fény sebességét ebben a közegben!

A fizikai probléma elemzése. A 12.11. a ábrán látható, hogy a két közeg határán a fény megtörik, tehát megváltozik a sebessége is.

Készítünk egy magyarázó rajzot (12.11. b ábra), amelyen:

1) ábrázoljuk a feladat feltételeiben említett sugarakat;

2) a beesési pontba merőlegest szerkesztünk a két közeg határvonalára;

3) feltüntetjük az α beesési és γ törési szöget.

A fénytörés abszolút törésmutatója – a vákuumhoz viszonyított törésmutató. Ezért a feladat megoldásához fel kell idézni a fény sebességét a vákuumban, és meghatározni a sebességét a 2. közegben (v_2).

A v_2 meghatározásához kiszámítjuk a beesési és törési szögek szinuszeit.

Adva van:

$$v_1 = 2,4 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Meghatározzuk:

$$n_2 - ?$$

$$v_2 - ?$$

A matematikai modell felállítása, megoldás.

Az abszolút törésmutató meghatározása alapján:

$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$

$$\text{Mivel } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \text{ ezért } v_2 = \frac{v_1 \sin \gamma}{\sin \alpha}$$

A 12.11. b ábrából láthatjuk, hogy $\sin \alpha = \frac{a}{r}$, a $\sin \gamma = \frac{b}{r}$, ahol r – a kör sugara.

Meghatározzuk a keresett mennyiségek értékét:

$$\sin \alpha = \frac{a}{r} = \frac{4}{5} = 0,8, \quad \sin \gamma = \frac{b}{r} = \frac{3}{5} = 0,6;$$

$$v_2 = \frac{2,4 \cdot 10^8 \cdot 0,6}{0,8} = 1,8 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right); \quad n_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{1,8 \cdot 10^8} = \frac{30}{18} = \frac{5}{3} \approx 1,7.$$

A megoldás elemzése. A feladat feltétele szerint a beesési szög nagyobb a törési szögnél, ami azt jelenti, hogy a fény sebessége a 2. közegben kisebb a fény 1. közegbeli sebességétől. Tehát a kapott eredmények valóságok.

Felelet: $n_2 \approx 1,7$; $v_2 = 1,8 \cdot 10^8$ m/s.

Összegezés



A két közeg határára eső fénynyaláb két részre oszlik. Az egyik nyaláb – a visszavert – a fényvisszaverődés törvényének megfelelően visszaverődik a felületről. A másik – a megtört – átjut a másik közegbe, miközben megváltoztatja az irányát.

A fénytörés törvényei:

1. A beeső fénysugár, a megtört fénysugár és a két közeg elválasztó határfelülethez a beesési pontba állított merőleges egy síkban fekszik.

2. A beesési α szög szinuszának és a törési γ szög szinuszának hányadosa ugyanarra a két közegre vonatkoztatva állandó: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$.

A fénytörés oka – a fény sebességének változása az egyik közegből a másikba történő átmenet során. A relatív törésmutató n_{21} azt mutatja, hogy a fény sebessége

az 1. közegben hányszor nagyobb (kisebb), mint a 2. közegben: $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$.

Ha a fény a vákuumból kerül egy másik közegbe, akkor az n törésmutatót abszolút törésmutatónak nevezzük: $n = c/v$

Ha a fénynek az 1. közegből a 2. közegbe történő átmenete során csökkent a sebessége (vagyis a 2. közeg törésmutatója nagyobb az 1. közeg törésmutatójánál: $n_2 > n_1$), akkor azt mondjuk, hogy a fény a kisebb optikai sűrűségű közegből a nagyobb optikai sűrűségű közegbe ment át (és fordítva).

Ellenőrző kérdések

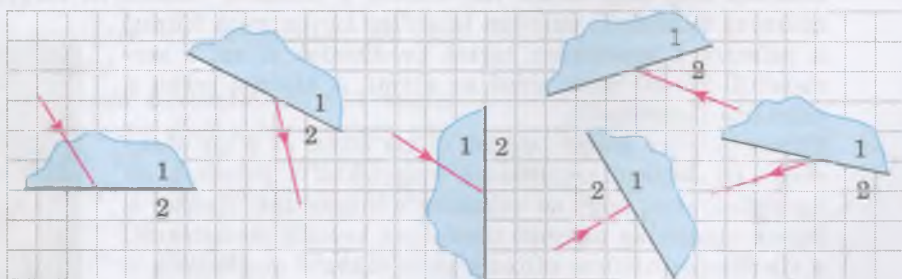


1. Milyen kísérletek támasztják alá a fénytörés jelenségét a két közeg elválasztó határfelületen? 2. Fogalmazzatok meg a fénytörés törvényeit! 3. Mi az oka a fénytörésnek? 4. Mit mutat a törésmutató? 5. Hogyan függ össze a fény terjedési sebessége a közeg optikai sűrűségével? 6. Mi az abszolút törésmutató?

12. gyakorlat

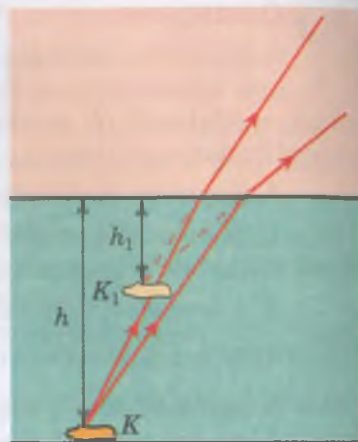


1. Rajzoljátok be a füzetbe az 1. ábrát! Feltételezve, hogy az 1. közeg nagyobb optikai sűrűségű, mint a 2., mindegyik esetre szerkesszétek meg a beeső (vagy megtört) sugarat, tüntessétek fel a beesési és a törési szögeket!

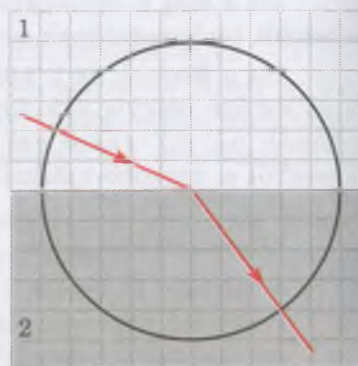


1. ábra

2. Határozzátok meg a fény sebességét a gyémántban, a vízben és a jégben!
3. A fénysugár a levegőből 60° -os szögben esik a vízre. A visszavert és megtört sugarak közötti szög 80° . Számítsátok ki a törési szöget!
4. Amikor a tóparton állva megkíséreljük szemre meghatározni annak mélységét, akkor az mindig kisebbnek tűnik, mint amilyen valójában. A 2. ábra segítségével magyarázzátok meg, miért van így!
5. Milyen idő alatt jut el a fény a 900 m mély tó fenekéről annak felszínére?
6. Magyarázzátok meg a 12. §-ban bemutatott, gyűrűvel (érmével) végzett trükköt (lásd a 12.1. ábrát)!
7. A fénysugár az 1. közegből a 2. közegbe megy át (3. ábra). A fény sebessége az 1. közegben $2,5 \cdot 10^8$ m/s. Határozzátok meg:
 - 1) melyik közeg optikai sűrűsége a nagyobb;
 - 2) a 2. közegnek az 1. közeghez viszonyított törésmutatóját;
 - 3) a fény sebességét a 2. közegben;
 - 4) mindkét közeg abszolút törésmutatóját!
8. A Föld atmoszférájában végbemenő fénytörés következménye a déláb és az a tény, hogy a Napot és a csillagokat a valós magasságuknál kissé feljebb látjuk. Kiegészítő forrásanyagok felhasználásával tudjatok meg többet ezekről a természeti jelenségekről!



2. ábra



3. ábra



Kísérleti feladat

1. **Trükk érmével.** Mutassátok be valamelyik barátotoknak az érmével végzett trükköt (lásd a 12.1. ábrát). Magyarázzátok meg a jelenség okát!

2. **Víztükör.** Figyeljétek meg a teljes fényvisszaverődést! Ehhez egy palackot töltsétek meg félig vízzel! Helyeztetek a palackba valamilyen tárgyat, például műanyag tollszárat, amelyen lehetőleg legyen rajta felirat! A palackot a kezetekben tartva távolítsátok el azt a szemektől 25–30 cm-re (lásd az ábrát). A kísérlet során a tollszárat figyeljétek!

Először a teljes szárat látjátok (a víz feletti és a víz alatti részét is). Lassan távolítsátok magatoktól a palackot, de ügyeljétek arra, hogy ne változzon a magassága! Amikor a palack viszonylag nagyobb távolságra kerül a szemektől, a víz felszíne tükörré változik számotokra – meglátjátok a tollszár víz alatti részének a tükörképét. Magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!



4. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA



Téma. A fénytörés megfigyelése.

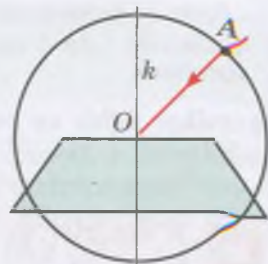
Cél: az üveg levegőhöz viszonyított törésmutatójának meghatározása.

Eszközök: üveglemez párhuzamos szegélyekkel, ceruza, milliméteres beosztású vonalzó, körző.

ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

II Előkészület a kísérlethez

- A munka kezdete előtt idézzétek fel:
 - az üvegedényekkel végzett munka során betartandó biztonsági előírásokat;
 - a fénytörés törvényeit;
 - a fény törésmutatójának meghatározására szolgáló képletet!
- Készítsétek el a munkavégzéshez szükséges rajzot (1. ábra). Ehhez:
 - helyezzétek az üveglemezt a füzetlapra, és jól kihegyezett ceruzával rajzoljátok körbe a kontúrját;
 - a felső oldalnak megfelelő szakaszon:
 - tüntessetek fel egy O pontot;
 - szerkesszettek az O ponton keresztül az adott szakaszra merőleges k egyenest;
 - körzővel szerkesszettek 2,5 cm sugarú, O középpontú körvonalat;
 - megközelítőleg 45° -os szögben húzzátok meg az O pontra eső fénynyaláb irányát megadó sugarat; jelöljétek meg a körvonal és a sugár metszéspontját A betűvel;
 - az 1–3. pontokban leírt műveleteket végezzétek el még kétszer (készítsetek további két rajzot), először növelve, majd csökkentve a fénysugár megadott beesési szögét!

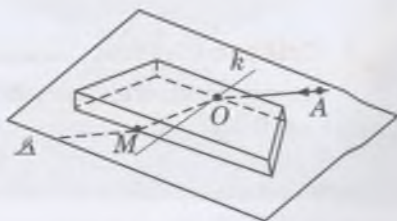


1. ábra

III Kísérlet

Szigorúan tartsátok be a balesetvédelmi előírásokat (lásd a könyv belső borítóját)!

- Helyezzétek az üvegedényt az első kontúrra!
- Az üvegen keresztül az OA sugár-ra nézve az alsó oldal mellett tüntessétek fel az M pontot úgy, hogy az az AO sugár meghosszabbításán helyezkedjen el (2. ábra)!
- Ismételjétek meg az 1. és 2. pontokban leírt műveleteket a másik két kontúr esetében is!



2. ábra

13. §. A FÉNY DISZPERZIÓJA. A FÉNY SPEKTRÁLIS ÖSSZETÉTELE. SZÍNEK

Idéztek fel: napsütéses nyári napon az égbolton hirtelen felhők jelennek meg, elered az eső, amely mintha „nem venné észre”, hogy a Nap továbbra is süt. Az ilyen esőt az ukrán népnyelv vak esőnek (a magyar cigányesőnek) nevezi. Az eső még nem szűnt meg, s az égbolton megjelenik a sokszínű szivárvány (13.1, ábra). Mi ennek az oka?

A napfényt spektrumra bontjuk

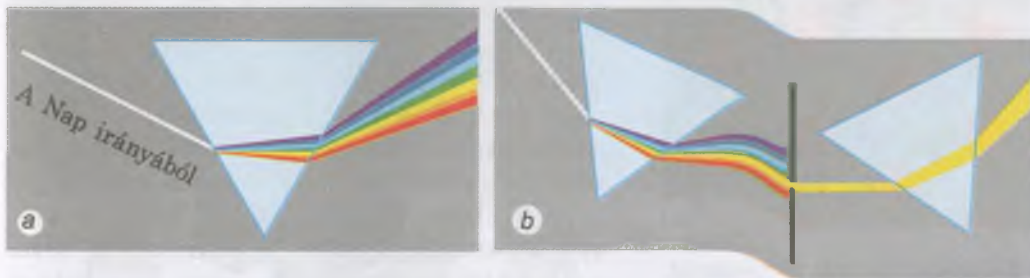
Már nagyon régen észrevették, hogy az üveghasábon áthaladó napsugárnyaláb sokszínűvé válik. Azt gondolták, hogy ennek a jelenségnek a hasáb színtestő tulajdonsága az oka. Hogy valóban így van-e, több érdekes kísérlet elvégzésével 1665-ben *Isaac Newton* (1643–1727) kiemelkedő angol tudósnak sikerült tisztáznia.

Hogy keskeny napsugárnyalábot hozzon létre, Newton jába kis nyílást vágott. Amikor a sugár útjába hasábot az ablak spalettá-falon sokszínű csík jelent meg, amit a tudós **spektrumnak** helyezett, a szemközti zett el. A csíkon (ahogy a szivárványon is) a tudós hét **színt** (színképnek) neve- *pirosat, narancssárgát, sárgát, zöldet, világoskékét, kéket,* különböztetett meg: *lilát* (13.2. a ábra). Ezt követően a tudós ernyőben készített rés segítség

Ezt követően a tudós ernyőben készített rés segítségével (13.2. a ábra). gárnyalázból kiválasztotta az egyszínű (monokromatikus) sugarakat, és újból bomlottak színekre (13.2. b ábra). Legnagyobb mértékben, de már nem tékben pedig a piros nyaláb tért el.

A kísérletek eredményei alapján Newton az alábbi következtetéseket fogalmazta meg:

- 1) a fehér fénynyaláb (napfény) sokszínű fénysugarakból áll;
- 2) a hasáb nem fesi meg a fehér fényt, hanem színekre (színképre) bontja a különböző színű fény eltérő törése miatt.



13.2. ábra. Newton kísérleteinek vázlata a fény spektrális összetételének meghatározására



13.1. ábra. Szivárvány szökők-
taknál és vízesekeknél is megfi-
gyelhető

Hasonlítsátok össze a 13.1. és 13.2. ábrákat: a szivárvány színei egyben a spektrum színei is. Ez nem különös, mert a szivárvány valójában a napfény óriási spektruma. A szivárvány kialakulásának egyik oka az, hogy a számtalan vízcsepp megtöri a fehér nap-sugarat.



13.3. ábra. Néhány kiegészítő (komplementer) szín



13.4. ábra. Ha kézi nagyítóval nézzük a számítógép monitorját, végtelen számú piros, zöld és kék köröcskét látunk



Megismerkedünk a fénydiszperzióval

Newton kísérletei a többi között bizonyították, hogy az üveghasábban megtört lila fénynek minden esetben nagyobb a törése, mint a pirosnak. Ez azt jelenti, hogy a *különböző színű fények esetében eltérő az üveg törésmutatója*. Ezért bomlik fel a fehér fény spektrumra.

A fény spektrumra történő felbomlásának folyamatát, amit a közeg abszolút törésmutatójának a fény színétől való függése eredményez, **fénydiszperzió**nak (színszóródásnak) nevezzük.

Az átlátszó közegek többségének legnagyobb törésmutatója a lila, legkisebb a piros fény esetében van.



Melyik színű fénynek – a lilának vagy a pirosnak – van nagyobb terjedési sebessége az üvegben? *Segítségül:* idézzétek fel, hogyan függ a közeg törésmutatója a fény sebességétől ebben a közegben!



Jellemezzük a színeket

A napfény spektrumában hagyományosan hét színt emelnek ki, de többet is lehetne. Azonban soha nem tudnátok kiemelni például a barna vagy halványlila színeket. Ezek a színek *összetettek* – többféle *spektrumszín* különböző arányú *keveredésének* eredményeképpen jönnek létre. Egyes spektrumszínek egymásra helyezése fehér színt eredményez. Az ilyen spektrumszíneket *komplementer* (kiegészítő) színeknek nevezzük (13.3. ábra).

Az ember látására három alapvető spektrumszíneknek van különleges jelentősége: a *pirosnak*, a *zöldnek* és a *kéknek*. Ezeknek a színeknek az összeadódása hozza létre a legváltozatosabb színeket és árnyalatokat.

A három fő spektrumszín bizonyos arányú keveredésén alapul a számítógép, tévé, mobiltelefon képernyőjének színes képalkotása (13.4. ábra).



13.5. ábra. Mivel a különböző testek különbözőképpen verik vissza, nyelik el vagy törik meg a fényt, a környezetünket színesnek látjuk

4 Tisztázzuk, miért sokszínű a környezetünk

Mivel ismeretes, hogy a fehér összetett fény, ezért könnyen magyarázható, miért sokszínű az egyetlen fehér fényforrással, a Nappal megvilágított környezetünk (13.5. ábra).

A fehér papírlap felszíne bármilyen színű fénysugarat jól visszaver, ezért a fehér fénnel megvilágított lap fehérnek tűnik. Az ugyanezzel a színnel megvilágított kék hátizsák főleg a kék színt veri vissza, a többit elnyeli.

 Nagyobbrészt milyen színt vernek vissza a napraforgó szíromlevelei? A növények levelei?

A piros rózsára irányított kék szín majdnem teljes egészében elnyelődik, mivel a rózsaszirmok főként a piros sugarakat verik vissza, a többit elnyelik. Ezért a kék színnel megvilágított rózsza gyakorlatilag pirosnak tűnik. Ha viszont kék fénnel világítják meg a fehér havat, akkor az kéknek fog tűnni, mivel a fehér hó az összes színt visszaveri (a többi között a kéket is). A macska fekete bundája azonban minden színt elnyel, így bármilyen színnel világítják meg, egyformán feketének fog tűnni (13.6. ábra).

Figyeljétek meg! Mivel a test színe a ráeső fény jellemzőitől függ, sötétben a szín fogalma értelmét veszíti.



13.6. ábra. A test színe felületének optikai tulajdonságaitól és a ráeső fény jellegétől függ



Összegezés

A fehér fénynyaláb különböző színű fénysugarakból áll. Hét spektrális alapszínét különböztetünk meg: pirosat, narancssárgát, sárgát, zöldet, világoskék, kék, lilát. A fény törésmutatója, így a fény sebessége is a közegben annak színétől függ.

A törésmutató függését a fény színétől fénydiszperzióknak (színszóródásnak) nevezzük. A környezetünket azért látjuk sokszínűnek, mert a különböző testek különbözőképpen verik vissza, törik meg vagy nyelik el a fényt.



Ellenőrző kérdések

1. Jellemezzétek Newton fénydiszperziós kísérleteit!
2. Nevezzétek meg a hét spektrumszínét!
3. Milyen színű fény törik meg legerősebben az anyagban? Milyen leggyengébben?
- *4. Mit nevezünk fénydiszperzióknak? Melyik természeti jelenség kapcsolódik a fénydiszperzióhoz?
5. Milyen színeket nevezünk kiegészítő színeknek?
6. Soroljátok fel a spektrum három alapszínét! Miért nevezik őket alapszíneknek?
7. Miért látjuk színesnek a környezetünket?



13. gyakorlat

1. Milyennek tűnnek a fekete betűk fehér papírlapon, ha zöld üvegen keresztül nézzük őket? Milyennek tűnik eközben a papírlap színe?
2. Milyen színű fény megy át a kék üvegen? Elnyeli azokat?
3. Milyen színű üvegen át nézve nem látható a lila tintával fehér lapra írt szöveg?
4. A vízben a piros, narancssárga és világoskék színű fénynyalábok terjednek. Melyik nyalábnak legnagyobb a sebessége?
5. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával derítsétek ki, miért kék az ég; a lemenő Nap miért tűnik gyakran pirosnak!



Kísérleti feladat

Szívárványalkotók. Töltsetek meg kisebb edényt félig vízzel! Az edény aljára helyeztetek lapos tükört (lásd az ábrát)! Irányítsatok a tükörrre fénynyalábot – a falon megjelenik a visszavert fény. Vizsgáljátok meg, és magyarázzátok meg a tapasztalt jelenséget!



Fizika és technika Ukrajnában

A Tarasz Sevcsenko nevét viselő Kijevi Nemzeti Egyetemet (KNE) 1833. november 8-án alapították Szent Vlagyimir Cári Egyetem néven. Az egyetem első rektora Mihajlo Olekszandrovics Makszimovics neves enciklopédista tudós volt.

A KNE működéséhez sok híres tudós neve kapcsolódik – matematikusoké, fizikusoké, kibernetikusoké, csillagászoké: D. Grave, M. Kravcsuk, G. Pfeiffer, M. Bogoljubov, V. Gluskov, A. Szkorohoda, J. Gihman, B. Gnedenko, V. Mihalevics, M. Avenarius, M. Siller, J. Koszonogov, O. Szitenko, V. Laskarjov, R. Fogel, M. Handrikov, Sz. Vszehszvjatkovszkij.

Világhírűek az egyetem tudományos iskolái: az algebra, a valószínűségelméleti és matematikai statisztika, a mechanikai, a félvezetők fizikája, a fizikai elektronikai és felületfizikai, metallogenikai, új anyagok optikája stb. 2008-tól az egyetem rektora Leonyid Vasziljovics Guberszkij akadémikus, Ukrajna hőse.



14. §. LENCSEK. A LENCSE TÖRŐÉRTÉKE

Biológiaórákon már bizonyára használtak mikroszkópot. Természetesen ismeritek a távcsövet, messzelátót, teleszkópot, kezeltetek fényképezőgépet. Egyesek közületek szemüveget hordanak. Ezekben az eszközökben van valami közös – a legfontosabb alkatrészük a lencse. A felsorolt tárgyak jelentőségéről az ember életében ti is sokat tudnátok mesélni, de arról, hogy mi a lencse, milyen típusai léteznek és milyen tulajdonságokkal rendelkezik, ebből a paragrafusból tudhatjátok meg.

1

Megkülönböztetjük a lencsét

A **lencse** átlátszó anyagból készülő, két gömbfelület által határolt test*.

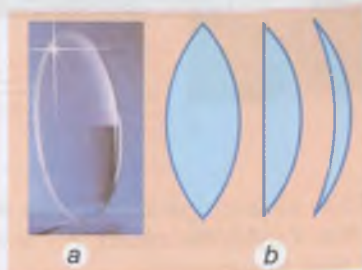
Alakjuk szerint megkülönböztetünk *domború* (14.1. ábra) és *homorú* (14.2. ábra) lencsét.

Ha a lencse d vastagsága többszörösen kisebb a lencsét határoló gömbfelületek sugarainál, akkor *vékony* lencséről beszélünk. A későbbiekben kizárólag vékony lencsét vizsgálunk.

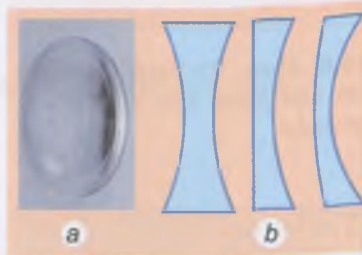
A lencsét határoló gömbfelületek középpontjain átmenő egyenest a **lencse fő optikai tengelyének** nevezzük (14.3. ábra).

Ha a lencsére fénynyalábot irányítunk, az megtörik a lencsében, vagyis megváltoztatja az irányát. Ezzel együtt a fő optikai tengelyen van egy pont, amelyen a fénynyaláb irányváltoztatás nélkül halad át. Ezt a pontot a **lencse optikai középpontjának** nevezzük (lásd a 14.3. ábrát)..

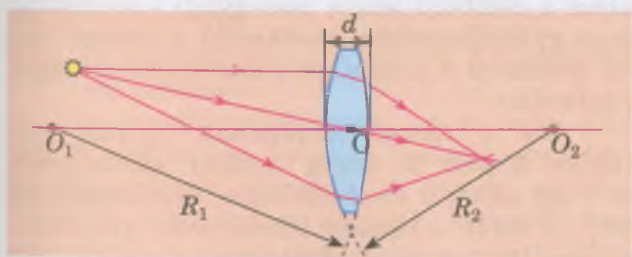
A lencsére a *fő optikai tengelyével párhuzamos* sugarakat bocsátunk. Ha ezek a sugarak a lencsén áthaladva összetartó nyalábként folytatják útjukat, akkor ez **gyűjtőlencse**. Az F pontot, amelyben a megtört sugarak metszik



14.1. ábra. Domború lencse – a közepén vastagabb, mint a széleinél; a – külső alak; b – különböző domború lencsék metszete

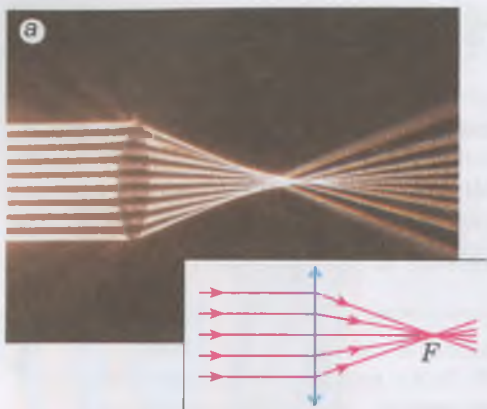


14.2. ábra. Homorú lencse – a közepén vékonyabb, mint a széleinél; a – külső alak; b – különböző homorú lencsék metszete

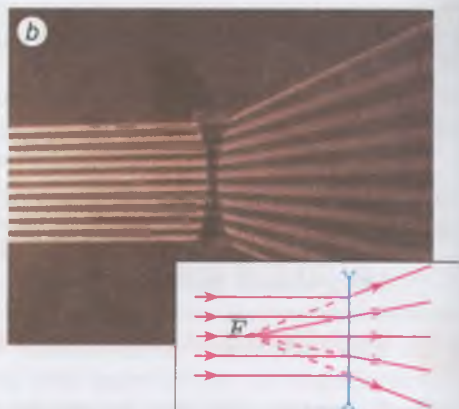


14.3. ábra. Vékony gömbfelületű lencse: O_1O_2 – fő optikai tengely; d – a lencse vastagsága; R_1 , R_2 – a lencsét határoló gömbfelületek sugara; O – a lencse optikai középpontja

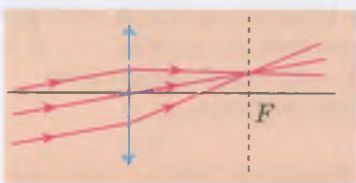
* A lencse egyik felülete lehet *lapos* (sík), mivel a síkot végtelen sugarú gömbnek tekinthetjük. A lencsék ezenkívül lehetnek *henger alakúak*, de ilyenekkel csak ritkán találkozhatunk.



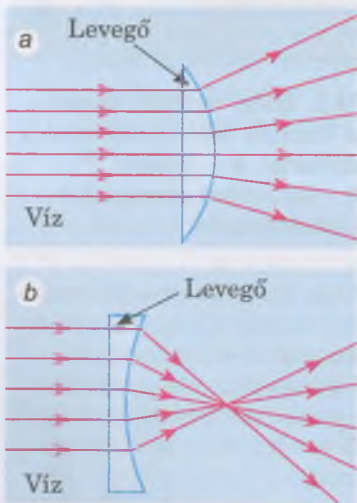
14.4. ábra. Sugarak haladása a törés után a gyűjtőlencsében. F – a lencse valódi fókuszpontja



14.5. ábra. Sugarak haladása a törés után a szórólencsében. F – a lencse látszólagos fókuszpontja



14.6. ábra. Párhuzamos sugarak útja törés után a gyűjtőlencsén



14.7. ábra. Domború (a) és homorú (b) levegőlencsék vízben

egymást, a lencse **valódi fő fókuszpontjának** nevezzük (14.4. ábra).

A lencsét **szórólencsének** nevezzük, ha a rajta áthaladó, a fő optikai tengelyével párhuzamos sugarak széttartó nyalábként haladnak tovább. Az F pontot, amelyben a szétszóró sugarak meghosszabbításai metszik egymást, a lencse **látszólagos fő fókuszpontjának** nevezzük (14.5. ábra).

Figyeljétek meg: a gyűjtőlencsén átmenő bármilyen **párhuzamos sugarak nyalábjá**, még ha a sugarak nem is párhuzamosak az optikai tengellyel, törés után mindig egy pontban metszik egymást (14.6. ábra) (szórólencse esetében a sugarak meghosszabbításai metszik egy pontban egymást).

Ha a lencse anyagának optikai sűrűsége nagyobb a közeg optikai sűrűségénél ($n_l > n_k$), akkor a domború lencse összegyűjti a sugarakat (azaz gyűjtőlencseként viselkedik), a homorú lencse szétszórja a sugarakat (tehát szórólencseként viselkedik).

Ha a lencse anyagának optikai sűrűsége kisebb a közeg optikai sűrűségénél ($n_l < n_k$), akkor a domború lencse szórólencseként (14.7. a ábra), a homorú lencse pedig gyűjtőlencseként (14.7. b ábra) viselkedik.



Szerintetek gyűjtő vagy szórólencse lesz levegőn a domború üveglencse? Domború levegőlencse üvegben?

2 Meghatározzuk a lencse törőértékét

Alakjától függetlenül minden lencse az optikai középpontjától egyenlő távolságra található két fő fókuszponttal rendelkezik* (lásd a 14. 8. ábrát).

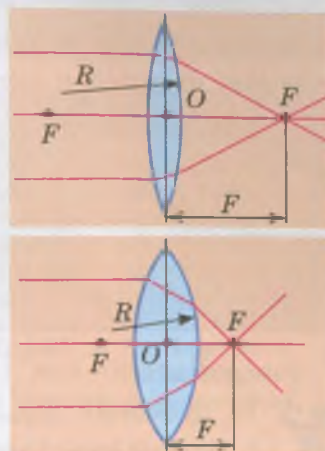
A lencse optikai középpontja és fő fókuszpontja közötti távolságot a **lencse fókusztávolságának** nevezzük.

A fókusztávolságot (amint a fókuszpontot is) F betűvel jelölik. A **fókusztávolság mértékegysége a SI rendszerben a méter:**

$$[F] = 1 \text{ m}$$

A gyűjtőlencse fókusztávolságát pozitívnak, a szórólencsét negatívnak nevezzük. Érthető, hogy minél nagyobb a lencse fénytörő képessége, annál kisebb fókusztávolságának az abszolút értéke (14.8. ábra).

A lencse fénytörő képességét jellemző fizikai mennyiséget, amely egyenlő fókusztávolságának reciprokéval, a **lencse törőértékének** nevezzük.



14.8. ábra. Minél kisebb a lencsét határoló gömbfelület R sugara, a lencse annál erősebben töri meg a fényt, vagyis annál kisebb az F fókusztávolsága

A törőértéket D betűvel jelölik, és a következő képlettel határozzák meg:

$$D = \frac{1}{F},$$

ahol F — a fókusztávolság.

A **törőérték mértékegysége a SI rendszerben a dioptria:**

$$[D] = 1 \text{ dpt} = \frac{1}{\text{m}} = 1 \text{ m}^{-1}.$$

1 dioptria – az 1 m fókusztávolságú lencse törőértéke. A gyűjtőlencse törőértéke pozitív, a szórólencsét negatív.



Összegezés

Az átlátszó anyagból készült, két gömbfelület által határolt testet lencsének nevezzük.

A lencse gyűjtőlencse, ha a rajta áthaladó párhuzamos sugarak a fénytörés után egy pontban metszik egymást. Ezt a pontot a lencse valódi fókuszpontjának nevezzük. A lencsét szórólencsének nevezzük, ha a rajta áthaladó párhuzamos sugarak széttartó nyalábként haladnak tovább, a szétszórt sugarak meghosszabbításai pedig a lencse látszólagos fókuszpontjában metszik egymást.

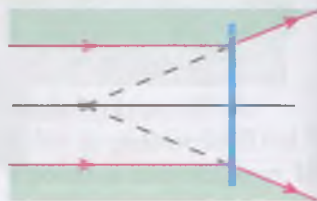
* A továbbiakban a lencse fő fókuszpontját egyszerűen a **lencse fókusznak** nevezzük.

A lencse fénytörő képességét jellemző mennyiséget, amely egyenlő a fókusz-távolság reciproka értékével, törőértéknek nevezzük: $D = \frac{1}{F}$. A lencse törőértékét dioptriában mérik: $1 \text{ dpt} = 1 \text{ m}^{-1}$.



Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk lencsének? 2. Milyen lencsetípusokat ismertek? 3. Miben különbözik a szórólencse a gyűjtőlencsétől? 4. Mit nevezünk a lencse valódi fókuszpontjának? 5. Miért nevezik a szórólencse fókuszpontját látszólagosnak? 6. Mit nevezünk a lencse fókusz-távolságának? Mi a mértékegysége? 7. Mit nevezünk a lencse törőértékének? Mi a mértékegysége? 8. Melyik lencse törőértékét veszik egységként?

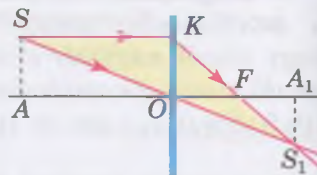


1. ábra



14. gyakorlat

- Az egyik lencse törőértéke -2 dpt , a másiké $+2 \text{ dpt}$. Miben különböznek egymástól ezek a lencsék?
- Az egyik lencse fókusz-távolsága $+0,5 \text{ m}$, a másiké $+1 \text{ m}$. Melyik lencsének nagyobb a törőértéke?
- A lencse törőértéke $-1,6 \text{ dpt}$. Mennyi a fókusz-távolsága ennek a lencsének? Milyen, szóró- vagy gyűjtőlencséről van szó?
- Két gyűjtőlencse azonos üvegtípusból készült. Hogyan határozható meg érintéssel, melyik lencsének van nagyobb törőértéke?
- A lencsére párhuzamos sugárnyalábot irányítottak (1. ábra). Határozzátok meg a lencse típusát! Rajzoljátok be az ábrát a füzetetekbe! Jelöljétek meg a lencse optikai középpontját és fókuszpontját! Mérjétek meg a fókusz-távolságot, és határozzátok meg a lencse törőértékét!
- A jégén egy domború lencse formájú bemélyedés van. Összegyűjti vagy szét-szórja-e a fényt ez a lencse? Válaszotokat magyarázzátok meg!
- A 2. ábrán látható háromszögek közül melyek hasonlóak? Határozzátok meg az S_1A_1 és OF szakaszok hosszát, ha $AO = 10 \text{ cm}$, $SA = 2 \text{ cm}$, $OA_1 = 6 \text{ cm}$!



2. ábra



Kísérleti feladat

Ajánljatok módszert, hogyan lehetne vonalzóval meghatározni a lencse fókusz-távolságát és törőértékét. Végezzétek el a méréseket!

Segítségül: a nagy távolságra lévő tárgytól jövő fénysugarak párhuzamosak.

Fizika és technika Ukrajnában

Az Ukrán Tudományos Akadémia Fizikai Intézete (Kijev) – a kísérleti és elméleti fizika alapproblémáinak megoldását kutató tudományos intézmény.

Széles körben elismertek az intézmény tudósainak a kemény testek és folyékony kristályok fizikájában, az optikában, a fizikai és kvantumelektronikában, atomenergetikában, nanofizikában elért eredményei. Az intézmény munkatársai hat bejegyzett tudományos felfedezés szerzői.

Az intézettel olyan neves tudósok álltak kapcsolatban, mint V. Linnik, G. Pfeiffer, V. Laskarjov, Sz. Pekar, M. Paszicsnik, O. Lejpunszkij, N. Morgulisz, G. Latisev, O. Davidov, A. Prihotyko, M. Spak.

A Fizikai Intézet bázisán, a Tudományos Akadémia égisze alatt, létrehozták a Fémfizikai Kutatóintézetet, a Félvezetők Kutatóintézetét, az Elméleti Fizikai Kutatóintézetet, Atomfizikai Kutatóintézetet, Alkalmazott Optikai Kutatóintézetet. Napjainkban a Fizikai Intézetben olyan neves tudósok, akademikusok dolgoznak, mint A. Naumovec (fizikai elektronika), az Ukrán Tudományos Akadémia alelnöke, M. Brogyin (nemlineáris optika), az intézet tiszteletbeli elnöke, L. Jacenko (koherens és kvantumoptika), 2008-tól az intézet elnöke.

15. §. A LENCSEK KÉPALKOTÁSA. EGYES OPTIKAI BERENDEZÉSEK. A VÉKONY LENCSE KÉPLETE

A lencsék fő tulajdonsága abban rejlik, hogy a pontok képeit adják vissza, tehát a tárgyét is (15.1. ábra). Azért történik így, mert a világító pontból kiinduló és a lencsére eső sugarak a fénytörés után egy pontban metszik egymást. A tárgy és a lencse közötti távolságtól függően a tárgy ábrázolása lehet kisebb vagy nagyobb az eredeténél, valamint valódi és látszólagos. Tisztázzuk, milyen feltételek mellett alkotja meg a lencse az egyes képeket, és vizsgáljuk meg a képalkotás módjait.

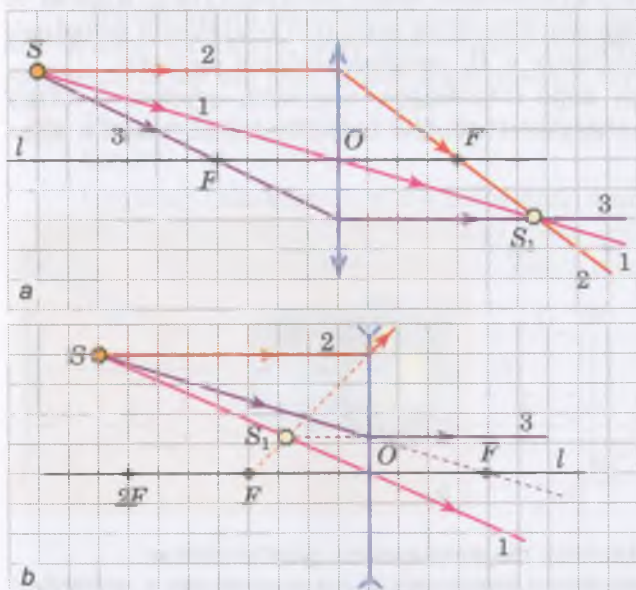


15.1. ábra. Gyertyafény képének alkotása gyűjtőlencsével

1 Keressük a „nevezetes sugarakat”

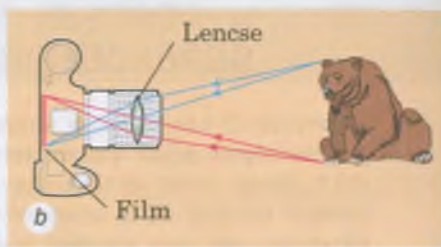
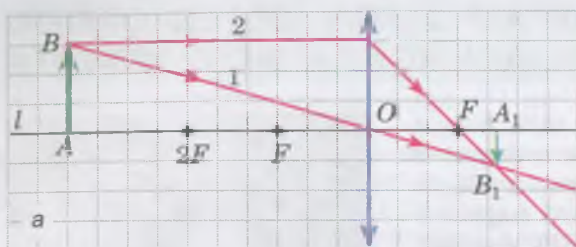
Bármilyen tárgy pontok halmazára bontható. A tárgy minden pontja minden irányba sugarakat bocsát ki (vagy ver vissza). A lencse képalkotásában nagyszámú sugár vesz részt, de valamely S pont képének a létrehozásához elegendő meghatározni az S pontból kiinduló és a lencsén áthaladó két sugár metszéspontját. E célból kiválasztanak kettőt a három „nevezetes sugárból” (15.2. ábra).

Az S_1 pont az S pont **valódi képe**, ha az S_1 pontban *maguk* a megtört sugarak metszik egymást (15.2. *a* ábra). Az S_1 az S pont **látszólagos képe**, ha az S_1 pontban a megtört sugarak *meghosszabbításai* metszik egymást (15.2. *b* ábra).



15.2. ábra. A képalkotásban a három legegyszerűbb sugár („nevezetes sugarak”):

1 – a lencse O optikai közép-pontján áthaladó sugár; nem törik meg, és nem változtatja meg irányát;
2 – az l optikai főtengellyel párhuzamos sugár; a törés után az F fókuszponton (a) halad át, vagy a meghosszabbítása halad át az F fókuszponton (b);
3 – az F fókuszponton áthaladó sugár; törés után az l optikai főtengellyel párhuzamosan folytatja útját (a, b)



15.3. ábra. a – az AB tárgy A_1B_1 képének megalkotása gyűjtőlencsében: az AB tárgy a lencse kétszeres fókuszán túl van; b – a sugarak útja a fényképezőgépben

2 Megszerkesztjük a tárgy lencse által alkotott képét

Megvizsgáljuk az AB tárgy gyűjtőlencse által alkotott képét a tárgy minden lehetséges helyzetében, és bebizonyítjuk, hogy a kép mérete és típusa függ a tárgy és a lencse közötti távolságtól.

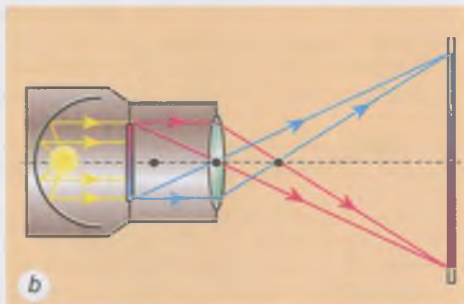
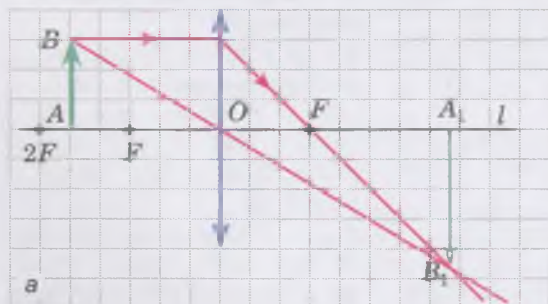
1. *A tárgy a gyűjtőlencse kétszeres fókusz távolságán túl helyezkedik el (15.3. a ábra).* Először megszerkesztjük a B pont képét. Ehhez az 1 és 2 sugarat használjuk fel. A lencsében történt törésük után a B_1 pontban metszik egymást. Tehát a B_1 pont a B pont valódi képe. Az A pont képének megszerkesztése érdekében a B_1 pontból merőlegest bocsátunk a lencse l optikai főtengelyére. A merőleges és az l tengely A_1 metszéspontja lesz az A pont képe.

Tehát az A_1B_1 – az AB tárgy képe. Láthatjuk, hogy ez a kép *valódi, kicsinyített és fordított*. Ilyen kép jön létre például a szem retináján vagy a fényképezőgép fényérzékeny filmjén (15.3. b ábra).

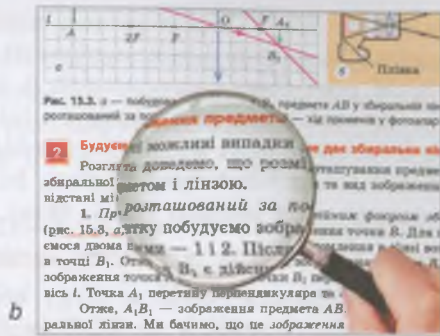
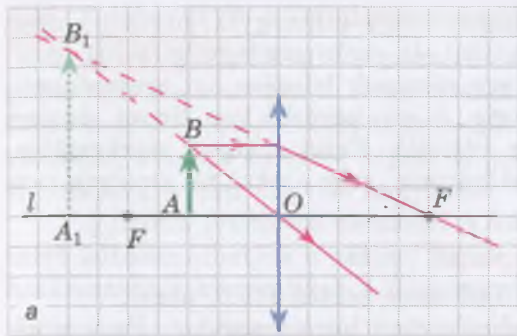
2. *A tárgy a gyűjtőlencse fókusza és kétszeres fókusza között helyezkedik el (15.4. a ábra).* A tárgy képe *valódi, nagyított, fordított*. Ilyen képet vetítő segítségével hozhatunk létre (15.4. b ábra).

3. *A tárgy a fókuszpont és a gyűjtőlencse között található (15.5. a ábra).* A B pontból kiinduló sugarak a lencsén áthaladva széttartó nyalábként haladnak tovább. Azonban a meghosszabbításuk a B_1 pontban metszik egymást.

Ebben az esetben a tárgy képe *látszólagos, nagyított, egyenes*. A tárgy képe és maga a tárgy a lencse egyazon oldalán helyezkedik el, ezért a képe



15.4. ábra. a – az AB tárgy A_1B_1 képének megszerkesztése gyűjtőlencsében: az AB tárgy a fókusz és a kétszeres fókusz között van; b – a sugarak útja a vetítőben



15.5. ábra. a – az AB tárgy A_1B_1 képének megszerkesztése gyűjtőlencsében: az AB tárgy a fókusz és a lencse között van; b – kézi nagyító segítségével megkapjuk a tárgy nagyított képét, és megvizsgálhatjuk azt részletesebben

nem látható az ernyőn, de megláthatjuk a lencsén keresztül. Ilyen képet hoz létre a rövidfókuszú gyűjtőlencse – kézi nagyító (15.5. b ábra).

4. A tárgy a gyűjtőlencse fókuszpontjában található. Fénytörés után a sugarak párhuzamosan haladnak tovább (15.6. ábra), tehát *se valós, se látszólagos képet nem kapunk*.



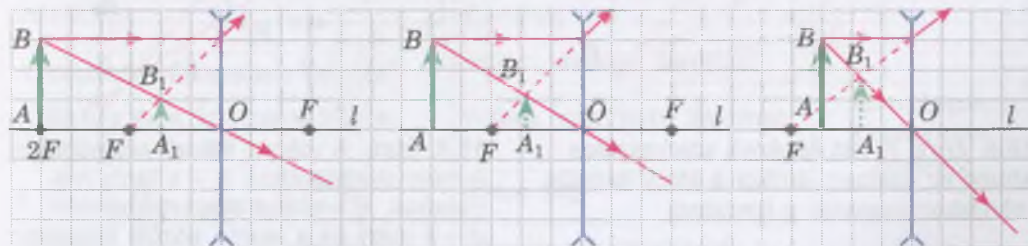
15.6. ábra. Ha a tárgy a gyűjtőlencse fókuszában helyezkedik el, nem kapjuk meg a képet

Milyen lesz a tárgy képe, ha azt a lencse kétszeres fókuszában helyezük el? Szerkesszék meg a képet, és támasszátok alá vagy cáfoljátok meg a feltevéseket!

Nézzétek meg figyelmesen a 15.7. ábrát, amelyen szórólencse által alkotott kép látható. Láthatjuk, hogy *a szórólencse minden esetben látszólagos, kicsinyített és egyenes képet hoz létre*, amely a lencsének a tárgy felőli oldalán helyezkedik el.

Tisztázzátok, megkapjuk-e a szórólencse fókuszában elhelyezett tárgy képét?

Gyakran találkozunk olyan helyzettel, amikor a tárgy jelentősen nagyobb a lencsénél, illetve amikor a lencse egy része nem átlátszó anyaggal van lefedve (például a fényképezőgép objektívje). Vajon megváltozik ebben az esetben az



15.7. ábra. A szórólencse mindig látszólagos, kicsinyített és egyenes képet hoz létre

alkotott kép? Természetesen nem, hiszen a tárgy mindegyik pontjából megszámlálhatatlanul sok sugár esik a lencsére, és ezek mindegyike a kép megfelelő pontjában összpontosul. A lencse egy részének lefedése azt eredményezi, hogy csökken a kép pontjaiba jutó energia. A kép kevésbé lesz fényes, de sem a külalakja, sem az elhelyezkedése nem változik. Ezért a képek szerkesztésekor minden lehetséges sugarat felhasználhatunk, még azokat is, amelyek nem mennek át a lencsén (15.8. ábra).

3 Levezetjük a vékony lencse képletét

Megszerkesztjük a tárgy képét gyűjtőlencse esetén (15.9. ábra).

Megvizsgáljuk az FOC és FA_1B_1 derékszögű háromszögeket. Ezek a há-

romszögek hasonlóak, ezért $\frac{OC}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}$ vagy $\frac{h}{H} = \frac{f}{f-F}$ (1).

A BAO és B_1A_1O háromszögek szintén hasonlóak, ezért $\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO}{A_1O}$ vagy $\frac{h}{H} = \frac{d}{f}$ (2).

Összehasonlítva az (1) és (2) képletek jobb oldalait, a következőt kapjuk:

$\frac{f}{f-F} = \frac{d}{f}$, azaz $Ff = df - dF$, vagy $df = Ff + dF$. Az utolsó kifejezés mindkét

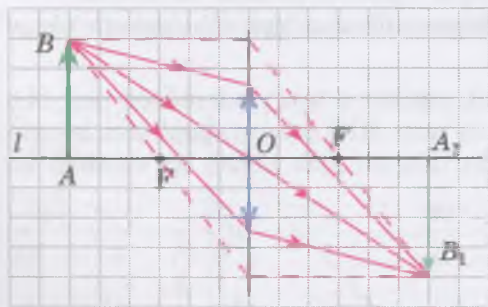
oldalát elosztva fdF -el, megkapjuk a **vékony lencse képletét**:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad \text{vagy} \quad D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

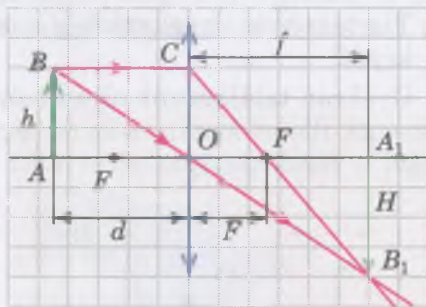
ahol $D = \frac{1}{F}$ – a lencse törőértéke.

Feladatok oldása közben figyelembe kell venni, hogy:

- az f távolságot (a kép és a lencse közötti távolság) „-” előjellel kell venni, ha a kép látszólagos és „+” előjellel, ha valódi;
- a gyűjtőlencse F fókusz távolsága pozitív, a szórólencsée pedig negatív;
- a lencse K nagyítását a következő képlettel határozzák meg: $K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$.



15.8. ábra. A test képezésének szerkesztése abban az esetben, amikor a tárgy jelentős mértékben nagyobb a lencsénél



15.9. ábra. A vékony lencse képletének a meghatározásához: h – a tárgy magassága; H – a kép magassága; d – a tárgy és a lencse közötti távolság; f – a lencse és a kép közötti távolság; F – fókusz távolság

4 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

1. feladat. A kisfiú a pénzérmét egy +10 dioptriás kézi nagyítóval vizsgálja, miközben az érmét 6 cm távolságban helyezte el a nagyítótól. Határozzátok meg: 1) a lencse fókusz-távolságát; 2) a kézi nagyítótól milyen távolságra szemlélte a kisfiú az érme képét; 3) milyen ez a kép – valódi vagy látszólagos; 4) mekkora a kézi nagyító nagyítása.

A *fizikai probléma elemzése*. A kézi nagyítót vékony lencsének tekintjük, ezért felhasználhatjuk a vékony lencse képletét. A lencse törőértékének a meghatározásából kiszámítjuk a fókusz-távolságot.

Adva van:

$$d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$D = +10 \text{ dpt}$$

Meghatározzuk:

$$F - ?$$

$$f - ?$$

$$K - ?$$

Matematikai modell felállítása, megoldás

$$\text{A meghatározás szerint } D = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{1}{D}.$$

$$\text{A vékony lencse képletéből: } \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$$

$$\text{vagy } \frac{1}{f} = \frac{d - F}{Fd}. \text{ Tehát, } f = \frac{Fd}{d - F}.$$

Ismerve az f távolságot, meghatározzuk a nagyítást:

$$K = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, és kiszámítjuk a keresett mennyiségeket:

$$[F] = \frac{1}{\text{dpt}} = \frac{1}{\text{m}^{-1}} = \text{m}, \quad F = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ (m)};$$

$$[f] = \frac{\text{m} \cdot \text{m}}{\text{m} - \text{m}} = \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = \text{m}, \quad f = \frac{0,1 \cdot 0,06}{0,06 - 0,1} = -0,15 \text{ (m)}; \quad K = \frac{0,15}{0,06} = \frac{15}{6} = \frac{5}{2} = 2,5.$$

Az f értéke előtt a „-” jel azt jelzi, hogy a kép látszólagos.

Felelet: $F = 10 \text{ cm}$; $f = -15 \text{ cm}$; a kép látszólagos; $K = 2,5$.



Összegezés

A lencse – gyűjtő vagy szóró – típusától és a tárgynak a lencséhez viszonyított elhelyezkedésétől függően a tárgyak különböző képeket kapják:

A tárgy helye	A kép jellemzése	
	gyűjtőlencse	szórólencse
A lencse kétszeres fókuszán túl ($d > 2F$)	valódi, kicsinyített, fordított	látszólagos, kicsinyített, egyenes
A kétszeres fókuszban ($d = 2F$)	valódi, azonos, fordított	
A fókusz és a kétszeres fókusz között ($F < d < 2F$)	valódi, nagyított, fordított	
A lencse fókuszában ($d = F$)	nincs kép	
A lencse és a fókusz között ($d < F$)	látszólagos, nagyított, egyenes	

A tárgy és a lencse közötti d távolság, a lencse és a kép közötti f távolság, valamint az F fókusz távolság közötti összefüggést a vékony lencse képlete

fejezi ki:
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Ellenőrző kérdések

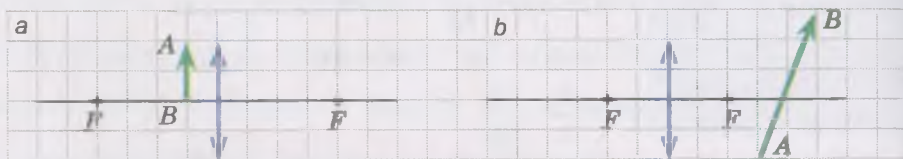


1. Milyen sugarakat célszerű felhasználni a lencse által alkotott kép megszerkesztéséhez?
2. Létrehozható-e valódi kép szórólencsével? Látszólagos kép gyűjtőlencsével?
3. Milyen esetben látható a tárgy képe az ernyőn – amikor az valódi vagy amikor látszólagos?
4. Hogyan állapítható meg a kép típusa alapján, hogy a lencse gyűjtő vagy szóró?
5. Nevezzetek meg olyan optikai berendezéseket, amelyekben lencsék találhatók!
6. Milyen fizikai mennyiségek közötti összefüggést határoz meg a vékony lencse képlete? Milyen szabályokat kell szem előtt tartani a képlet felhasználásakor?

15. gyakorlat

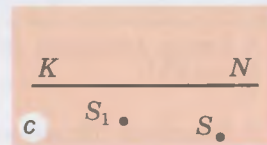
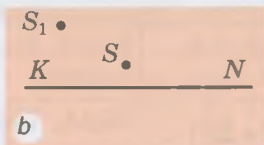
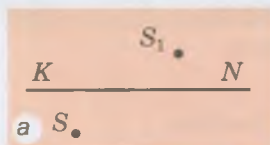


1. Rajzoljátok át az 1. a , b ábrát a füzetetekbe, és mindegyik esetre szerkesszék meg az AB tárgy képét gyűjtőlencsén át. Jellemezzétek a képeket!



1. ábra

2. A lencse törőértéke +5 dpt. Milyen távolságra kell elhelyezni a lencsétől az égő gyertyát, hogy a gyertyaláng azonos méretű képét kapjuk meg?
3. A tárgy a lencsétől 1 m távolságra van, a látszólagos képe pedig 25 cm-re. Határozzátok meg a lencse törőértékét! Törő- vagy gyűjtőlencséről van szó a feladatban?
4. A lapon lévő gépírással szövegre rákerült egy csepp átlátszó ragaszték. Miért tűnnek a csepp alatt lévő betűk nagyobbaknak, mint a szomszédosak?
5. Lencse segítségével az ernyőn megkapták a tárgy világos képét. Határozzátok meg: 1) a lencse törőértékét, ha a tárgy a lencsétől 60 cm-re van, a tárgy és az ernyő közötti távolság 90 cm; 2) a tárgy magasságát, ha a képének magassága 5 cm!
6. Rajzoljátok be a 2. a , b ábrát a füzetetekbe, és mindegyik esetre határozzátok meg a lencse optikai középpontját és fókuszpontját, a lencse típusát, a kép típusát. (KN – a lencse optikai tengelye; S – fényes pont; S_1 – az S pont képe).



2. ábra

7. Határozzátok meg a kézi nagyító törőértékét, ha a tőle 20 cm-re elhelyezett tárgy képét hatszorosára növeli meg!
8. Hogyan változik meg, és milyen irányba halad a tárgy képe, ha a tárgy a végtelentől a lencse felé tart?
9. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjétek meg a fényképezőgép történetével! Készítsetek számítógépes bemutatót!

5. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA



Téma. Vékony lencse fókusztávolságának és törőértékének meghatározása.

Cél: a vékony lencse fókusztávolságának és törőértékének meghatározása.

Eszközök: állványhoz rögzített gyűjtőlencse, ernyő, fényforrás (gyertya vagy lámpa), mérőszalag.

ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

II Előkészület a kísérlethez

1. A munka elvégzése előtt idézzétek fel: 1) az üveggel és gyúlékony tárgyakkal történő munka közbeni balesetvédelmi szabályokat; 2) a vékony lencse képletét; 3) a lencse törőértékének a meghatározását!
2. Elemeztétek a vékony lencse képletét, gondolkoztatok el, milyen méréseket kell elvégeznetek a lencse fókusztávolságának a meghatározásához!

► Kísérlet

Szigorúan tartsátok be a balesetvédelmi előírásokat (lásd a könyv belső borítóját)!

A mérési eredményeket azonnal íjátok be a táblázatba!

1. Helyeztétok a lencsét a fényforrás és az ernyő közé oly módon, hogy az ernyőn létrejöjjön a fényforrás tiszta kicsinyített képe!
2. Mérjétek meg a fényforrás és a lencse közötti d , valamint a lencse és az ernyő közötti f távolságokat!
3. Mozgassátok addig a lencsét, amíg nem kapjátok meg az ernyőn a fényforrás nagyított képét!
4. Újból mérjétek meg a fényforrás és a lencse közötti d , valamint a lencse és az ernyő közötti f távolságokat!

► A kísérlet eredményeinek feldolgozása

1. Mindegyik kísérlet esetében határozzátok meg:
 - 1) a lencse fókusztávolságát (a vékony lencse képletének segítségével);
 - 2) a lencse törőértékét (a törőérték meghatározásából kiindulva)!
2. Töltsétek ki teljesen a táblázatot!

A kísérlet sorszám	A tárgy és a lencse közötti távolság d , m	A lencse és az ernyő közötti távolság f , m	A lencse fókusztávolsága F , m	A lencse törőértéke D , dpt
1				
2				

□ A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemeztétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Fogalmazzátok meg következtetéseiteket, bennük: 1) hasonlítsátok össze a különféle kísérletek során általatok kapott fókusztávolságokat; 2) tudjátok meg a tanároktól a használt lencse valós törőértékét, és hasonlítsátok össze az általatok kapott adatokkal; 3) derítsétek ki az eredmények eltéréseinek lehetséges okait!



Alkotói feladat

Határozzátok meg a lencse fókusz távolságát kétféle módszerrel: 1) távoli tárgy – például az ablakból látható fa – képének létrehozásával az ernyőn; 2) fényforrás eredetivel azonos képének létrehozásával az ernyőn! Milyen méréseket és számításokat végeztetek mindegyik esetben?



Csillagos feladat

Az egyik kísérlettel határozzátok meg a viszonylagos hibát a következő képlet segítségével: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{D_{\text{mért}}}{D_{\text{adott}}} \right| \cdot 100\%$, ahol $D_{\text{mért}}$ – a lencsének a kísérlet során kapott törőértéke; D_{adott} – a lencse valós törőértéke.



16. §. A SZEM MINT OPTIKAI RENDSZER. LÁTÁS ÉS NÉZÉS. SZEMÜVEGEK. LÁTÁSHIBÁK ÉS JAVÍTÁSUK

Az ember látószerve, a szem – az egyik legtökéletesebb, mindazonáltal legegyszerűbb optikai rendszer. Milyen a szem felépítése? Miért látnak egyesek rosszul, és hogyan javítható a látásuk? Az emberi szem milyen jellegzetességeivel kapcsolatos az animációs filmgyártás? Erről fogtok tanulni a következő paragrafusban.

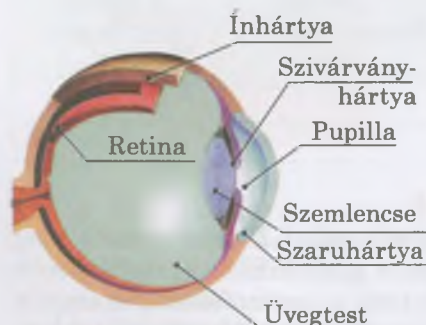


Fejdézzük a szem felépítését

Az ember szeme – *természetes optikai rendszer*. Néhány olyan optikai elemből áll, amelyek együttesen hozzák létre a képet.

Az emberi szem (lásd a 16.1. ábrát) gömb formájú, átmérője megközelítőleg 2,5 cm. Kívülről a szemgolyót a nem átlátszó **ínhártya** védi. Az inéhártya elülső része az átlátszó **szaruhártyába** megy át, amely gyűjtőlencseként működik, és a szem fénytörési képességének 75%-át adja.

Az inéhártya belső oldalát **érhártya** borítja, amely a szem elülső részén a **szivárványhártyába** megy át, amelyen kerek lyuk, a **pupilla** található. A pupilla erős fényben összehúzódik, gyenge fényben kitégül.



16.1. ábra. A szem felépítése

A szem alkalmazkodóképességét a különböző erősségű fényhez, **adaptációnak** (alkalmazkodásnak) nevezzük.

A pupilla mögött található a **szemlencse**, ami gyűjtőlencse. Ez a hozzá kapcsolódó izmoknak köszönhetően tudja változtatni a görbületét, tehát a törőértékét is.

A képalkotásban részt vesz az **üvegtest** – a szemlencse és a retina (recehártya, ideghártya) közti részt kitöltő kocsonyás anyag – is.

A szem felszínére kerülő fény megtörik a szaruhártyán, a pupillán és az üvegtesten. Ennek eredményeként a retinán – a szemfenék fényérzékeny felszínén – megjelenik a tárgy *valódi, kicsinyített és fordított* képe (16.2. ábra).

2 Tisztázzuk, miért látja az ember mind a távoli, mind a közeli tárgyakat

Ha az embernek jó a látása, akkor a távoli és közeli tárgyakat egyaránt tisztán látja. Ez annak köszönhető, hogy a tárgy távolságának a változásakor megváltozik a szemlencse görbülete, tehát megváltozik a törőértéke is.

A szemlencse azon tulajdonságát, amely szerint képes változtatni a görbületét a megfigyelt tárgy távolságának változásakor, **akkomodációnak** (a szem alkalmazkodása közel- és távollátáshoz) nevezzük.

Ha az ember távoli tárgyakat figyel meg, a szemébe párhuzamos sugarak jutnak. Ebben az esetben a szem ellazult állapotban van. (Idézzétek fel: elgondolkodva az ember mintha a végtelenbe nézne!) Minél közelebb van a tárgy, annál feszültebb a szem (a szemizmok növelik a szemlencse görbületét).

Azt a legkisebb távolságot, amelyen a szem megerősítés nélkül látja a tárgyat, a **tiszta látás távolságának** nevezzük.

A normális látású ember számára a tiszta látás távolsága nagyjából 25 cm. Ilyen távolságról olvassuk a könyvet.

3 Megismerkedünk a látás tehetetlenségi tulajdonságával

Ha sötétben gyorsan mozgatják a bengáli tüzet, a megfigyelő látja a tűz által létrehozott „tüzes körvonalat”. A körhinta gyors forgásával a színes lámpák összeolvadnak, és a megfigyelő csak egy gyűrűt lát belőlük. Az ember egész idő alatt pislog, közben nem veszi észre, hogy az általa megfigyelt tárgy bizonyos időintervallumban láthatatlan.

A felsorolt jelenségek a szem **tehetetlenségével** magyarázhatók. Arról van szó, hogy miután a tárgy képe eltűnik a retináról (elveszik, nem világítják meg, nem átlátszó ernyővel fedik le), a tárgy által létrehozott képet még 0,1 s-ig érzékeljük.

A látás tehetetlenségét használják ki az animációs filmgyártásban. A képernyőn a képek nagyon gyorsan váltakoznak (másodpercenként 24-szer);



16.2. ábra. A retinán létrejövő kép valódi, kicsinyített és fordított



16.3. ábra. Tornász stroboszkópos fényképe

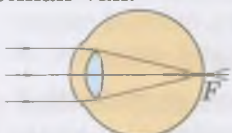
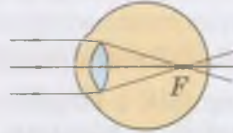
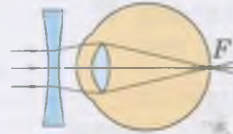
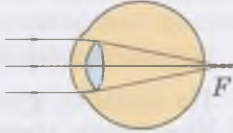
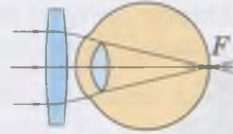
cseréjükkor a képernyőt nem világítják meg, amit a néző nem érzékel, kizárólag a váltakozó képeket látja. A képernyőn így jön létre a folyamatos mozgás illúziója.

 Hány képet kell rajzolnia egy művésznak egy 10 perces rajzfilm elkészítéséhez?

A szem tehetetlenségén alapul a stroboszkóp működése. (A stroboszkóp olyan fényforrás, amely azonos kis időintervallumokban sugározza a fényt.) A stroboszkóppal megvilágított tárgyak fényképezésekor stroboszkópos képeket kapnak (16.3. ábra).

4

Megismerkedünk a látás zavaraival és korrigálásuk módszereivel

Normális látás	Látási zavarok	
	rövidlátás	távollátás
A szem optikai rendszerének F fókusza nyugalmi állapotban a retinán van.  A retinán kialakul a távolabbi tárgyak éles képe. A tiszta látás távolsága 25 cm. A normális látású ember ilyen távolságon tartja szemétől a könyvet olvasás közben. A normális szem fókusz-távolsága nagyjából 1,71 cm.	A szem optikai rendszerének F fókusza nyugalmi állapotban a retina előtt van.  A retinán a távolabbi tárgyak elmosódott képe jelenik meg. A tiszta látás távolsága kisebb 25 cm-nél. A rövidlátó ember a könyvet olvasás közben a szeméhez közelíti. A rövidlátás szórólencsés szemüveggel korrigálható. 	A szem optikai rendszerének F fókusza nem feszült állapotban a retina mögött van.  A retinán a távolabbi tárgyak elmosódott képe jelenik meg. A tiszta látás távolsága nagyobb 25 cm-nél. A távollátó ember olvasás közben távolabb helyezi magától a könyvet. A távollátás gyűjtőlencsés szemüveggel korrigálható. 
 Határozzátok meg az egészséges szem törőértékét!		



Összegezés

A fizika szemszögéből a szem szaruhártyából, szemlencséből és üvegtestből álló optikai rendszer. Ebben az optikai rendszerben a fény megtörik, és ennek eredményeként a retinán – a szemfenék fényérzékeny felszínén – megjelenik a tárgy kicsinyített, valódi, fordított képe.

Miután a tárgy képe eltűnik a retináról, azt még 0,1 s-ig érzékeljük. Ezt a tulajdonságot a szem tehetetlenségének nevezzük.

Ellenőrző kérdések



1. Írjátok le az emberi szem felépítését, és egyes optikai elemeinek a rendeltetését! 2. Hogyan változik a pupilla átmérője gyenge fényben? 3. Az ép látású ember miért látja egyformán jól a távoli és közeli tárgyakat is? 4. Milyen látászavart nevezünk rövidlátásnak? Hogyan lehet kikorrigálni? 5. Milyen látászavart nevezünk távollátásnak? Hogyan korrigálható? 6. A szem milyen tulajdonságát nevezik tehetetlenségnek? Mondjatok példákat erre a tulajdonságra!

16. gyakorlat



1. A nagymama szemüvegének törőértéke $-2,5$ dpt. Milyen ezeknek a lencséknek a fókusz távolsága? Milyen látászavarban szenved a nagymama?
2. Milyen távolságra kell tartania magát az ép látású embernek a tükröt, hogy megerősítés nélkül lássa a szeme éles tükörképét?
3. A rövidlátó ember miért húzza össze a szemét, hogy jobban lásson?
4. Miért lát rosszul az ember bűvárszemüveg nélkül még tiszta vízben is?
5. A kisfiú olvasás közben a könyvet 20 cm-re tartja a szemétől. Határozzátok meg azoknak a lencséknek a törőértékét, amelyek segítségével a kisfiú a normális látású emberekhez hasonlóan fogja tartani a könyvet!
6. Soroljátok fel az emberi szem és a fényképezőgép közötti hasonlóságokat! A szem mely funkcióit töltik be a fényképezőgép egyes elemei? Ha szükséges, keressetek kiegészítő forrásanyagot!
7. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjete meg a szem betegségeinek megelőzésével! Hogyan javítható a látás?

Kísérleti feladat



Javasoljatok módszereket annak kiderítésére, hogy milyen látászavart (rövidlátást vagy távollátást) korrigálnak egyes szemüvegek! Keressetek különböző szemüvegeket (kérjete kölcsön a rokonaitoktól, szomszédoktól, barátoktól), és ellenőrizétek, működnek-e az általatok javasolt módszerek!

Fizikai és technika Ukrajnában



Olekszander Teodorovics Szmakula (1900–1983) – neves ukrán fizikus és feltaláló. A kvantumoszillátor fogalmának felhasználásával Szmakula megmagyarázta a kristályok radioaktív megfestődésének okát, és levezette azt a matematikai mennyiségi összefüggést, amelyet a tudományban *Szmakula-képletnek* neveznek. A tudós munkái megalapozták az A, B2 és egyéb vitaminok szintézisét, a szénkristály transzformálásának folyamatát pedig jelenleg *Szmakula-inverzió*nak hívják.

1935-ben Szmakula feltalálta és szabadalmaztatta az optikai berendezés javítására szolgáló találmányát (az optika átvilágítása). A felfedezés lényege az, hogy az üveglencse felszínét speciális, különleges anyagból készített, a beeső sugár hullámhossza $\frac{1}{4}$ -ével egyenlő vastagságú fóliával vonják be, ami nagymértékben csökkenti a fény visszaverődését a lencse felszínéről, és növeli a kép élességét. Ez nagyon fontos felfedezés volt, mivel az optikai lencsék a különféle optikai eszközök – fényképezőgépek, távcsövek, fegyverek – alapelemei.

A 2000-es évet az UNESCO Olekszandr Szmakula évének nyilvánította.

A Fényjelenségek CÍMŰ II. RÉSZ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. A második részt tanulmányozva megtudhattátok, hogy a környező világot azért látjuk, mert a körülöttünk lévő testek visszaverik a fényt vagy maguk is fényforrások.

FÉNYFORRÁSOK

fizikai testek, részecskék (atomok, molekulák, ionok), amelyek fényt sugároznak

Természetes

Mesterséges

Hőmérsékleti

Lumineszcens

Pontszerű

Kiterjedt

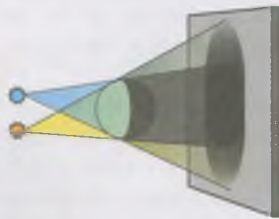
2. Megismerhettétek a fényterjedés törvényeit – a geometriai optika törvényeit.

A GEOMETRIAI OPTIKA TÖRVÉNYEI

A fény egyenes vonalú terjedésének törvénye

Az átlátszó homogén közegben a fény egyenes vonalúan terjed.

A fény egyenes vonalú terjedésének a következménye – árnyék keletkezése.



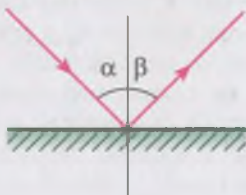
Minél kisebb a fény sebessége a közegben, annál nagyobb a közeg optikai sűrűsége.

A fényvisszaverődés törvényei

1. A beeső, a visszavert, a megtört sugár és a beesési pontba állított merőleges ugyanabban a síkban fekszenek.

2. A visszaverődési szög egyenlő a beesési szöggel:

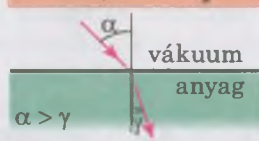
$$\beta = \alpha$$



A fénytörés törvényei

3. A beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának hányadosa ugyanarra a két közegre vonatkoztatva állandó:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n = \frac{v_1}{v_2}$$



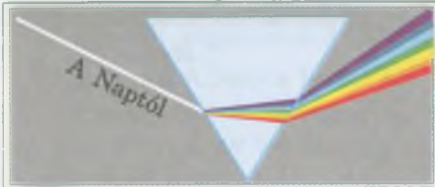
A fénytörés oka: a fény sebességének változása a különböző közegekbe történő átmenete során.

3. Megismerkedtek Newton kísérleteivel, és kiderítették, hogy a fehér fény különböző színű fénysugarakból áll. A különböző színű fénysugarak sebessége a vákuumban azonos ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), közegben azonban eltérő.

A FÉNY DISZPERZIÓJA

a közeg törésmutatójának függése a fény színétől

Newton kísérletei



Spektrumszínek

Piros Narancssárga Sárga
Zöld Világoskék Kék Lila

Legnagyobb törésmutatója a lila, legkisebb a piros fénynek van

4. Megtanultátok a képek szerkesztését a síktükörben és a lencsében.

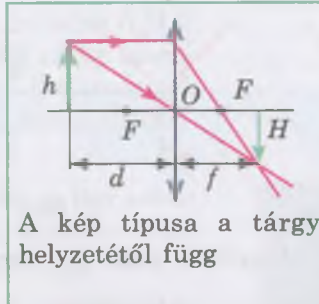
KÉPEK SZERKESZTÉSE

Síktükör

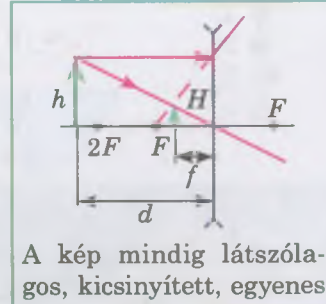


Lencse

Gyűjtő



Szóró



A lencse törőértéke: $D = \frac{1}{F}$. A vékony lencse képlete: $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.

Tárgy nagyítása a lencsében: $K = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$.

5. Megismerkedtek azokkal az optikai eszközökkel, amelyekben lencsét használnak.

OPTIKAI ESZKÖZÖK

Szemet segítő eszközök

Kézi nagyító

Szemüveg

Ernyőn képet megjelenítő eszközök

Fényképezőgép

Vetítő

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK A Fényjelenségek CÍMŰ II. RÉSZHEZ

Az 1–8. feladatok csak egy helyes választ tartalmaznak.

1. (1 pont) Milyen optikai jelenség látható a fényképen (1. ábra)?

a) fényvisszaverődés;
b) fényelnyelés;
c) fénydiszperzió;
d) fénytörés.



1. ábra

2. (1 pont) Milyen törvény valós voltát bizonyítja a nap- és holdfogyatkozás?

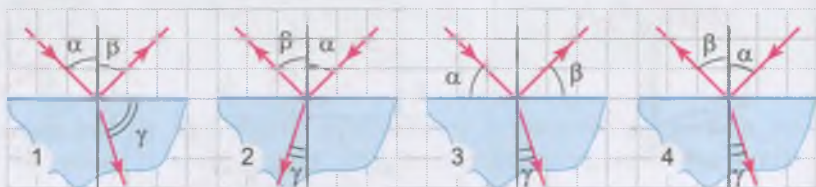
a) fényvisszaverődés törvénye;
b) fény egyenes vonalú terjedésének törvénye;
c) energiamegmaradás törvénye;
d) fénytörés törvénye.

3. (1 pont) Milyen a tárgy képe síktükörben?

a) nagyított valódi; c) kicsinyített látszólagos;
b) egyenlő valódi; d) egyenlő látszólagos.

4. (1 pont) A fénysugár a levegőből az üveglapra esik (2. ábra). A rajzok közül melyiken van helyesen ábrázolva mind a három szög: beeső α , visszaverődő β , törési γ ?

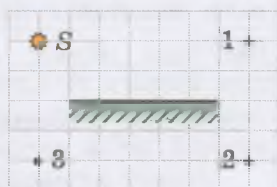
a) 1;
b) 2;
c) 3;
d) 4.



2. ábra

5. (2 pont) Melyik pont a fénylő S pont (3. ábra) tükörképe síktükörben?

a) 1; b) 2; c) 3;
d) nincs tükörképe.



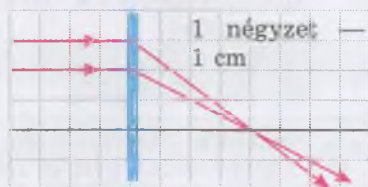
3. ábra

6. (2 pont) Mennyivel egyenlő annak a lencsének a törőértéke, amelyen a sugarak áthaladását a 4. ábra mutatja?

a) $-0,04$ dpt c) $+25$ dpt
b) $+4$ dpt d) $+50$ dpt.

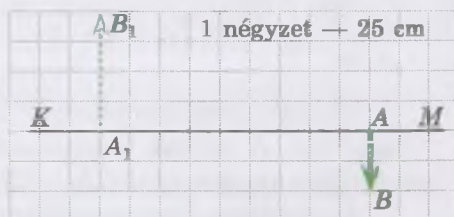
7. (2 pont) Milyen látáshibája van annak az embernek, ha az általa hordott szemüveg alsó része domború, a felső része lapos?

a) távollátás;
b) rövidlátás;
c) nincs baja a látásának;
d) lehetetlen megállapítani.



4. ábra

8. (2 pont) Fényképezés közben a fényképezőgép objektívjére légy szállt. Hatással van-e ez a felvételre, és ha igen, hogyan?
- semmiképpen nincs hatással;
 - a felvételen megjelenik a légy képe;
 - a felvétel kevésbé világos lesz;
 - a felvétel jóval világosabb lesz.
9. (3 pont) Az ember 2 m/s sebességgel közelít a tükörhöz. Mekkora sebességgel közelít az emberhez saját tükörképe?
10. (3 pont) A sugár beesési szöge a tükrös felületre 70° . Mivel egyenlő a visszavert sugár és a tükröfelület közötti szög?
11. (3 pont) A fény a levegőből 45° -os szögben esik az átlátszó anyag felületére. Határozzátok meg ennek az anyagnak az abszolút törésmutatóját, ha a megtört fény a közegek határvonalához viszonyítva 60° -os szögben terjed tovább!
12. (3 pont) A tárgy a 0,5 m fókusz távolságú gyűjtőlencsétől 1 m-re található. Milyen távolságra lesz a lencsétől a tárgy képe?
13. (3 pont) Feleltessétek meg a közegek és a bennük terjedő fény sebességét!
- | | |
|-----------|-------------------------|
| 1 Gyémánt | A $1,24 \cdot 10^8$ m/s |
| 2 Benzin | B $1,76 \cdot 10^8$ m/s |
| 3 Jég | C $2,00 \cdot 10^8$ m/s |
| | D $2,29 \cdot 10^8$ m/s |
14. (4 pont) Az 5. ábrán a lencse KM fő optikai tengelye, az AB tárgy és annak A_1B_1 képe látható. Határozzátok meg a lencse típusát, fókusz távolságát és törőértékét!
15. (4 pont) Miért nagyobb a hal szemlencséjének görbülete, mint az emberé (6. ábra)?
16. (4 pont) Egy bélyeget vizsgálva kézi nagyítóval a kisfiú a normális látástávolság 4-szeresének megfelelő távolságról látja azt. A szemétől mekkora távolságra tarja a nagyítót, ha a látása normális, a nagyító lencse törőértéke pedig +15 dpt?



5. ábra



6. ábra

A feleleteket a könyv végén találjátok. Jelöljétek meg a helyes válaszokat, és számoljátok össze az elért pontszámot, majd az összeget osszátok el hárommal! A kapott szám jelenti a tudásszinteteket.



A gyakorló teszt feladatokat megtalálhatjátok az *Interaktív tanulás* című honlapon.

Új típusú fényérzékelők és fényforrások

Az utóbbi években az elektronika fejlődésének köszönhetően a találmányok mindenki számára elérhetőek lettek. A fejlődés gyökeresen megváltoztatta a fényforrásokat és fényérzékelőket.

Kérdezzétek meg nagyszületektől, hogyan készítették húsz évvel ezelőtt vagy régebben a fényképeket. Kiderül, hogy ez nagyon összetett folyamat volt. Számotokra mindennapi dolog, hogy amint érdekes helyzetet észlelték, lefotózzátok mobiltelefonotok kamerájával, megnyomva a megfelelő gombot, és már külditek is a képet barátaitoknak.

Felhozunk még egy példát. A különleges tulajdonságokkal rendelkező keskeny fénynyalábról régebben csak a fantasztikus regényekben olvashattatok. Napjainkban a lézersugár annyira elterjedt, ahogyan azt a múlt században a fantasztikus könyvek írói el sem tudták volna képzelni. Az következik-e ebből, hogy tankönyvünk optikának nevezett része reménytelenül elavult, és mi feleslegesen tanultuk a II. részt?

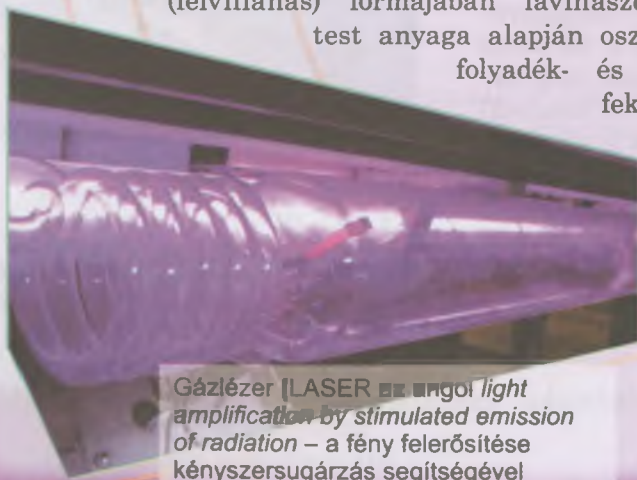
Mielőtt még elhamarkodott következtetést vonnátok le, részletesen megvizsgálunk néhány modern berendezést.

Lézer

Mindannyian láthattatok lézerbemutatót cirkuszban vagy könnyűzenei koncerten. A vékony fénynyalábok áthaladnak a termen, nagy sebességgel száguldanak el a nézők feje fölött. Izgalmas látvány.

Az ábrán a lézer egyik típusát, a gázlézert láthatjátok. Fényes fénycérnaszál az üvegcső belsejében – ez nem lézersugár, hanem a nappali fényt sugárzó lámpákban alkalmazotthoz hasonló elektromos kisülés. A kisülés a munkatest – az üvegcső belsejében lévő gáz – feltöltésére szolgál. A feltöltés folyamata abból áll, hogy a gázatomok az elektromos töltésektől fokozatosan fölös energiára tesznek szert, majd azt fényimpulzus (felvillanás) formájában lavinaszerűen leadják. A munkatest anyaga alapján osztályozzák a lézereket: gáz-, folyadék- és a háztartásban legkézenfekvőbb szilárdtestlézer.

A könnyűzenei koncertek nem az egyetlen felhasználási területe a lézereknek. A lézerberendezéseket széles körben használják a gyógyászatban, hadiiparban.



Gázlézer [LASER **by** **l**ight **a**mplification **b**y **s**timulated **e**mission of radiation] – a fény felerősítése kényszersugárzás segítségével kifejezés kezdőbetűi)

Digitális fényképezőgép

A régi fényképezőgépekben a képet fényérzékeny filmre rögzítették. A digitális fényképezőgépekben a film szerepét nagyon apró fényérzékelőkkel (pixelekkel) borított lapocska látja el. Az apró érzékelők mindegyike a fénynyaláb ráeső részét rögzíti. Minél kisebb a pixel mérete, annál jobb minőségű képet kapunk. A jobb fényképezőgépek lemeze 18–20 millió pixelt tartalmaz. A mobiltelefonban kevesebb a pixelek száma, mivel a telefonnak nem a fényképezés a fő funkciója. Ennek megfelelően a készített képek minősége is gyengébb.



A fényképezőgép mikroprocesszora feldolgozza a szenzoroktól kapott információt, és külön fájlként tárolja azt.

A fényképezés története több mint 150 évre nyúlik vissza. De mint a régi fényképezőgépekben, úgy az újakban is a legfontosabb elem a tárgyak – a melletted álló barátod, a távoli hegyek – éles képét rögzítő optikai rendszer. Tehát korai még múzeumba küldeni az optikát, hiszen a modern fényképezőgépek és videokamerák még sokáig a hasznukra lesznek.

Érdekességek

A modern filmek alkotói nagyon gyakran szándékosan (vagy megfelelő tudás híján) eltúlozzák a lézer lehetőségeit. Megvizsgálunk néhány példát.

Akármennyit füstölhetsz, semmit nem látsz meg. Sok filmben a riasztórendszerek felderítésére a főhős füstöt fuvat a lézersugarakra, amiktől azok láthatóvá válnak. A valóságban az infravörös (szemmel nem érzékelhető) tartományban sugárzó lézerek előállításával jóval egyszerűbb, mint a látható tartományban sugárzóké. Ezért használják az infravörös lézereket riasztóberendezésekben. Bármennyi füstöt engednek ki, az infravörös sugarak a szem számára láthatatlanok maradnak.

Óvjátok a szemeteket! A filmekben lézer segítségével gyakran fémszerkezeteket (rácsot, ajtót) vágnak szét, ami megfelel a valóságnak. De a film rendezői ilyenkor megfélemeznek a szereplőknek a visszaverődő lézersugarak elleni védelméről. A fémről visszaverődő lézersugár is jelentős energiával rendelkezik.

Érj utol! Az alkotók néha azt demonstrálják, hogy a lézersugár terjedése a puszkagolyó repülésére hasonlít. Ez természetesen nincs így. A repülő golyó sebessége néhány száz méter másodpercenként. Ezt a kamera is képes felvenni. De a fénysugár terjedését (a sebessége 300 000 km/s) lehetetlen hasonlóképpen rögzíteni.



Projektek ajánlott témái

1. Egyszerű optikai berendezés összeállítása.
2. Optikai illúziók.
3. Mesterséges fényforrások teljesítményének és hatásfokának vizsgálata.
4. Homorú tükör tulajdonságai és felhasználása.
5. Optikai jelenségek a természetben.
6. A szem és a látás.

Referátumok és beszámolók témái

1. A jövő a fénydiódáké (LED).
2. A fotoszintézis csodája.
3. Délibáb: hogyan keletkezik, és hol figyelhető meg?
4. Miért van szükség a gyalogosok öltözékén fényvisszaverő felületekre? Hogyan használják ezeket a felületeket a gépkocsivezetők?
5. Szín és fény.
6. Miért nem tudjuk éjszaka megkülönböztetni a színeket?
7. Az op-art optikai művészet mint a tudomány és a művészet szintézise.
8. Látáshibák és korrigálásuk optikai eszközök segítségével.
9. Vizuális szimulátor. Miért, és hogyan javítható a látás?
10. Optikai berendezések a gyógyászatban.
11. A fényképezés története.
12. A víz tisztítása ultraibolya sugarakkal.
13. Miért színesek a szappanbuborékok?
14. Éjjellátó készülékek.
15. Távcső: létrehozásának története, felépítése, működési elve.

Kísérleti feladatok témái

1. A fényterjedés törvényeinek vizsgálata lézeres mutatópálca segítségével.
2. A fénytörés és a vele kapcsolatos optikai effektusok vizsgálata. Optikai trükkök.
3. A fényspektrum tanulmányozása hasáb segítségével (Newton kísérleteinek felidézése).
4. A gyűjtő- és szórólencse fénytörési tulajdonságainak vizsgálata.
5. Optikai eszközök készítése (camera obscura, kaleidoszkóp).

III. RÉSZ

MECHANIKAI ÉS ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK

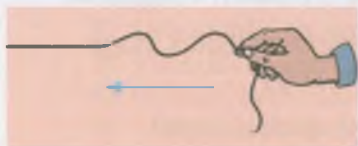
- Tudjátok, hogy a környezetből jövő információ nagy részét az ember látás és hallás útján kapja, most pedig megtudjátok, mi a közös a fény és hang általi információközvetítésben
- Mindnyájan tudjátok kezelni a mobiltelefont, most megtudhatjátok, hogyan működik a mobilhálózat
- Hallottatok a Titanic óceánjáró katasztrófájáról, most pedig tisztázhatjátok, hogy annak a sorsára juthatnak-e a modern óceánjárók
- Sokszor hallottatok a visszhangról, most megtudhatjátok, hogy miként határozható meg vele az óceán mélysége
- Tisztában vagytok vele, hogy mi a röntgensugárzás, most megtudhatjátok, mi a közös a röntgen- és fénysugarakban



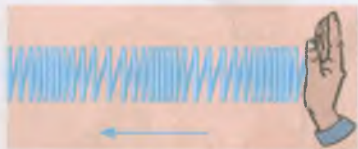
17. §. A MECHANIKAI HULLÁMOK KIALAKULÁSA ÉS TERJEDÉSE. A HULLÁMOT JELLEMZŐ FIZIKAI MENNYISÉGEK



17.1. ábra. A vízbe dobott kőtől a vízfelszínen hullámok terjednek



17.2. ábra. Hullám terjedése zsinóron. A nyíl a hullám irányát mutatja



17.3. ábra. Hullám terjedése hengeres csavarrugón. A nyíl a hullám irányát mutatja

A 7. osztályos fizika tananyagából már megismerkedhettek a mechanikai hullámokkal. Gyakran előfordul, hogy a rezgések a tér egyik helyén kialakulva más helyen folytatódnak. Idézzétek fel például a vízbe dobott kő által okozott hullámzást vagy a földrengés mozgását, amely a földrengés epicentrumából kiindulva minden irányban terjed. Ezekben az esetekben hullámmozgásról – hullámokról – beszélünk (17.1. ábra). Ebből a paragrafusból megismerhetitek a hullámmozgás sajátosságait.

1 Mechanikai hullámokat hozunk létre

Vesszünk egy viszonylag hosszú zsinórt, amelynek egyik végét függőleges felülethez rögzítjük, a másik végét pedig kezünkkel fel-alá mozgatjuk (rezgésbe hozzuk). A hullámzás a kezunktől a kötélt mentén terjed tovább, fokozatosan rezegtetve a kötélt távolabbi pontjait is – a zsinóron *mechanikai hullám* fut végig (17.2. ábra).

A rezgés terjedését rugalmas közegben **mechanikai hullámnak** nevezzük*.

Megvizsgálunk még egy példát. Hosszú puha rugót vízszintesen rögzítünk, és a szabad végére sorozatos ütésekkel mérünk – a rugón összenyomott és széthúzott spirálokból álló hullám szalad végig (17.3. ábra).

A fent említett hullámok láthatók, de a mechanikai hullámok többsége láthatatlan, mint például a hanghullámok (17.4. ábra).

Első pillantásra a mechanikai hullámok mind eltérőek egymástól, ám létrejöttük és terjedésük okai azonosak. A következőkben ezt vizsgáljuk meg.

2 Tisztázzuk, hogyan és miért terjed a közegben a mechanikai hullám

Bármely mechanikai hullámot rezgő test – *hullámforrás* – hoz létre. Rezgőmozgást végezve a

* A közeget *rugalmasnak* nevezzük, ha deformálódása közben a deformációnak ellenálló erők – *rugalmassági erők* – jönnek létre.

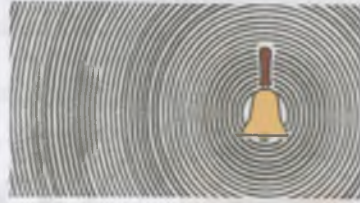
hullámforrás a hozzá közel eső részecskékre hat, *deformálja* azokat (összenyomja, széthúzza, vagy eltolja). Ennek eredményeként *rugalmassági erők* jönnek létre, amelyek a közeg szomszédos rétegeire hatva *kényszerrezgésbe* hozzák azokat. Ezek a rétegek deformálják, és rezgésre kényszerítik a következő rétegeket. A közeg rétegei fokozatosan, egyik a másik után, rezgőmozgásba lendülnek – a közegben mechanikai hullám terjed.

3 Megkülönböztetünk keresztirányú és hosszanti hullámokat

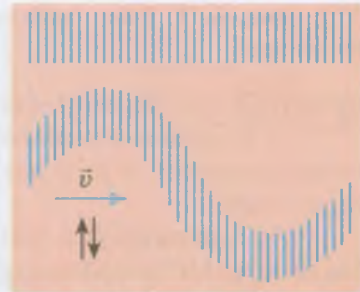
Ha megfigyeljük a zsinór (lásd a 17.2. ábrát) és a rugó (lásd a 17.3. ábrát) által létrehozott hullámokat, bizonyos különbségeket vehetünk észre.

A zsinór egyes szakaszai a *hullám terjedésének irányára merőlegesen mozognak* (rezegnek) (a 17.2. ábrán a hullám jobbról balra terjed, a zsinór részei pedig le-fel mozognak). Az ilyen hullámokat **keresztirányú hullámoknak** nevezzük (17.5. ábra). Keresztirányú hullámzaskor a közeg egyes rétegei *elcsúsznak* a többi réteghez viszonyítva. A folyadékok és gázok rétegeinek elcsúszása következtében nem keletkezik rugalmassági erő, ezért a *keresztirányú hullámok csak szilárd testekben képesek terjedni*, míg a folyadékokban és gázokban nem.

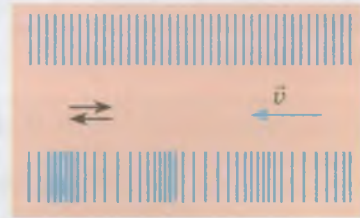
A rugó által létrehozott hullám esetén a rugó *menetei a hullám terjedésének irányában mozognak* (rezegnek). Az ilyen hullámot **hosszanti hullámnak** nevezzük (17.6. ábra). A hosszanti hullámok terjedésekor a közegben összenyomódási és széthúzási deformáció keletkezik (a hullám terjedésének irányában a közeg sűrűsége váltakozva hol növekszik, hol csökken). Az ilyen deformációt bármely közegben rugalmassági erő létrejötte kíséri. Ezért a *hosszanti hullámok a szilárd testekben, a folyadékokban és a gázokban is létrejöhetnek*.



17.4. ábra. A hangot kibocsátó test rezgése az oka a közeg sűrűsödésének és ritkulásának – a közegben hanghullám terjed



17.5. ábra. Keresztirányú hullámzaskor a közeg rétegeinek rezgése merőleges a hullámterjedés irányára



17.6. ábra. Hosszanti hullám esetében a közeg rétegeinek rezgése egybeesik a hullámterjedés irányával

A folyadék felszínén keletkezett hullámok se nem hosszantiak, se nem keresztirányúak. Összetett *hosszanti-keresztirányú jellegűek*, miközben a folyadék részecskéi ellipszis alakban mozognak. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha a tengerbe könnyű forgácsot dobunk, és megfigyeljük a mozgását a víz felszínén.





17.7. ábra. A 17. §-ban található kérdéshez

az egyensúlyi helyzetük körül.

5. A hullám érkezésével a közeg részecskéi mozgásba lendülnek (kinetikus energiát vesznek fel). Ez azt jelenti, hogy a *hullám terjedése során energiaátvitel megy végbe*.

Az anyagátvitel nélkül történő energiaátvitel bármelyik hullám legfontosabb tulajdonsága.

Idézzétek fel a hullám terjedését a víz felszínén (17.7. ábra)! Milyen megfigyelések támasztják alá a hullámmozgás alaptulajdonságait?

4

Kiderítjük a hullámok alaptulajdonságait

1. A közeg egyik pontjáról a másikra a rezgőmozgás nem hirtelen, hanem bizonyos késéssel adódik át, ezért a *közegben a hullámok véges sebességgel terjednek*.

2. A mechanikai hullámok forrása mindig rezgő test; a hullám terjedésekor a részecskék rezgést végeznek, ezért a *közeg minden része rezgésének a frekvenciája egyenlő a hullámforrás rezgésének frekvenciájával*.

3. A *mechanikai hullámok nem terjednek a vákuumban*.

4. A *hullámmozgást nem kíséri anyagátvitel* – az anyag részecskéi csak rezegnek

5

Felidézzük a rezgéseket jellemző fizikai mennyiségeket

A hullám *rezgések* terjedése. Ezért a rezgéseket jellemző fizikai mennyiségek (*frekvencia, periódus, amplitúdó*) a hullámokra is érvényesek. Felidézzük a 7. osztály tananyagát:

	A rezgéseket jellemző fizikai mennyiségek		
	Frekvencia ν	Periódus T	Amplitúdó A
Meghatározás	az időegység alatti rezgések száma	egy rezgés ideje	a rezgő test egyensúlyi helyzetéből mért legnagyobb kitérése
Képlet	$\nu = \frac{N}{t}$ N — a t idő alatti rezgések száma	$T = \frac{t}{N}$	—
Mértékegysége SI-ben	hertz (1 Hz = 1 s ⁻¹)	másodperc (s)	méter (m)

Figyeljétek meg! A mechanikai hullám terjedésének idején a közeg minden részecskéje azonos frekvenciával (ν) rezeg, ami megegyezik a hullámforrás frekvenciájával, ezért a rezgések periódusa (T) a közeg minden pontjára azonos, tehát $T = \frac{1}{\nu}$. De a rezgések amplitúdója a hullám forrásától történő távolodással fokozatosan csökken.

6 Meghatározzuk a hullám hosszát és terjedési sebességét

Idézzétek fel a hullám terjedését a zsinóron. Tételezzük fel, hogy a kötél vége egy teljes rezgést végzett, vagyis a hullám terjedésének ideje egy periódussal egyenlő ($t = T$). Ezen idő alatt a hullám λ távolságot tett meg (17.8. a ábra). Ezt a távolságot a **hullám hosszának** nevezzük.

A hullám által egy T periódusnyi idő alatt megtett távolságot a **hullám hosszának** λ nevezzük:

$$\lambda = vT,$$

ahol v – a hullám terjedési sebessége.

A **hullámhossz mértékegysége a SI rendszerben a méter:**

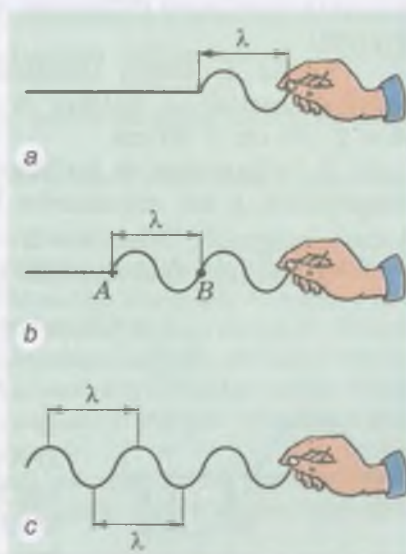
$$[\lambda] = 1 \text{ m.}$$

Nem nehéz észrevenni, hogy a kötélén az egymástól hullámhossznyi távolságra lévő pontok szinkronban rezegnek – azonos a **rezgésfázisuk** (17.8. b, c ábra). Például a kötélén lévő A és B pontok felfelé mozognak, elérik a hullám csúcsát, majd egyidejűleg lefelé tartanak.

A $\lambda = vT$ képlettel meghatározható a hullám terjedési sebessége: $v = \frac{\lambda}{T}$. Mivel $\frac{1}{T} = \nu$, innen megkapjuk a **hullám hossza, frekvenciája és sebessége közötti összefüggést** – a **hullám képletét**:

$$v = \lambda \nu$$

Ha a hullám egyik közegből másikba megy át, megváltozik a terjedési sebessége; mivel a hullám frekvenciáját a hullámforrás frekvenciája határozza meg, ezért az **változatlan** marad. A $v = \lambda \nu$ képlet alapján a hullám egyik közegből a másikba történő átmenete esetén **megváltozik a hullám hossza**.



17.8. ábra. A hullámhossz egyenlő a hullám által egy rezgés alatt megtett távolsággal (ez a két szomszédos hullámhegy vagy szomszédos hullámvölgy közötti távolság)

A hullám képlet

$$v = \lambda \nu$$

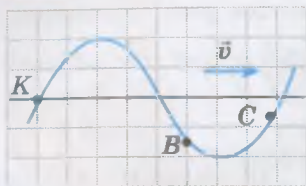
v — a hullám terjedési sebessége;

λ — a hullám hossza,

ν — a hullám frekvenciája

7

Gyakoroljuk a feladatok megoldását!



1. ábra

Feladat. A zsinóron keresztirányú hullám halad 3 m/s sebességgel. Az 1. ábrán a zsinór helyzete és a hullám sebességének iránya látható meghatározott pillanatban. Az ábra segítségével és abból kiindulva, hogy egy négyzet oldala 15 cm, határozzátok meg: 1) a hullám amplitúdóját, periódusát, frekvenciáját és hosszát; 2) a zsinóron található K , B és C pontok mozgásának az irányát!

Megoldás

Mivel a hullám keresztirányú, ezért a zsinór pontjai a hullám haladási irányára merőleges rezgéseket végeznek (egyensúlyi állapotuk körül fel-alá mozognak).

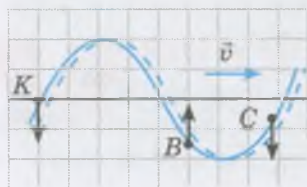
1) Az 1. ábrán láthatjuk, hogy a maximális elmozdulás az egyensúlyi állapottól (a hullám A amplitúdója) 2 négyzetnek felel meg. Tehát, $A = 2 \cdot 15 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$.

A hullámhegy és hullámvölgy közötti távolság 60 cm (4 négyzet), ennek megfelelően a két szomszédos hullámhegy közötti távolság (a hullám hossza) kétszer nagyobb. Tehát $\lambda = 2 \cdot 60 \text{ cm} = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$.

A hullám v frekvenciáját és T periódusát a hullám képletéből kapjuk meg:

$$v = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \text{ m/s}}{1,2 \text{ m}} = 2,5 \frac{1}{\text{s}} = 2,5 \text{ Hz};$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ (s)}.$$



2. ábra

2) A zsinór pontjai mozgásirányának meghatározásához pótszerkesztést végzünk. Tételezzük fel, hogy a Δt kis időintervallumban a hullám kisebb távolságot tett meg. Mivel a hullám jobbra halad, az alakja időben nem változik, a zsinór pontjai a 2. ábrán szaggatott vonallal ábrázolt helyzetet foglalják el.

A hullám keresztirányú, vagyis a zsinór pontjai a hullám irányára merőlegesen mozognak. A 2. ábrából láthatjuk, hogy a K pont a Δt időintervallum alatt az eredeti helyzeténél lejjebb kerül, tehát mozgási sebessége lefelé irányul; a B pont feljebb helyeződik, vagyis mozgási sebessége felfelé irányul; a C pont lejjebb kerül, ezért mozgási sebessége lefelé irányul.

Felelet: $A = 30 \text{ cm}$; $T = 0,4 \text{ s}$; $\nu = 2,5 \text{ Hz}$; $\lambda = 1,2 \text{ m}$; a K és C pontok lefelé mozognak, a B pont – felfelé.



Összegezés

A rezgés terjedését rugalmas közegben mechanikai hullámnak nevezzük. Azt a mechanikai hullámot, amelyben a közeg részecskéi a hullám terjedésének irányára merőlegesen rezegnek, keresztirányú hullámnak nevezzük. Ha a részecskék a hullám irányában rezegnek, akkor hosszanti hullámról beszélünk.

A hullám nem azonnal terjed, hanem bizonyos sebességgel halad. A hullám terjedése során anyagátvitel nélküli energiaátvitel megy végbe. A hullám által egy periódusnyi idő alatt megtett távolságot a hullám hosszának nevezzük – ez két szomszédos, szinkronban mozgó pont közötti távolság (azonos rezgésfázissal rendelkeznek). A hullám λ hossza, ν frekvenciája és v sebessége közötti összefüggést a hullám képlete határozza meg: $v = \lambda \nu$.



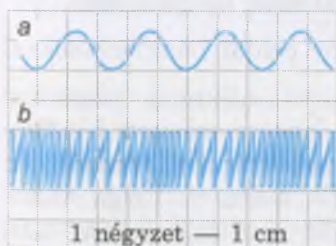
Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk mechanikai hullámnak?
2. Írjátok le a mechanikai hullám létrejöttének és terjedésének mechanizmusát!
3. Soroljátok fel a hullámmozgás alaptulajdonságait!
4. Milyen hullámokat nevezünk hosszantiaknak? Keresztirányúaknak?
5. Milyen közegekben terjednek?
6. Mit nevezünk hullámhossznak? Mitől függ?
7. Milyen összefüggés van a hullám hossza, frekvenciája és sebessége között?

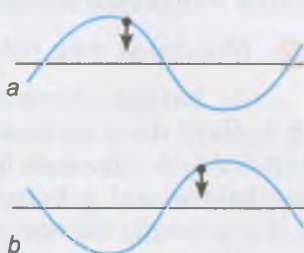


17. gyakorlat

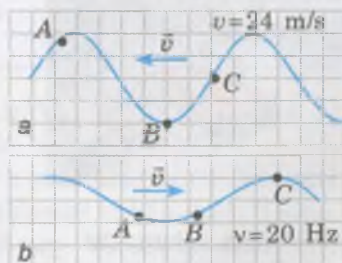
1. Az 1. ábrán zsinórral (a) és rugóval (b) gerjesztett hullám látható. Határozzátok meg mindkét hullám hosszát!
2. Az óceánon keletkező hullám hossza 270 m, periódusa pedig 13,5 s. Határozzátok meg a hullám terjedési sebességét!
3. Megegyezik-e a hullám terjedési sebessége és a közeg pontjainak a sebessége, amelyben a hullám terjed?
4. Miért nem terjed a mechanikai hullám a vákuumban?
5. A geológusok által végzett robbantáskor a földkéregben lökéshullám jött létre, melynek terjedési sebessége 4,5 km/h. A Föld alsóbb rétegeiből visszavert hullámot a Föld felszínén a robbantás utáni 20. másodpercben észlelték. Milyen mélységben helyezkedik el a földkéregnél jelentősen nagyobb sűrűségű burok?
6. A 2. ábrán két zsinór látható, amelyeken keresztirányú hullám terjed. Mindkét zsinórón feltüntették egy-egy pontjuk rezgésének irányát. Mindkét esetre határozzátok meg a hullám terjedésének irányát!
7. A 3. ábrán két zsinór látható, melyeken hullám terjed és fel van tüntetve a hullámok iránya. Egy kocka oldala 20 cm. Mindkét, a és b esetre határozzátok meg:
 - 1) a hullám amplitúdóját, periódusát, hosszát;
 - 2) az irányt, amelybe az adott pillanatban mozognak a zsinór A, B és C pontjai;
 - 3) a zsinór bármelyik pontja által 30 s alatt végzett rezgések számát!
8. A tenger partján álló ember megállapította, hogy két szomszédos hullámhegy közötti távolság 15 m. Ezenkívül azt is megfigyelte, hogy 75 s alatt 16 hullámhegy ér a parthoz. Határozzátok meg a hullámok terjedési sebességét!



1. ábra



2. ábra



3. ábra

18. §. HANGHULLÁMOK. INFRAHANG ÉS ULTRAHANG

Az ember a hangok óceánjában él. Mi a hang? Miért nem hallható az űrhajó hajtóműveinek dübörgése az űrben? Miért hallatszik később a dörgés, mint a villámlás? Miért vonják be a hangstúdiók falait hangelnyelő réteggel? Hogyan találnak teljes sötétségben a delfinek és a denevérek zsákmányt? Próbáljátok megválaszolni ezeket a kérdéseket!



18.1. ábra. Miután elengedik a vonalzó végét, az rezegni kezd, és hangot sugároz

1 Megismerkedünk a hangforrásokkal és a hangérzékelőkkel

Szorítsátok a vonalzó egyik végét az asztal széléhez, a szabad végét húzzátok lefelé, majd eresztétek el – ettől rezgésbe jön, és hangot bocsát ki (18.1. ábra). Arról van szó, hogy a vonalzó rezgése a levegő sűrűsödését és ritkulását váltja ki, aminek következtében a nyomás periodikusan növekszik és csökken a rezgés környezetében. Az összenyomott levegő igyekszik szétterjedni, és ezáltal hat a szomszédos rétegekre, összenyomja azokat. Ily módon terjed a vonalzótól a mechanikai hullám minden irányban, majd végül eljut a fületekbe. A levegő nyomása a dobhártya közelében periodikusan változik, rezgésbe hozva azt. A vonalzó vége 20 Hz frekvencián rezeg. Ilyen frekvenciánál kezd rezegni a dobhártya is. A 20 és 20 000 Hz közötti rezgéseket az emberi fül hangként érzékeli.

A hang 20 és 20 000 Hz közötti frekvenciájú mechanikai rezgéshullám.

A hangforrások különféle, 20–20 000 Hz frekvenciájú rezgéseket végző testek. Például hangforrásként szolgál a fülhallgató membránja és a hangszerek húrja, a hangszóró membránja és a szúnyogok szárnya, gépek részei. A trombitában, szájharmonikában, sípban a hang a hangszer belsejében a levegőoszlop rezgése által jön létre. Az emberek és állatok hangképző szervei szintén hangforrások.

2 Mondjatok még néhány példát hangforrásokra!



18.2. ábra. A hangvilla szárai rezegnek, és hangot sugároznak

A hangot *hangvillával* célszerű vizsgálni (18.2. ábra). Ez a szerkezet dobozra erősített két fém-szárból áll. A doboznak hiányzik az egyik oldala. Ha gumikalapáccsal a hangvilla száaira ütnek, akkor az jó minőségű, változatlan frekvenciájú, fokozatosan gyengülő, hosszan tartó hangot sugároz.

A **hangérzékelőkben** a hanghullámok egyéb jelekké alakulnak át, aminek köszönhetően érzékelhetjük és elemezhetjük a hangot. A hangérzékelőkhöz tartoznak a többi között az emberek és állatok hallószervei – bennük a hangrezgések (mechanikai rezgések) idegimpulzusokká alakulnak át. A technikában hangok érzékelésére többnyire átalakítókat használnak, amelyekben a hangrezgések elektromos rezgésekké alakulnak át (18.3. ábra).



18.3. ábra. A mikrofonban a hangrezgések elektromos rezgésekké alakulnak át

2 Megmérjük a hang terjedési sebességét

Ha távolról látjuk a hang létrejöttének pillanatát (harangütés, taps), akkor azt vesszük észre, hogy a hangot bizonyos idő elteltével érzékeljük. Ismerve a hangforrás távolságát és a késés idejét, meghatározhatjuk a hang terjedési sebességét a levegőben.

A *hang sebességét a levegőben* elsőként 1636-ban *Marin Marsenne* (1588–1648) francia tudós mérte meg.

A hang sebessége a levegőben 20°C hőmérsékleten 340 m/s . Ez közel milliószor kisebb a fény sebességénél. Ezért hallható később a dörögés, mint ahogy a villámlás látható (18.4. ábra).

A *hang terjedési sebessége függ a közeg hőmérsékletétől, sűrűségétől, összetételétől és egyéb jellemzőitől*. A folyadékokban a hang gyorsabban terjed, mint a gázokban, de lassabban, mint a szilárd testekben. A hang sebessége rendszerint növekszik a közeg hőmérsékletének az emelkedésével. Azonban minél kisebb a közeg molekuláinak a tömege, annál gyorsabban terjed a hang. Feladatok oldása közben a hang terjedési sebességének megközelítő értékeit használjuk (lásd a 120. oldalon lévő táblázatot).



18.4. ábra. Ha a vihar tőlünk messze van, akkor a dörögés hangját a villámlás után 10–20 s múlva halljuk meg

A *hang terjedésének pontos sebességét a vízben* elsőként *Jean Colladon* és *Charles Sturm* svájci tudósok határozták meg 1826-ban.

Az egyik kutató a Genfi-tó vizén ült csónakjában, és ráütött a vízbe eresztett harangra. Az ütéssel egyidejűleg a csónakban puskaport robbantott. Társa, aki egy másik csónakban ült 16 km-re , a hangot egy víz alatti tölcserrel fogta fel, mérte a fényvillanás és a hang megérkezése közötti időt.

A hang terjedési sebességének megközelítő értékei egyes közegekben

Közeg	v , m/s
Víz	1500
Hidrogén	1250
Vas, acél, öntöttvas	5000
Levegő	340
Üveg	4500



18.5. ábra. Ha üvegbúra alá mobiltelefont helyezünk, majd kiszivattyúzzuk a levegőt, a telefon csengését nem halljuk meg

Az erősségen és magasságon kívül a hangot a **hangszín** is jellemzi: az azonos hangmagasságú hangokat másféleképpen halljuk, ha zongorán, szaxofonban képződnek, vagy különböző emberek beszélnek. A hangok ilyen sokféle árnyalatát nevezik hangszíneknek.

Arról van szó, hogy a hangok nagyon összetettek: az alapprofrekvencián kívül (amely szerint meghatározzuk a hang magasságát) a hang még néhány gyengébb és jóval magasabb frekvenciát – *felhangot* – tartalmaz. Minél több felhangot tartalmaz az alaphang, annál gazdagabb a hangzás.



Elemezzétek a táblázatot! Szerintetek miért nagyobb a hang sebessége a vízben, mint a levegőben, és miért nagyobb az acélban, mint a vízben?

Figyeljétek meg! Mivel a hang mechanikai hullám, a terjedéséhez közegre van szükség, ezért a *hanghullám vákuumban nem terjed* (18.5. ábra).

3 Megvizsgáljuk a hang jellemzőit

A különböző frekvenciájú hangokat eltérő magasságú hangokként érzékeljük: *minél nagyobb a hang frekvenciája, annál magasabb hangot* érzékelünk, és ellenkezőleg. Könnyen megkülönböztetjük a szűnyog magas tónusú zümmögését a darázs alacsony tónusú zümmögésétől, a hegedű hangját a nagybőgőétől.

A **hang erősségét** elsősorban a hanghullám *amplitúdója* határozza meg (a megfigyelés közelében történő legnagyobb nyomásváltozás): minél nagyobb az amplitúdó, annál erősebb a hang. De a hang erőssége függhet a magasságától (a hanghullám frekvenciájától). Az emberi fül viszonylag rosszul érzékeli a nagyon alacsony (20 Hz alatti) és nagyon magas (20 000 Hz feletti) frekvenciájú hangokat. Legjobban a közepes frekvenciájú (1000–3000 Hz) hangokat halljuk.

Terjedése során a hang fokozatosan *szóródik és csendesedik*, vagyis csökken az ereje. A hang szóródásának törvényszerűségeit fontos ismerni a hangok terjedési távolságának meghatározása szempontjából. A levegőben a hang terjedési távolságára a hőmérséklet és a légnyomás, a szél ereje és sebessége van hatással. Esetenként az óceánok mélyén (5000 m-nél mélyebben) létrejönnek olyan feltételek, amelyek mellett a hang nagyon hosszú távolságot is megtehet. Ezt a jelenséget víz alatti hangcsatornának nevezik.

4 Megfigyeljük a hangvisszaverődést

Ha összehasonlítjuk a hang és a fény terjedését, akkor néhány közös jellegzetességet figyelhetünk meg. Ez nem véletlen: a fény szintén hullám, de nem mechanikai (erről a későbbiekben lesz szó). A különböző közegek határán a hanghullám, a fényhez hasonlóan, megtörik,

elnyelődik és visszaverődik. Megvizsgáljuk részletesebben a hang visszaverődését.

Ha szikla vagy felhőkarcoló közelében állunk és tapsolunk, vagy hangosat kiáltunk, kis idő múlva meghalljuk hangunk ismétlődését. Ez a **visszhang** (18.6. ábra).

A **visszhang** távolabbi akadályról visszaverődő hang.

Ha az akadály viszonylag távol van, a hang pedig rövid idejű (ütés, taps), annak tiszta ismétlését halljuk. Ha a hang hosszú, akkor a visszhang keveredik az elsődleges hanggal, és a visszavert hang zavaros lesz.



18.6. ábra. A visszhang hangvisszaverődés eredményeként jön létre

Szerintetek zivatarban miért telik el bizonyos idő a villámlás és a dörgés hangjának érzékelése között?

A hanghullámok visszaverődésén alapul a zajcsökkentő falak (ernyők) működési elve. Ilyeneket autóutak és repülőterek mentén építenek. A hangok visszaverődésének, szórásának és csökkenésének tanulmányozása a gázokban, folyadékokban és szilárd testekben lehetővé teszi a közegek belső felépítésének megismerését.

5 Megkülönböztetjük az infrahangot és ultrahangot

A 20 Hz alatti frekvenciájú hanghullámokat **infrahangoknak** nevezzük (lat. *infra* – lenti, alsó).

Az infrahangok egyes mechanizmusok működése, robbanás, omlás, erős szélleökések, vihar, földrengés idején jönnek létre.

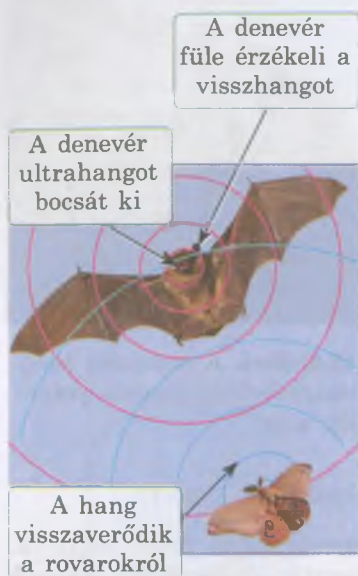
Az infrahang kimondottan veszélyes az állatok és emberek számára: tengeri betegség tüneteit, szédülést, ideiglenes látászavart idézhet elő, agresszivitást válthat ki. Hosszabb intenzív infrahang hatása szívleállást okozhat. Közben az ember nem érti, mi történik vele, mert nem hallja az infrahangot.

A 20 kHz feletti frekvenciájú hanghullámokat **ultrahangoknak** nevezzük (lat. *ultra* – fölött, túl).

Az ultrahang megtalálható a szél és a vízesés keltette zajban, az egyes élőlények által kiadott hangokban. Bizonyított tény, hogy a 100 kHz alatti frekvenciájú ultrahangot számos rovar és rágcsáló érzékeli (18.7. ábra); az ilyen rezgéseket a kutyák is felfogják. Érdekes, hogy a felnőttektől eltérően a gyerekek szintén hallják az ultrahangot (24 000 Hz-ig).



18.7. ábra. Ultrahangos rovarriasztó



18.8. ábra. Vadászat közben a denevérek ultrahangot használnak



18.9. ábra. Vízmélység mérése echolokáció segítségével

Egyes élőlények ultrahang segítségével tájékozódnak vagy vadásznak. Például a denevérek és delfinek ultrahangot bocsátanak ki, és felfogják annak visszaverődését, miáltal sötétben is megtalálják az utat vagy a zsákmányt. Ezekben az esetekben az állatok úgynevezett *echolokációt* használnak (18.8. ábra).

Echolokáció – az információkeresés és -szerzés módja visszhang segítségével.

Az emberek megtanulták felhasználni az echolokációt különböző ágazatokban, leggyakrabban ultrahang alkalmazásával.

Például a gyógyászatban echolokációval teszik láthatóvá az anyaméhben lévő gyermeket, a belső szerveket, idegen testet a szövetekben. A technikában az echolokációt a termékek hibáinak, a tengerek és óceánok mélységének a meghatározására alkalmazzák (18.9. ábra).

Ezenkívül ultrahanggal sterilizálják (csírátlantítják) az orvosi műszereket, orvosságokat, a sebészek kezét. Az ultrahanggal történő kezelés néha fölöslegessé teszi műtétek végzését.

Ultrahang alkalmazásával munkálják meg a kemény anyagokat, tisztítanak meg felületeket.



Ellenőrző kérdések

1. Mi a hang? 2. Mondjatok példákat hangforrásokra és hangérzékelőkre! 3. Miért sugároz hangot a hangforrás? 4. Mitől függ a hang terjedési sebessége? 5. Milyen fizikai mennyiséggel határozzák meg a hangmagasságot? 6. Mivel határozható meg a hangerősség? 7. Milyen jelenség következménye a visszhang? 8. Mi az infrahang? Hogyan hat az emberre? 9. Mi az ultrahang? Mondjatok példákat ultrahang alkalmazására a természetben, gyógyászatban, technikában! 10. Mi az echolokáció?



18. gyakorlat

1. A hangvilla szárai 440 Hz frekvenciával rezegnek. Hangként érzékeljük-e ezeket a hullámokat?

2. Miért nem halljuk a lepkét repülés közben, míg a szúnyogot igen?

3. Határozzátok meg a 4 kHz frekvenciájú hanghullám sebességét a levegőben; vízben; acélban!

4. Miért hallatszik másképpen a zene és az énekes hangja üres teremben, mint nézőkkel teli helyiségben?
5. Ultrahanggal megmérték a tenger mélységét (lásd a 18.9. ábrát). A tengerfenékről visszavert jel a kibocsátása utáni 4. másodpercben ért vissza. Mekkora a tenger mélysége a mérés helyén?
6. Hány rezgést végez a hangforrás 5 s alatt, ha a hullám hossza a levegőben 1 m?
7. A hang terjedési sebességét a fémekben elsőként *Jean-Baptiste Biot* (1774–1862) francia fizikus határozta meg. Kísérletéhez a párizsi vízvezetékrendszer öntöttvas csöveit használta fel (951 m). Amikor a cső egyik végét kalapáccsal megütötte, a másik végén kettős ütés hallatszott. Hány másodperccel előzte meg az öntöttvasban terjedő hang a levegőben terjedő hangot?
8. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjatok meg többet az ultrahang felhasználásáról!
9. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjete meg a zajnak az emberi egészségre gyakorolt hatásáról! Hogyan csökkenthető maximálisan a zaj káros hatása?
10. A fényforrás és a tükör egy egyenes mentén egymástól 10,8 km távolságra van. Mennyi idő alatt éri el a tükröt és ér vissza a fényjel?



Kísérleti feladat

1. *Majdnem Pitagorasz*. A rezgő húr által kibocsátott hangok megfigyelésére már Pitagorasz (i. e. VI. sz.) görög tudós is végzett kísérleteket. Tanulmányozta a hangmagasság és a húr hossza közötti összefüggést. Kifeszített cérna segítségével tisztázzátok, hogyan függ a hangmagasság a cérna hosszától!
2. *Zenélő vonalzó*. Ismételjétek meg a 18.1. ábrán látható kísérletet! A vonalzó rezgő részét csökkentve bizonyítsátok be, hogy minél kisebb ez a rész, annál nagyobb a kisugárzott hang frekvenciája!
3. *Érzékeny golyó*. Vékony cérnára függesztett golyó segítségével bizonyítsátok be, hogy hang sugárzása közben a hangvilla szárai rezegnek, a hang erőssége pedig a rezgése amplitúdójától függ!

Fizika és technika Ukrajnában



Boris Pavlovics Grabovszkij (1901–1966) – ukrán fizikus és feltaláló, a mozgókép továbbítására szolgáló elektronikus rendszer létrehozója (ezen az elven működnek a tévékészülékek), Pavel Grabovszkij neves ukrán költő fia.

Grabovszkij első találmánya a televíziós képi adatátvitelhez szükséges katód-kommutátor, majd egy olyan adattovábbító készülék volt, amelynek a „rádiótelefon” nevet adta.

1928. július 26-án Taskentben végezték el azt a kísérletet, amelyben elektronikus módszerrel a világon elsőként közvetítettek mozgóképeket (ez a laboráns arca volt).

Boris Grabovszkij találmányai között van kis motortérfogatú helikopter, háromszárnyú vitorlázógép, a vakok tájékozódását segítő berendezés, hallókészülék. A katódsugár létrehozásának szabadalmaztatott elvét sikeresen felhasználták az Elektromos Hegesztési Intézetben, amelyről a feltalálónak az intézet igazgatója, Paton akadémikus személyesen számolt be.

1977-ben megalapították a taskenti, Boris Grabovszkij nevét viselő Elektronikus Televíziózás Múzeumát. Található ezenkívül Grabovszkij Múzeum Tyumenyben és Puskarno (ma Grabovszkij) településen Szumi megyében.

6. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA



Téma. Különböző forrásokból származó hanghullámok vizsgálata modern digitális eszközök segítségével.

Cél: a hanghullámok jellemzői (amplitúdó, frekvencia) és a hangerő, valamint a hang magassága közötti összefüggés kiderítése.

Eszközök: számítógép (vagy mobiltelefon) hang rögzítésére és feldolgozására alkalmas programmal (például WavePad-del), mikrofon, hangvilla, hangfrekvencia-generátor.

Elméleti tudnivalók

A hangrögzítés formája különböző lehet: mágneses, optikai, digitális. A számítógépes hangrögzítés kizárólag digitális. A felírt hang audiófájlban tárolódik, és feldolgozás után az érzékelés helyén történő nyomás időbeli változását bemutató pulzáló grafikon formájában megjeleníthető a számítógép képernyőjén (lásd az ábrát).

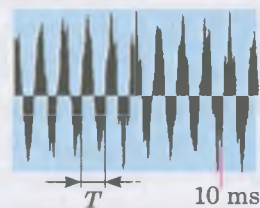
A grafikon segítségével értékelhető:

1) *a hang erőssége* – a hanghullám A amplitúdója határozza meg;

2) *a hang magassága* – a hanghullám ν frekvenciája (T periódusa) határozza meg. Például a grafikon alapján meghatározzuk, hogy 10 s alatt majdnem 9 rezgés

történt (pontosabban 8,8), tehát a hanghullám frekvenciája: $\nu = \frac{8,8}{0,01 \text{ s}} = 880 \text{ Hz}$.

A grafikonon a „lá” hang második oktávus hangzásának digitális felvétele látható (lásd a táblázatot).



Hang-jegyek	Frekvencia ν , Hz		Hang-jegyek	Frekvencia ν , Hz	
	első oktáv	második oktáv		első oktáv	második oktáv
Do	261,63	523,26	Szol	392,00	784,00
Re	293,66	587,32	Lá	440,00	880,00
Mi	329,63	659,26	Szi	493,88	987,76
Fá	349,23	698,46			

ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

II

Előkészület a kísérlethez

1. A munka végzése előtt idézzétek fel: 1) a laboratóriumi munka végzése közbeni betartandó balesetvédelmi szabályokat; 2) a hang fő jellemzőit!
2. Kapcsoljátok be a számítógépet, csatlakoztassátok hozzá a mikrofont!
3. Indítsátok el a hangrögzítő programot (a Windows alapértelmezett programja), ehhez nyomjátok meg az Start gombot, és válasszátok ki a megfelelő parancsot: Program → Alapértelmezett → Szórakoztatás → Hangrögzítés!

Kísérlet

Szigorúan tartsátok be a balesetvédelmi előírásokat (lásd a könyv belső borítóját)!

A kapott audio fájlokat mentsetek megfelelő név alatt!

1. Kapcsoljátok be a hangfrekvencia-generátort, és a kimenő jel frekvenciáját állítsátok 440 Hz-re!
2. Kapcsoljátok be a hangrögzítést, 4–6 s múlva kapcsoljátok ki!
3. A frekvenciát változatlanul hagyva növeljétek a generátor hangerő-ségét, és ismételjétek meg a 2. pontban leírtakat!
4. Állítsátok be a frekvenciát 880 Hz-re, és végezzétek el a 2. pontban leírtakat!
5. Helyezzétek ki a hangvillát! Üssetek rá gumikalapáccsal, majd ismételjétek meg a 2. pontban foglaltakat!
6. Enekeljétek a mikrofonba néhány hangot, majd ismét végezzétek el a 2. pontban leírtakat!

A kísérlet eredményeinek feldolgozása

A mérési eredményeket azonnal írójátok be a táblázatba.

1. Mindegyik kísérlet esetében határozzátok meg a hanghullám frekvenciáját! Ennek érdekében:
 - 1) nyissátok meg az audio fájlt (a képernyőn meglátjátok a fenti ábrához hasonló grafikont);
 - 2) számítsátok ki a rezgések számát, például 10 ms alatt;
 - 3) a $v = N/t$ képlet segítségével számítsátok ki a hanghullám frekvenciáját!

A kísérlet sorszáma	Kísérlet megnevezése	Rezgési idő t , ms	Rezgések száma N	Hullám frekvenciája v , Hz
1.				
...				

2. Rögzítsetek a képernyő képét bármelyik két kísérlet esetében, nyomtasátok ki őket, és ragasszátok be a füzetetekbe (vagy készítsétek rajzot)!

A kísérlet eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Fogalmazzátok meg a következtetéseiteket: 1) hasonlítsátok össze a kapott eredményeket a generátor és a hangvilla frekvenciájával, valamint a hangjegyek frekvenciájának táblázati értékeivel; 2) nevezzétek meg a mérési hibák lehetséges okait!

* Csillagos feladat

A $\varepsilon = \left| 1 - \frac{v_{\text{mért}}}{v_{\text{adott}}} \right| \cdot 100\%$ képlet segítségével értékeljétek az egyik kísérlet viszonylagos hibáját.

+ Alkotói feladat

Gondolkozzatok el, milyen kísérletet kellene elvégezni ahhoz, hogy meghatározhassuk, melyik anyag nyeli el jobban a hangot; milyen anyagokban terjed jobban a hang! A kísérletek tervezetét írójátok le! Végezzétek el a kísérleteket, és rögzítsetek az eredményeket!

19. §. ELEKTROMÁGNESES TÉR ÉS ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK

Mindnyájan olvastatok gyerekkorotokban meséket. Emlékezzetek vissza: a mesehős magas hegyeket és mély tengereket lát, amelyek hetedhét országon túl vannak. Mire emlékeztet benneteket ez a meserészlet? Valószínűleg egyebek mellett a mobil internetre. Arról, hogyan sikerült a fizikában feltalálni ezt a mesés eszközt, a következőkben olvashattok.



19.1. ábra. James Clerk Maxwell (1831–1879) – angol fizikus és matematikus, a klasszikus elektrodinamika megteremtője, egyike a statisztikai fizika megalapítóinak

1 Megismerkedünk az elektromágneses térrel

Mindenekelőtt felidézzük: kétféle matéria létezik – *anyag* és *tér*. Mindkettő a *valóságban létezik*, nem pedig valamilyen fizikai jelenségek magyarázatára szolgáló modellként.

A múlt tanévben megismerkedtetek az *elektromos térrel*, a mostaniban a *mágneses térrel*. Ezenkívül tisztáztátok, hogy a *változó mágneses tér* nem csak a mozgó töltésekre és mágneses tárgyakra hat, hanem *elektromos teret* is létrehoz. Ezt a következtetést a maga idejében *Faraday* vonta le.

A szimmetria elvét követve *James Maxwell* (19.1. ábra) neves angol fizikus felállította a később beigazolódott hipotézisét arról, hogy nem csak a változó mágneses tér hoz létre elektromos teret, hanem a váltakozó elektromos tér is létrehoz mágneses teret. Hipotézise alapján az *elektromos és mágneses terek mindig együtt léteznek*, és nincs értelme külön, különálló objektumokként vizsgálni azokat. Vagyis létezik egy egységes **elektromágneses tér**, az elektromos és a mágneses tér pedig a két összetevője (két megjelenési formája) az *elektromágneses térnek*.

Elektromágneses tér – az anyag létezésének formája, amely a töltött részecskék és testek, valamint a mágneses testek kölcsönhatását valósítja meg.

Közületek valaki bizonyára nem ért egyet Maxwell következtetésével, hiszen jól tudjátok, hogy például a mozdulatlan töltéssel rendelkező test közelében csak elektromos tér létezik, a mozdulatlan állandó mágnes mellett pedig mágneses tér. De emlékezzetek vissza: a mozgás és a nyugalmi állapot nézőpont kérdése.

Képzeljétek el, hogy egy töltéssel rendelkező golyó van a kezetekben, és a barátotok felé haladtok. Ha az ember képes lenne kimutatni az elektromágneses teret, akkor ebben az esetben csak az egyik összetevőjét – az elektromos teret – látnátok, mivel hozzátok viszonyítva a töltés mozdulatlan. De ezzel egyidejűleg

a barátotok látná mind az elektromos, mind a mágneses teret, mert hozzá viszonyítva a töltés mozgásban van, és változik az elektromos tér (lásd a 19.2. ábrát).

Ha a barátotok felveszi a mágnezt, és tőletek elfelé viszi (19.3. ábra), közületek ki mutatja ki csak a mágneses teret, és ki a mágneses és elektromos teret is?

Tehát nincs értelme azt állítani, hogy az adott pontban csak elektromos (vagy mágneses) tér létezik, mivel nincs megjelölve a vonatkoztatási rendszer. De soha nem találunk olyan vonatkoztatási rendszert, amelyhez viszonyítva mindkét összetevő eltűnik, vagyis az *elektromágneses tér anyagi jellegű*.

2 Elektromágneses hullámokat hozunk létre

Elemmezve az összes addig ismert elektrodinamikai törvényt, Maxwell – kizárólag matematikailag – az akkori korhoz képest fantasztikus következtetésre jutott: a természetben létezniük kell *elektromágneses hullámoknak*.

Elektromágneses hullám – változó elektromágneses tér terjedése a térben.

Megpróbáljuk elképzelni, hogyan jön létre, és hogyan terjed az elektromágneses hullám. Vesszünk egy vezetőt, amelyben váltóáram folyik (19.4. ábra). Mint ismeretes, minden áramjárta vezető körül mágneses tér jön létre. A váltóáram váltakozó mágneses teret hoz létre. Maxwell elmélete szerint a váltakozó mágneses térnek elektromos teret kell létrehoznia, ami szintén váltakozó lesz. Tehát az *elektromágneses tér rezgése terjed, így elektromágneses hullámot kapunk* (19.5. ábra). A hullám v frekvenciája megegyezik a vezetőben folyó áram frekvenciájával, a váltóáramot vezető huzal pedig az *elektromágneses hullám forrása* lesz.

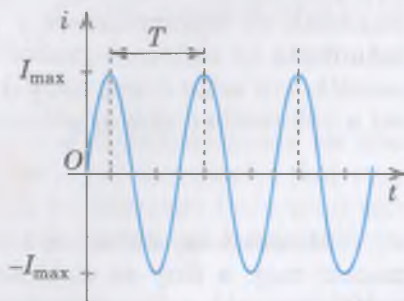
Hasonlóan ahhoz, ahogyan a mechanikai hullám elszakad a forrásától (idéztek fel a vízbe dobott kő által létrehozott hullámokat), az elektromágneses hullám szintén elszakadhat a létrehozó forrásától, és önállóan terjed tovább a térben.



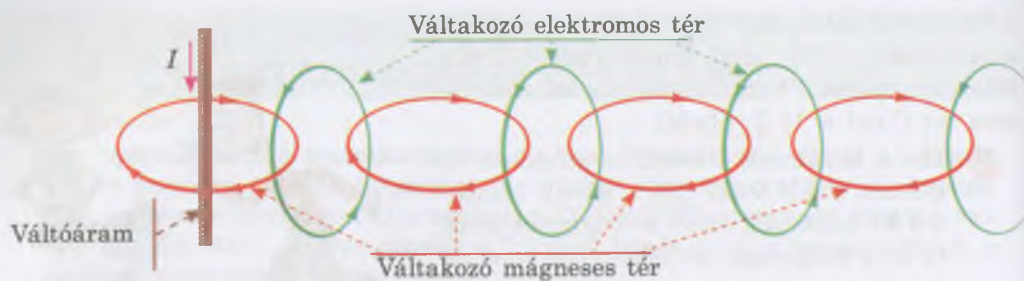
19.2. ábra. A kisfiúhoz kapcsolódó vonatkoztatási rendszerben az elektromágneses térnek csak az elektromos összetevője mutatható ki. A kislánnyal kapcsolatos vonatkoztatási rendszerben viszont már mind a két összetevő – az elektromos és a mágneses is – jelen van.



19.3. ábra. A 19. §-ban található kérdéshez



19.4. ábra. A váltóáram olyan áram, amelynek az erőssége periodikusan változik: időben az áramerősség hol növekszik, hol csökken; változik az áram iránya is



19.5. ábra. Az elektromágneses hullám terjedése, vázlatosan

Érdekes, hogy egyes elektromágneses hullámok „vándorolnak” a Világ-egyetemben szinte annak létrejöttétől kezdve.

Maxwell elmélete szerint *bármilyen, gyorsuló mozgást végző* (olyan részecske, amely állandóan változtatja sebességének értékét, irányát vagy egyidejűleg mindkettőt), *töltéssel rendelkező részecske lehet elektromágneses hullám forrása*. Ha a részecske mozdulatlan vagy állandó sebességgel halad, akkor körülötte létrejön elektromágneses tér, de elektromágneses hullámokat nem sugároz.

A molekulák, atomok, atommagok belsejében végbemenő folyamatokat is kísérheti elektromágneses hullámok sugárzása (az ilyen folyamatok elmélete, a kvantumelmélet a XX. században jött létre).

3 Jellemezzük az elektromágneses hullámot

Az elektromágneses hullám, a mechanikai hullámhoz hasonlóan, *frekvenciával* (ν), *hosszúsággal* (λ) és *terjedési sebességgel* (v) jellemezhető. Ahogy a mechanikai hullámok esetében, az adott mennyiségek ebben az esetben is a *hullám képletével* köthetők össze:

$$v = \lambda \nu$$

Azonban a mechanikai hullámoktól eltérően az elektromágneses hullámok terjedéséhez nincs szükség közegre. Ellenkezőleg, az elektromágneses hullámok legjobban és leggyorsabban a vákuumban terjednek. Maxwell elméletben kiszámította az elektromágneses hullámok terjedési sebességét a vákuumban, és csodálkozva vette észre, hogy a kapott eredmény megegyezett a fény sebességével a vákuumban (amely abban az időben már kísérletileg meg volt határozva):

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Maxwell egy abban az időben figyelemreméltó és bátor feltételezést fogalmazott meg: a fény az *elektromágneses hullámok egyik fajtája* (19.6. ábra). A tudós nem csak a fény természetét derítette ki, hanem megjósolta a különböző elektromágneses hullámok létezését és tulajdonságait is.

Vákuumban – és csakis abban – minden elektromágneses hullám azonos sebességgel (c) *terjed*, ezért a vákuum esetére az elektromágneses hullámok hosszának és frekvenciájának az összefüggését a következő képlet adja meg:

$$c = \lambda \nu$$



19.6. ábra. A fény – elektromágneses hullámok. Frekvenciájuk megközelítőleg $4 \cdot 10^{14}$ Hz (piros fény) és $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (lila fény) között található

Egyik közegből a másikba történő átmenet során az elektromágneses hullámok terjedési sebessége és hossza megváltozik, de a frekvenciájuk változatlan marad. Az *elektromágneses hullámok terjedési sebessége a levegőben nagyjából megegyezik vákuumbeli sebességükkel.*

Megalkotása után 15 évvel kísérletileg is bebizonyították Maxwell elektromágneses térelméletét: Heinrich Rudolf Hertz (19.7. ábra) bemutatta, hogyan lehet elektromágneses hullámokat sugározni és felfogni. Hertz nem csak létrehozta az elektromágneses hullámokat, hanem tanulmányozta is a tulajdonságait. Megállapította, hogy az elektromágneses hullámok:

- *visszaverődnek a vezetőkről* (a visszaverődési szög egyenlő a beesési szöggel);
- *a dielektrikumok határán megtörnek;*
- *az anyagok részlegesen elnyelik, és részlegesen szétszórják őket.*

Ezeket a jelenségeket az elektromágneses térnek az anyag töltött részecskéire történő hatása váltja ki. Ha elektromágneses hullám fém felületre esik, akkor a szabad elektronokra váltakozó elektromos tér hat (az elektromágneses hullám elektromos összetevője). Ennek a hatásnak a következményeként a fém felső rétegében váltakozó elektromos áramok jönnek létre, amelyek azután ki-sugározzák a visszavert elektromágneses hullámot.



19.7. ábra. Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) – német fizikus, egyike az elektrodinamika megalapítóinak



Összegezés

A töltéssel rendelkező részecskék kölcsönhatása elektromágneses tér közvetítésével történik. Az elektromágneses térnek két összetevője (két megjelenési formája) van – elektromos (elektromos tér) és mágneses (mágneses tér): a váltakozó mágneses tér elektromos teret, míg a váltakozó elektromos tér mágneses teret hoz létre.

Az elektromágneses hullám – változó elektromágneses tér terjedése a térben. A hullám terjedési sebessége, hossza és frekvenciája a hullám képletével kapcsolható össze: $v = \lambda \nu$. Az elektromágneses hullámok legjobban és leggyorsabban a vákuumban terjednek. Az elektromágneses hullámok sebessége a vákuumban minden elektromágneses hullám számára azonos és a fény sebességével egyenlő: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. A fény szintén elektromágneses hullám. A hullám képlete vákuumra: $c = \lambda \nu$.



Ellenőrző kérdések

1. Mi Maxwell hipotézisének a lényege? 2. Mi az elektromágneses tér, és mik az összetevői? 3. Hozzatok fel példákat az elektromos és mágneses terek viszonylagosságára! 4. Hogyan jön létre elektromágneses hullám? Milyen objektumok sugározhatják? 5. Milyen fizikai mennyiségek jellemzik az elektromágneses hullámokat? Milyen kapcsolatban vannak egymással? 6. Az elektromágneses hullámok mely tulajdonságait fedezte fel Hertz a kísérleteivel?



19. gyakorlat

- Az emelődaru elektromágneses egyenárammal működik. Határozzátok meg:
 - az elektromágnes milyen esetben hozhat létre a darukezelő környezetében elektromos és mágneses teret is: a) az elektromágnes mozdulatlan; b) az elektromágnes terhet mozgat;
 - milyen esetekben bocsát ki az elektromágnes elektromágneses hullámokat: a) az áramkör zárásakor; b) az áramkör bontásakor; c) amikor az elektromágnes mozgás közben terhet mozgat; d) amikor a mozdulatlan elektromágnes tartja a terhet!
- Töltsétek ki a táblázatot, feltételezve, hogy a hullámok a levegőben terjednek!

A hullám forrása	Hossza	Frekvenciája	Sebessége
Elektromos távvezeték huzalja		50 Hz	
Rádióadó készülék	10 sm		
Infravörös sugárzó	1,5 μm		

- A 19.6. ábra adatait felhasználva határozzátok meg az elektromágneses hullám hosszát a lila és a piros szín esetében! Két lehetőséget vizsgáljatok: a) a fény terjedését vákuumban; b) a fény terjedését üvegben (az üveg törésmutatója piros fény esetében 1,64, lila fény esetében 1,67)!
- Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjétek meg a rádió feltalálásával! Készítsetek rövid beszámolót!
- A csónak nyílt tengeren ring. A hullámok 12 m/s sebességgel terjednek, hosszuk 24 m. Milyen a hullámverés frekvenciája a csónak oldalán? Mennyi a hullámok közötti idő?



20. §. AZ ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK SPEKTRUMA

A kényelmes mobilkapcsolat, a csillogó napfény, a szörnyű radioaktív sugárzás, a kis mértékben hasznos ultraibolya sugarak, a kályha selymes melege, a mindenén átlátó röntgensugarak... A felsoroltak mind elektromágneses hullámok, amelyeknek közös a természete és azonos sebességgel terjednek a vákuumban. Akkor vajon miért különböznek ennyire a tulajdonságaik? Van közöttük valami alapvető különbség? Hogyan keletkeznek a különféle elektromágneses hullámok, és hol használják fel azokat? Megkíséreljük mindezt tisztázni.

1

Megvizsgáljuk az elektromágneses hullámok spektrumát

A különféle elektromágneses hullámok elsősorban frekvenciájukban, tehát hullámhosszukban is különböznek egymástól. Épp a frekvenciák különbségével magyarázható az a tény, hogy az elektromágneses hullámok egyes tulajdonságai

merőben eltérnek egymástól. Ha felsorakoztatjuk az összes ismert elektromágneses hullámot frekvenciájuk növekedésének sorrendjében (20.1. ábra), akkor láthatjuk, hogy frekvenciájuk 10^{16} -szorosán is eltérhet egymástól. Ez valóban nagy különbség. Így nem nehéz elképzelni, mekkora különbség lehet az elektromágneses hullámok tulajdonságaiban is.

A 20.1. ábrán látható elektromágneses hullámok spektruma szakaszokra van osztva, amelyek mindegyike különböző hosszúságú és frekvenciájú tartománynak (különböző típusú elektromágneses hullámoknak) felel meg. Az egyes tartományokba tartozó hullámoknak azonos a sugárzási módja, és hasonlóak a tulajdonságaik.

A **rádióhullámokat** – a rendkívül hosszú, több mint 10 km-es hullámoktól az ultrarövid és a 0,1 mm-nél rövidebb mikrohullámokig – váltakozó elektromos áram hozza létre.

Az **optikai tartományba eső elektromágneses hullámokat** gerjesztett atomok sugározzák. Ebben a tartományban megkülönböztetünk:

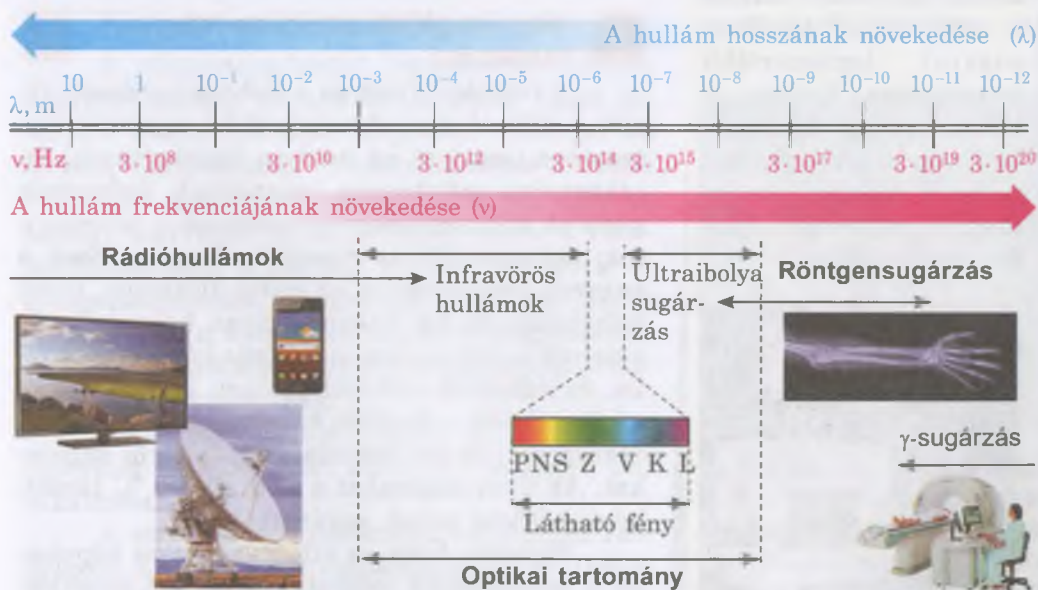
- *infravörös (hő-) sugárzást* (a hullámhossza 780 nm-től 1–2 mm-ig terjed);
- *látható fényt* (hullámhossza 400–780 nm);
- *ultraibolya sugárzást* (a hullámhossza 10–400 nm).

Röntgensugárzás (hullámhossza 0,01–10 nm) az elektronok hirtelen fékezésekor, valamint az atommag elektronburkának a belsejében végbemenő folyamatok hatására jön létre.

A **γ -sugárzást** (hullámhossza rövidebb 0,05 nm-nél) gerjesztett atommagok bocsátják ki radioaktív reakciók – atommagok radioaktív átalakulása és elemi részecskék átalakulása – során.



Figyeljétek meg az elektromágneses hullámok spektrumát (lásd a 20.1. ábra)! Szerintetek egyes szakaszok miért tartoznak két különböző elektromágneses hullámhoz?



20.1. ábra. Elektromágneses hullámok spektruma – a természetben létező elektromágneses hullámok frekvenciájának és hosszának folytonos sorozata



20.2. ábra. Mikrohullámú sütő – nagyfrekvenciájú (általában $2,45 \cdot 10^9$ Hz) rádióhullámokat alkalmazó berendezés

A teljes spektrumból az emberi szervezet számára legmegszokottabb az *infravörös sugárzás*. A 7 és 14 μm közötti hosszúságú hullámok megfelelnek az emberi test sugárzásának, és kimondottan pozitívan hatnak a szervezetre. Az ilyen sugarak legismertebb természetes forrása a Földön a Nap, legismertebb mesterséges forrása pedig a kályha, amelynek a hősugárzását minden ember ismeri.



2 A rádióhullámok alkalmazása

A rádiótartományba eső elektromágneses hullámokat elsősorban a következő célokra használják fel: mobiltelefon-kapcsolat, rádió- és televíziós adások sugárzásának megvalósítása, különböző objektumok érzékelése, felismerése és vizsgálata (rádiólokáció), emberek és járművek helyzetének meghatározása (GPS-navigáció, GPS-monitoring), úrberendezésekkel történő kapcsolattartás (20.2. ábra).

A rádióhullámok kényelmesebbé változtatják az emberek életét. Nem érezzük azokat, noha hatással vannak az emberek és állatok általános állapotára, minél rövidebbek a hullámok, annál kifejezőbben reagál rájuk a szervezet.

Az erős elektromágneses hullámok negatív hatással vannak az emberre. Az orvosok azt állítják, hogy a mobiltelefon – veszélyes elektromágneses sugárforrás, annál is inkább, mivel gyakran van közel az ember agyához és szeméhez. Az agy, a látó- és hallószervek szövetei elnyelik a hullámokat, amelyek energiát adnak le nekik. Ez idővel az ideg-, belsőelválasztású mirigy, szív- és érrendszer elváltozásaihoz vezethet.

3 Megvizsgáljuk az infravörös sugárzást

A rádióhullámok és a látható hullámok között található az *infravörös (hő-) sugárzás* tartománya, amelyet az iparban festékrétegek, fa, takarmány szárítására használnak. Infravörös sugarak felhasználásával működnek a távirányítók, automatizált és riasztórendszerek. Ezek a sugarak nem terelik el az ember figyelmét, mivel láthatatlanok. De léteznek olyan berendezések, amelyek a láthatatlan infravörös képeket érzékelik, és láthatóvá alakítják át őket. Így működnek a hőérzékelők – éjjellátó készülékek, amelyek érzékelik a 3–15 μm hosszúságú infravörös sugarakat. Az ilyen sugarakat a -50 és 500 $^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékletű testek sugározzák ki.

Érdekes, hogy az állatvilág egyes képviselői is rendelkeznek sajátos „éjjellátó készülékkel”, amely képes az infravörös sugarak érzékelésére (20.3., 20.4. ábrák).

4 Megismerkedünk az ultraibolya sugárzással

A látható fénnel és az infravörös sugárzással ellentétben az *ultraibolya sugárzás* nagy *kémiai aktivitással* rendelkezik, ezért a levegő fertőtlenítésére használják kórházakban és közösségi terekben.

Az ultraibolya sugárzás fő természetes forrása a Nap. A Föld légköre részlegesen feltartóztatja az ultraibolya sugarakat: a 290 nm-nél rövidebbeket (nagy energiájú ultraibolya) az ózonréteg fogja fel, a 290–400 nm közötti hosszúságúakat (puha ultraibolya) elnyeli a széndioxid, a vízpára és az ózon.

Nagy mértékben az ultraibolya sugárzás káros az ember egészségére (20.5. ábra). Hogy csökkentsék a napon történő leégés és bőrbetegségek kialakulásának az esélyét, az orvosok nem javasolják a napon való tartózkodást nyáron 10 és 13 óra között, amikor legintenzívebb a napsugárzás. Az ultraibolya sugárzás azonban kis mennyiségben jó hatással van az emberre, mivel elősegíti a D-vitamin termelődését, erősíti az immunrendszert, serkenti a szervezet számos fontos életfunkcióját.

5 Röntgen- és γ -sugárzás

A *röntgensugárzást* legszélesebb körben a gyógyászatban alkalmazzák, *mivel képes áthatolni a nem átlátszó tárgyakon* (például az emberi szervezeten). A csontszövetek kevésbé átlátszóak a röntgensugarak számára, mint az emberi szervezet egyéb szövetei, ezért a röntgenfelvételeken a csontok tisztán látszanak. A röntgensugarakat az iparban (gyártási hibák észlelésére), a kémiában (elegyek vegyelemzése) és a fizikában (kristályszerkezetek vizsgálatára) is használják.

A röntgensugárzás pusztító hatással van a szervezet sejtjeire, ezért különösen óvatosan kell alkalmazni.

A még nagyobb áthatolási képességgel rendelkező γ -sugárzást a defektoszkópiában (anyagok rejtett hibáinak a kimutatására), a mezőgazdaságban és élelmiszeriparban (élelmiszerek



20.3. ábra. A mélytengeri tintahalaknak a szokásos szemeken kívül termoszkópos látószerveik is vannak, amelyek a testük hátulján helyezkednek el és az infravörös sugarakat érzékelik



20.4. ábra. Az amerikai csörgőkígyónak szuperérzékeny, a két szeme közötti mélyedésben elhelyezkedő hőlokátora van



20.5. ábra. Az ultraibolya sugárzás különösen az emberi szem recehártyájára veszélyes, ezért magas hegyekben, ahol a légkör a legkevésbé nyeli el az ultraibolya sugarakat, feltétlenül napszemüveget kell viselni

sterilizálására) használják. A γ -sugárzás nagyon káros hatással van az emberi szervezetre, de a jól irányított és adagolt γ -sugárzást a rákos sejtek elpusztítására használják.



Összegzés

Elektromágneses hullámok spektruma – a természetben létező elektromágneses hullámok frekvenciájának és hosszának folytonos sorozata.

A sugárzás módjai alapján megkülönböztetünk: rádióhullámokat (változó elektromos áram hozza létre); optikai tartományba eső elektromágneses hullámokat (infravörös (hő-) sugárzás), látható fényt, ultraibolya sugárzást (gerjesztett atomok sugározzák); röntgensugárzást (elektronok hirtelen fékezésekor jön létre); γ -sugárzást (gerjesztett atommagok bocsátják ki). A különféle tartományú elektromágneses hullámok eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek, ezért különböző módon hatnak az emberre, és eltérő a felhasználási területük.

Az elektromágneses hullámok mindegyik típusa azonos sebességgel terjed a vákuumban. A hullám frekvenciájának növekedésével (hosszának csökkenésével) nő az elektromágneses sugárzás áthatoló képessége és kémiai aktivitása.



Ellenőrző kérdések

1. Soroljátok fel az általatok ismert elektromágneses hullámok típusait!
2. Mi a közös az összes elektromágneses hullámban? Miben különböznek egymástól?
3. Hogyan változnak az elektromágneses hullámok tulajdonságai frekvenciájuk növekedésével?
4. Soroljátok fel az elektromágneses hullámok felhasználásának néhány példáját!
5. Hogyan zárható ki egyes elektromágneses hullámok negatív hatása az emberi szervezetre?



20. gyakorlat

1. Helyezzétek el az elektromágneses hullámokat a hullámhossz növekedésének sorrendjében: 1) látható fény; 2) ultraibolya sugárzás; 3) rádióhullámok; 4) röntgensugárzás!
2. Feleltessétek meg a sugárzó berendezéseket és az általuk sugárzott elektromágneses hullámokat!

1 Mobiltelefon	A γ -sugárzás
2 Fűtőtest	B Röntgensugárzás
3 Szentjánosbogár	C Infravörös sugárzás
4 Radioaktív elem	D Látható fény
	E Rádióhullámok
3. A sárga fény hullámhossza a vákuumban 570 nm. Milyen ennek a hullámnak a frekvenciája?
4. Milyen az elektromágneses hullám hossza a vákuumban, ha frekvenciája $3 \cdot 10^{12}$ Hz? Melyik tartományba tartozik ez a hullám?
5. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjete meg valamely berendezéssel, amelynek a működési elve az elektromágneses sugárzáson alapul!
6. A hangot visszaverő akadályig a távolság 68 m. Mennyi idő múlva hallja meg az ember a visszhangot, ha a hanghullám a levegőben terjed?



21. §. A MODERN DRÓTNÉLKÜLI KOMMUNIKÁCIÓS ESZKÖZÖK FIZIKAI ALAPJAI. RÁDIÓLOKÁCIÓ

Visszatérve az elektromágneses hullámok spektrumához (lásd a 20.1. ábrát), láthatjuk, hogy annak legnagyobb részét a rádióhullámok foglalják el. Mivel ezeknek a hullámoknak a frekvenciája jelentősen eltérő, ezért eltérőek a tulajdonságaik is. A rádióhullámokról részletesebben a felső tagozatos osztályokban tanulhattok, ezért most az *ultrarövid* (néhány centimétertől néhány méterig) *rádióhullámok* felhasználásával fogunk megismerkedni.

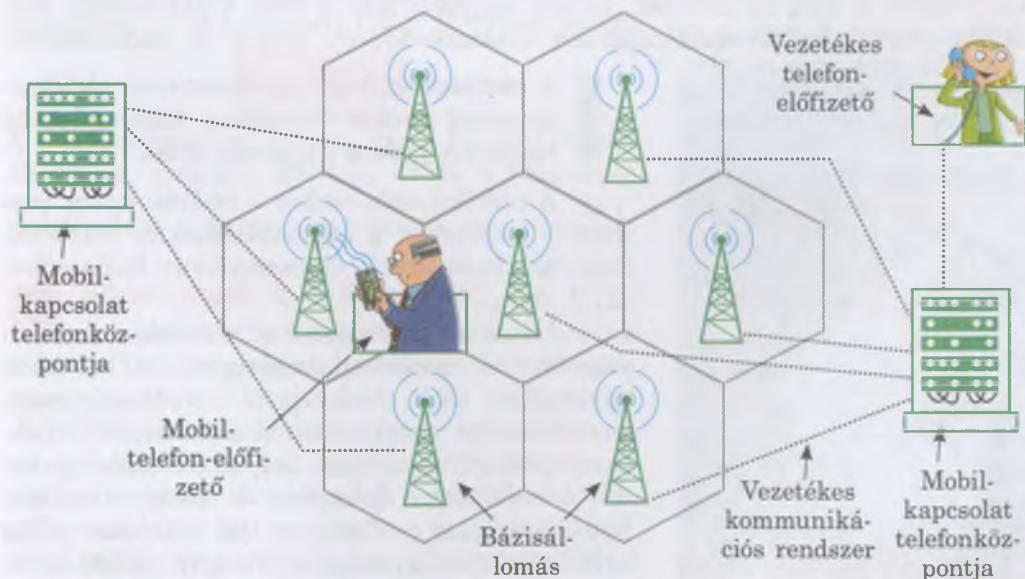
1 Tisztázzuk az ultrarövid rádióhullámok terjedési sajátosságait

Tulajdonságaik alapján az ultrarövid rádióhullámok nagyon közel állnak a fénysugarakhoz: az egyenes látás határain belül terjednek, vékony nyalábok formájában küldhetők. Ezek a tulajdonságok tették lehetővé az ultrarövid rádióhullámok széles elterjedését a rádiólokációban, vezetékek nélküli kommunikációban, műholdas televíziózásban. A keskeny sugár kevésbé szóródik (ami kisebb teljesítményű adóállomások felhasználását teszi lehetővé), egyszerűbb fogni őket.

2 Megtudjuk, miért nevezik a mobil rádiókapcsolatot cellakapcsolatnak

A **cellás felépítésű hálózat** a mobil rádiókapcsolat egyik fajtája, amelynek alapját a cellák alkotta hálózat képezi.

A cellás hálózatban a 450 és 3000 MHz közötti frekvenciájú elektromágneses hullámokat használják. Az ilyen hálózat fő jellegzetessége az, hogy a teljes lefedendő területet cellákra (hatszög alakú részekre) osztják. Az egyes



21.1. ábra. A cellás felépítésű hálózat főbb elemei: mobiltelefon, bázisállomás, telefonközpontok

cellák területe közel 25 km^2 és minden cellát egy-egy bázisállomás sugároz be. A cellák – részben átfedve egymást – alkotják a hálózatot (21.1. ábra).

Mindnyájan tudjátok használni a mobiltelefont. Tisztázzuk, hogyan is jön létre a mobilkapcsolat. Amikor bekapcsoljátok a telefont, az elkezd „letapogatni” az étert, és keresi annak a *bázisállomásnak* a jelét, ahol jelenleg tartózkodtok. Ezek után a telefon rádiójelet sugároz – elküldi az állomásra az azonosító kódját. Ettől kezdve a telefon és az állomás kapcsolatban van egymással, periodikusan információt cserélnek egymással.

Mivel nem mindig tartózkodtok egy helyen, és idővel egy másik cella területére kerültök, a telefonotok felveszi a kapcsolatot a másik cella bázisállomásával. A cellák részlegesen átfedik egymást, ezért nem észlelitek, hogy másik bázisállomás szolgál ki benneteket. Ha viszont a telefon nem találja a közeli állomást, amelynek leadhatná az azonosító kódját, akkor a kapcsolat megszakad, és a kijelzőn megjelenik a hálózat hiányára utaló jelzés.

A fent leírt folyamatokat a *telefonközpontok* vezérlik, amelyek a bázisállomásokkal vannak vezetékes kapcsolatban. A telefonközpont követi a mobiltelefonotok helyét, biztosítja a kapcsolatot a többi bázisállomással abban az esetben, ha a telefonotok mozgásban van. Ezeken a központokon keresztül jön létre a kapcsolat a többi hálózattal: felhívhatjátok a másik mobilhálózat által kiszolgált barátotokat, telefonálhattok vezetékes telefonra, használhatjátok az internetet.

3 Megvizsgáljuk a rádiólokációt

A rádióhullámok tulajdonságát, hogy visszaverődnek a fémekről, Hertz fedezte fel. Idővel kiderült, hogy az elektromágneses hullámok bármilyen testről visszaverődnek. Ennek a jelenségnek a sajátossága, hogy minél jobban vezeti a test az áramot, annál nagyobb lesz a róla visszaverődő hullámok energiája. *A rádióhullámok visszaverődésén alapul a rádiólokáció.*



21.2. ábra. A radar működési elve

A **rádiólokáció** az objektumoknak rádióhullámokkal történő felderítése, felismerése és helyzetük pontos meghatározása.

A rádiólokációs eszköz – **rádiólokátor (radar)** – sugározza a rádióhullámokat, majd felfogja az objektumról visszaverődött hullámokat (21.2. ábra).

Ha a rádióhullámokat minden irányban vagy széles nyalábben sugározzák, akkor azok egyidejűleg több objektumról verődnek vissza, és lehetetlen meghatározni a vizsgált objektum, például repülőgép helyzetét. Ezért a radar a hullámokat irányított és keskeny nyalábben sugározza, a visszavert jel érzékelése pedig arról tanúskodik, hogy a vizsgált objektum a rádióhullámok terjedésének az irányában van (21.3. ábra).

A rádiólokátor működésének két fő üzemmódját különböztetik meg. *Kereső (pásztázó) üzemmódban* a rádiólokátor antennája állandóan a teret pásztázza (például vízszintesen forog, és ezzel egyidejűleg le-fel mozog). *Megfigyelő (követő) üzemmódban* az antenna folyamatosan a kiválasztott objektumra irányul.

4 Megtudjuk, hogyan működik a rádiólokátor

A lokátor által küldött rádiójelek rövid időtartamúak (a másodperc milliomod részét teszik ki), de erőteljes rádióhullám-impulzusok. Mihelyt az impulzus elindult, az antennavezérlő leállítja az adót, és bekapcsolja a vevőt: a radar „hallgatja” az étert – várja a visszavert jelet. A vevő nagyon érzékeny (a visszavert rádiójel viszonylag gyenge), ezért az impulzus sugárzásának idejére kikapcsolják, hogy tönkre ne menjen a berendezés.

Bizonyos idő (az impulzus idejénél jelentősen hosszabb idő) elteltével az antenna újból adásra kapcsol, és a radar küldi a következő impulzust.

Az objektum s távolságát a rádióimpulzus t haladási ideje határozza meg, amely alatt megtette az utat a célig, majd vissza, a vevőig. Mivel az elektromágneses hullámok terjedési sebessége gyakorlatilag megegyezik a fény c sebességével a vákuumban ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), ezért:

$$s = \frac{c \cdot t}{2}$$

A t időintervallum nagyon kicsi. Például, ha az objektum távolsága 120 km, akkor a visszavert rádióhullám 0,8 ms alatt tér vissza $\left(t = \frac{2s}{c}\right)$.

5 Alkalmazzuk a rádiólokációt

A radarokat a hadsereg számára hozták létre az ellenség repülőgépeinek felderítésére (21.4. ábra).

Felhasználását idővel más ágazatokra is kiterjesztették. A mai légi eszközök, tenger- és óceánjáró hajók okvetlenül fel vannak szerelve radarral. A navigátor viharban a radar segítségével találja meg a felhők vagy jéghegyek közötti szabad átjárót, kerüli el a hajókkal való összeütközést, pontosítja az útirányt, meghatározza a hajó pontos helyét (21.5. ábra).



21.3. ábra. Az ultrarövid rádióhullámok keskeny irányított nyalábjának a sugárzását és a visszaverődött jel felfogását a radar parabola-antennája végzi



21.4. ábra. A modern „repülő” radar az ellenséges repülőgépet 540 km-es távolságban is felderíti



21.5. ábra. Tengerjáró hajó radarja

A repülőtereken lévő radarállomások segítik a repülőgépek földet érését, a part mentén telepített állomások pedig a hajók biztonságos révbe (kikötőbe) érését segítik.

A rádiólokációt *tudományos kísérletekben, a metrológiában (méréstanban), mező- és erdőgazdaságban* is felhasználják. Segítségével alkotják meg a földfelszín domborzati térképét, vizsgálják a növénytakaró sűrűségét, derítik fel az erdőtüzeket, határozzák meg a talaj összetételét.

A rádiólokációnak fontos szerepe van az *űrkísérletekben*. Az űrhajók kilövése és landolása lehetetlen radarok nélkül. Rádiólokáció segítségével pontosították a Hold, Vénusz és Mars távolságát a Földtől. A Vénusz műholdjaira szerelt radarok segítségével hatoltak át a bolygó sűrű felhőin és derítették fel annak domborzatát.



Összegzés

Az utóbbi időben elterjedt az ultrarövid tartományba tartozó hullámok felhasználása: speciális antennákkal vékony nyalábban irányíthatók, amely nem szóródik szét, és ez lehetővé teszi kevésbé erős rádióadók felhasználását. Ultrarövid rádióhullámokat használnak a mobiltelefonos rendszerekben, a műholdas televíziózásban, rádiólokációban.

A cellás felépítésű hálózat a mobil rádiókapcsolat egyik fajtája, amelynek alapját a cellák alkotta hálózat képezi.

A rádiólokáció az objektumok rádióhullámmal történő felderítése, felismerése és helyzetük pontos meghatározása. A radar keskeny, irányított rádióhullám-nyalábot hoz létre, és felfogja az objektumról visszavert rádióhullámokat.

Az objektum távolságát a rádióimpulzus haladási ideje határozza meg, amely alatt megtette az utat a célig, majd vissza, a vevőig: $s = \frac{ct}{2}$.



Ellenőrző kérdések

1. Mi az ultrarövid rádióhullámok fő előnye? 2. Mit nevezünk cellás felépítésű hálózatnak? 3. Mi a rádiólokáció? Min alapul a működési elve? 4. Jellemezzétek a radar működési elvét! 5. Hogyan határozzák meg rádiólokáció segítségével az objektum pontos helyzetét (távolságát, irányát)? 6. Hol használják a rádiólokációt?



21. gyakorlat

1. Milyen távolságra van az objektum, ha a róla visszaverődött jel elindítása után $20 \mu\text{s}$ után érkezik meg?
2. A radar $6 \cdot 10^8$ Hz frekvencián működik. Milyen hosszúságú rádióhullámokat sugároz?
3. Az ultrarövid hullámok sajátosságai (gyakorlatilag nem verődnek vissza az ionoszféráról, energiájuk csak a Föld felszínének közelében csökken érezhetően, keskeny nyalábban irányíthatók) tették lehetővé felhasználásukat a műholdas televíziózásban. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjete meg a műholdas televíziózással!
4. A radarállomások felhasználása az ellenséges harci eszközök (repülőgépek, hajók) felderítésében a haditechnika láthatóságának csökkentésére inspirálta a tervezőket. Így jött létre a *stealth (lopakodó) technológia*. Kiegészítő forrásanyagok felhasználásával tudjátok meg, sikerült-e legalább részlegesen „elbújtatni” a katonai gépeket! Ha igen, akkor hogyan?

A Föld felszínének távérzékelése

A Föld felszínének távérzékelése a Földnek a fölötté nagy magasságban keringő berendezések (műholdak, repülőgépek) segítségével történő megfigyelése és tanulmányozása. Miért van erre szükség?

Technológiai szemszögből a távérzékelés legegyszerűbb felhasználása az időjárás-előrejelzés, amelynek adatait szinte mindenki felhasználja.

A televíziós időjárás-előrejelzést általában úrfelvételekkel mutatják be (1. ábra). De nem csak a képernyőn látható színes felvételekre van szükség az előrejelzés elkészítéséhez.

A műhold nem képes lefényképezni egyszerre a Föld teljes felszínét. Ahogy a gépkocsi fényszórói is csak az utat tudják bevilágítani, az útpadka pedig sötétben marad, a műholdak a Föld körül keringve csak egy meghatározott sávját „látják” bolygónknak. Ennek a sávnak a szélessége 7 és 1500 km között váltakozik, és a megfigyelés szükséges pontosságától függ: minél részletesebb a kapott információ, annál keskenyebb a sáv.

A következő körnél a műhold a szomszédos sávot „vizsgálja”, és így tovább. Egyesítve néhány sávról kapott adatokat, a Föld nagyobb részéről kapható kép, például országunkról (2. ábra).



1. ábra. Televíziós időjárás-előrejelzés műholdfelvételek segítségével

A műhold az információt vevőantennáknak továbbítja; a kapott információt feldolgozzák, és szokványos fényképekké alakítják át. Utána az adatokat a meteorológusoknak továbbítják, akik az úrfelvételeket és a földi megfigyelés eredményeit figyelembe véve összetett matematikai modellek alapján elkészítik a hőmérséklet és a légkör állapotának előrejelzését egy napra, hétre, hónapra...

A Föld felszíni állapotának elemzéséhez műholdak teljes „flottáját” használják. Ezek nagyobb része a szemmel érzékelhető elektromágneses hullámok tartományából gyűjt adatokat, de vannak olyanok is, amelyek a földfelszín pásztázását centiméteres vagy egy méternél nagyobb hosszúságú elektromágneses nyalábokkal végzik.

A műholdaktól kapott információk feldolgozásával különböző szervezetek foglalkoznak; országunkban az ilyen szervezetek munkáját az Ukrán Állami Űrügynökség koordinálja.

Időjárás-előrejelzésen kívül az űrből kapott adatokat a hóta-
karó állapotának az elemzésére, árvizek előrejelzésére, erdőtüzek, szárazság, földrengés felderítésére, a várható termés megbecsülésére és sok egyébre is használják. Például, hogy elkerüljék az összeütközést a jéghegyekkel, a hajóskapitányoknak fontos tudniuk azok helyzetét. Ezeket az adatokat az űrből kaphatják meg.



2. ábra. Ukrajna műholdas térképe

A Mechanikai és elektromágneses hullámok CÍMŰ III. RÉSZ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. Tanultatok a mechanikai hullámokról és azok típusairól.

MECHANIKAI HULLÁMOK

Mechanikai hullám – rezgések terjedése rugalmas közegben

Anyagátvitel nélküli
energiaátvitel

Hullámforrás –
rezgő test



Hosszanti

A részecskék a hullám terjedésének
irányára mentén rezegnek



Közeg összenyomása
és széthúzása

Keresztirányúak

A részecskék a hullám terjedési irá-
nyára merőlegesen rezegnek



A közeg rétegeinek viszonylagos el-
mozdulása

2. Megismertették a mechanikai hullámokat jellemző fizikai mennyiségeket, és kiderítették a közöttük lévő kapcsolatot.

FIZIKAI MENNYISÉGEK

A hullám frekven-
ciája $[v] = 1 \text{ Hz}$

A hullám terjedési
sebessége $[v] = 1 \text{ m/s}$

A hullám hossza
 $[\lambda] = 1 \text{ m}$

Egyenlő a hullám forrá-
sának frekvenciájával

Egyik közegből a másikba történő átmenet
során változik

A hullám képlete: $v = \lambda v$

3. Megismerkedtek a hanghullámokkal, és tisztázták, hogy a hanghul- lámok – meghatározott frekvenciájú hosszanti mechanikai hullámok.

HANGHULLÁMOK

Infrahang
(1 mHz – 20 Hz)

Negatív hatást gyako-
rol az ember egészsé-
gére

Tiszta hang
(20 Hz – 20 kHz)

A hang magasságát a hang-
hullám frekvenciája határozza
meg;
hangerőt – az amplitúdó

Ultrahang
(20 kHz felett)

A gyógyászatban, defek-
toszkópiában, echoloká-
cióban használják

4. Megtudtátok, hogy Maxwell elméleti kutatásai és számos kísérlet bizonyította az *elektromos és mágneses terek közötti megbonthatatlan kapcsolatot*. Ezek a terek alkotják az *egységes elektromágneses teret*.

ELEKTROMÁGNESES TÉR

az anyag létezésének formája, amely a töltött részecskék és testek, valamint a mágneses testek közötti kölcsönhatást valósítja meg

Az elektromágneses tér megjelenési formái

Elektromos tér

Mágneses tér

A változó elektromos tér mágneses teret hoz létre;
a változó mágneses tér elektromos teret hoz létre

5. Megtudtátok, hogy a természetben léteznek *elektromágneses hullámok*, megismertétek a *különböző tartományokba* tartozó elektromágneses hullámok tulajdonságait és felhasználásuk példáit.

ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK

Változó elektromágneses tér terjedésének folyamata a térben

Az elektromágneses hullámok egyes általános tulajdonságai

Azonos
sebességgel
terjednek
a vákuumban:
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Visszaverődnek a
vezetők felszínéről,
miközben a beesési
szög egyenlő a visz-
szaverődési szöggel

Megtörnek
két
dielektrikum
határán

A hullám hossza
és frekvenciája kö-
zötti összefüggést
a *hullám képlete*
fejezi ki: $c = \lambda \nu$

Az elektromágneses hullám frekvenciája növekszik, hossza csökken

Rádió- hullá- mok	Optikai tartomány			Röntgen- sugárzás	γ -sugárzás
	infravörös sugár- zás	látható fény	ultraibolya sugár- zás		

Csökken az áthatoló képesség, erősödik a kémiai aktivitás

6. Tisztáztátok, hogy az ultrarövid rádióhullámok keskeny nyalámban történő terjedésén és az akadályokról való visszaverődésén alapul a *rádiólokáció* – az *objektumok rádióhullámmal történő felderítése, felismerése és helyzetük pontos meghatározása*. Az objektum s távolságát a rádióimpulzus t haladási ideje határozza meg, amely alatt megtette az utat a célig, majd vissza a vevőig:

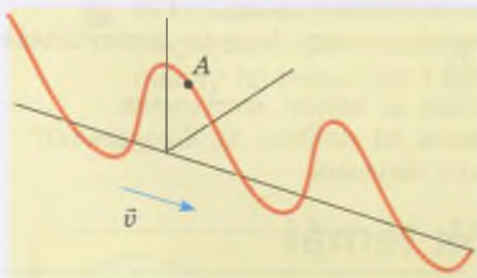
$$s = \frac{ct}{2}$$

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK A Mechanikai és elektromágneses hullámok CÍMŰ III. RÉSZHEZ

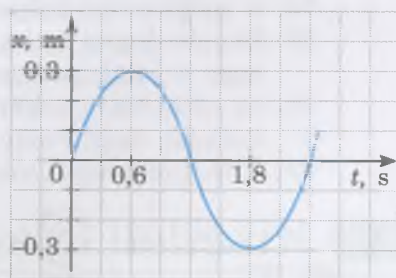
Az 1–8. feladatok csak egy helyes választ tartalmaznak.

1. (1 pont) A mechanikai hullámok melyik tulajdonságán alapul az echolókáció?
 - a) anyagátvitel nélküli energiaátvitel;
 - b) hullám visszaverődés;
 - c) a hullám hosszának függése a környezettől;
 - d) a hullám amplitúdójának változása a forrástól mért távolság növekedésével.
2. (1 pont) Milyen közegben terjednek a keresztirányú mechanikai hullámok?
 - a) folyadékbán;
 - b) vákuumban;
 - c) bármilyen közegben;
 - d) szilárd testben.
3. (1 pont) Melyik állítás hamis?
 - a) Hosszanti mechanikai hullámok nem terjednek szilárd testekben.
 - b) Mechanika hullámok a vákuumban nem terjednek.
 - c) A fény – elektromágneses hullám.
 - d) A hang – mechanikai hullám.
4. (1 pont) Melyik objektum szolgálhat mechanikai hullám forrásaként?
 - a) gyorsuló mozgást végző töltött részecske;
 - b) rezgő test;
 - c) egyenletes mozgást végző test;
 - d) mozdulatlan mágneses test.
5. (1 pont) Az állandó mágnes az egyenletesen mozgó villamos ülésén fekszik. A felsorolt megfigyelők melyikéhez viszonyítva jön létre az elektromágneses tér mágneses összetevője?
 - a) a villamoson közlekedő jegykezelő;
 - b) a szemben jövő gépkocsi utasa;
 - c) az út mentén álló gyalogos;
 - d) a villamos után azonos sebességgel közlekedő autóbusz vezetője.
6. (2 pont) Amikor a hullám másik közegbe megy át, akkor *nem* változik:
 - a) a hullám amplitúdója;
 - b) a hullám hossza;
 - c) a hullám frekvenciája;
 - d) a hullám terjedési sebessége.
7. (2 pont) Melyik természeti jelenség esetén *nem* jön létre mechanikai hullám?
 - a) szivárvány;
 - b) villám;
 - c) földrengés;
 - d) szél.
8. (2 pont) A felhőkarcolótól 170 m-re áll egy ember. A kezéből a járdára esik egy kisebb fémtárgy. A tárgy földre érése után milyen idő múlva hallhatja meg az ember a visszhangot?
 - a) 0,5 s;
 - b) 1 s;
 - c) 2 s;
 - d) 4 s.

9. (2 pont) Milyen távolságra van az objektum, ha a róla visszaverődött rádióhullám a kisugárzás után $2 \mu\text{s}$ múlva érkezett vissza?
10. (3 pont) Feleltessétek meg a vevőkészülékeket és az általuk érzékelt elektromágneses hullámokat!
- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Éjjellátó készülék | A γ -sugarak |
| 2. Parabolaantenna | B Rádióhullámok |
| 3. Emberi szem | C Infravörös sugárzás |
| | D Látható fény |
11. (3 pont) A kifeszített zsinóron terjed a hullám (1. ábra). Milyen irányba mozog az A pont a rajzon rögzített időpontban?
12. (3 pont) A golyó sebessége 680 m/s . Mennyivel gyorsabban ér a golyó az 1360 méterre lévő céltáblához, mint a lövés hangja?
13. (3 pont) Amikor a méh virágporért repül, másodpercenként átlagosan 180 szárnycsapást végez. Amikor visszatér a kaptárba, szárnycsapásainak a száma másodpercenként 280 -ra nő. Hogyan mutatkozik ez meg az általunk hallott hangban?
14. (4 pont) Mekkora a hanghullám hossza a levegőben, ha a hangforrás 5100 rezgést végez percenként? Milyen ennek a hullámnak a hossza a vízben?
15. (4 pont) A mechanikai hullámforrás rezgésgrafikonja (2. ábra) segítségével határozzátok meg a hullám rezgésének periódusát és frekvenciáját! Milyen a hullám hossza, ha terjedési sebessége 20 m/s ?
16. (4 pont) A 6 m hosszú rádióhullámok a vákuumból olyan közegbe mennek át, amelyben a terjedési sebességük $1,5$ -szer kisebb, mint a vákuumban. Határozzátok meg a rádióhullám frekvenciáját és hosszát!



1. ábra



2. ábra

A feleleteket a könyv végén találjátok. Jelöljétek meg a helyes válaszokat, és számoljátok össze az elért pontszámot, majd az összeget osztjátok el hárommal! A kapott szám jelenti a tudásszinteteket.



A gyakorló tesztfeladatokat megtalálhatjátok az *Interaktív tanulás* című honlapon.

Projektek ajánlott témái

1. Hangok az ember életében.
2. Az infra- és ultrahangok felhasználása a technikában.
3. Rezgés és zaj – a szervezetre gyakorolt hatásuk.
4. Elektromágneses hullámok a természetben és a technikában.
5. Az elektromágneses sugárzás hatása az ember szervezetére.
6. A zajártalmak típusai. A zajszint mérése. A zaj szervezetre mért hatásának vizsgálata.
7. Hangszerek mint különböző hanghullámok forrásai.

Referátumok és beszámolók témái

1. A víz felszínén létrejövő hullámok mechanizmusa.
2. A csodálatos visszhang.
3. Mik az akusztikus rezonátorok, és hol használják őket?
4. A Doppler-hatás és alkalmazása a járművek sebességének mérésében.
5. Férfi, női és gyerekhangok: hogyan, és miért különböznek egymástól?
6. Zajvédelmi eszközök a nagyvárosokban.
7. Ultrahangos kavitáció.
8. Ultrahang felhasználása a technikában.
9. Infrahang keletkezése az óceánban.
10. A hanghullámok vizualizálása.
11. Rádióhullámok az életünkben.
12. A rádió feltalálásának története.
13. Elektromágneses szmog.
14. A rádiólokáció felhasználása a csillagászatban.
15. Doppler-hatás a csillagászatban, avagy hogyan bizonyították be, hogy a galaktikák szétesnek?
16. Az ultraibolya sugárzás hatása az emberi szervezetre.
17. Röntgen vagy Puljuj: ki fedezte fel elsőként az X-sugarakat?
18. A fényjelenségek kutatásának története.

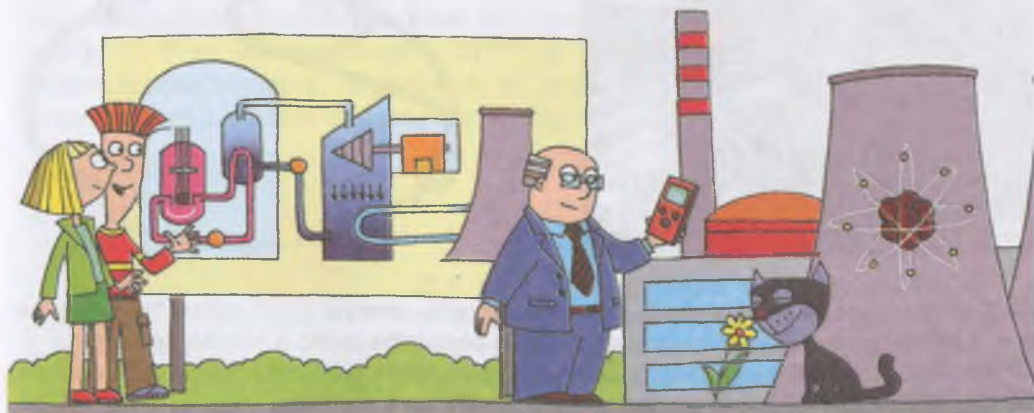
Kísérleti feladatok témái

1. Különböző hangforrások előállítása és akusztikai tulajdonságaik vizsgálata.
2. Annak vizsgálata, hogy miként függ a hangmagasság a hangforrás által keltett hullámok rezgési frekvenciájától.
3. A mechanikai hullámok víz felszínén történő visszaverődésének, törésének és interferenciájának vizsgálata.

IV. RÉSZ

AZ ATOM ÉS ATOMMAG FIZIKÁJA. AZ ATOMENERGETIKA FIZIKAI ALAPJAI

- Már tudjátok, hogyan működik a hőerőgép, most megtudhatjátok, hogyan működik az atomreaktor
- Hallottátok, hogy a radioaktív sugárzás káros, most megtudhatjátok, hogyan gyógyít
- Tudjátok, hogy az élet a Földön nem létezhet napenergia nélkül, most megtudhatjátok, honnan „veszi” a Nap az energiáját
- Tudjátok, hogy az egymemű töltések taszítják egymást, most megtudhatjátok, mikor vonzzák egymást
- Ki tudjátok számítani, mennyi hő termelődik 1 kg fa elégetése során, ezután ki tudjátok számítani, mennyi hő termelődik 1 kg urán „elégetésekor”



22. §. AZ ATOM MAI MODELLJE. AZ ATOMMAG PROTON-NEUTRON MODELLJE. MAGERŐK. IZOTÓPOK

A fizika mint tudomány több mint 2500 éves múltra tekint vissza, de csak a múlt században történt meg, hogy tekintélyes fizikus tudósokból kormányok tanácsadói lettek. A fizikusok száma több százszorosára emelkedett, fizikai műszereket és berendezéseket előállító hatalmas gyárak épültek (22.1. ábra). Ez elsősorban a *magfizika* – az *atommag felépítésével, tulajdonságaival, az atommagokban lezajló folyamatokkal, valamint az atommagok átalakulásának mechanizmusával foglalkozó tudomány* – eredményei idézték elő. Ebben a paragrafusban részletesebben megismerkedhetek az atommal és az atommaggal.

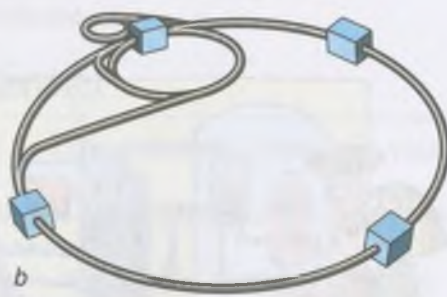
1 Megismerkedünk Rutherford kísérletével

A XIX. század folyamán a tudósok kísérletei bebizonyították, hogy az atomnak bonyolult a felépítése. A fizikusok tisztában lettek azzal, hogy az atomban negatív töltésű elektronok vannak, de maga az atom semleges töltéssel rendelkezik.

Az 1908–1911-es években *Hans Geiger* (1882–1945) kísérleti fizikus és *Ernest Marsáén* fiatal aspiráns (1889–1970) *Ernest Rutherford* (22.2. ábra) angol tudós vezetésével az atom felépítésének a tisztázására kísérletsorozatot végzett. A kísérletek során a tudósok olyan anyagot használtak, amelyből nagy sebességű pozitív töltésű részecskék, úgynevezett α -részecskék repültek ki.

A α -részecskék nyalábját ólomtokból vékony aranyfóliára irányították, amely onnan egy cink-szulfiddal bevont ernyőre került (22.3. ábra). Amikor az α -részecskék eltalálták az ernyőt, a becsapódás helye gyengén felvillant. A tudósok mikroszkóppal figyelték az ernyőt, és a felvillanásokat regisztrálták.

A kísérletek eredményeképpen kiderült, hogy az α -részecskék túlnyomó többsége csekély irányváltoztatással halad át a fólián. Azonban nagyjából minden 20 000-ből egy részecske gyakorlatilag visszapattan a fóliáról, mintha abban valami áthatolhatatlan akadály lenne (22.4. ábra).



22.1. ábra. A jelenlegi legnagyobb részecskegyorsító, amelyet 2008 őszén üzemeltet be: *a* – a berendezés részlete; *b* – vázlat. Méretei bámulatba ejtők: a részecskék egy 26 km hosszú gyűrűben gyorsulnak fel. Az európai államok összefogásához volt szükség ahhoz, hogy megépíthessék ezt a technikai csodát

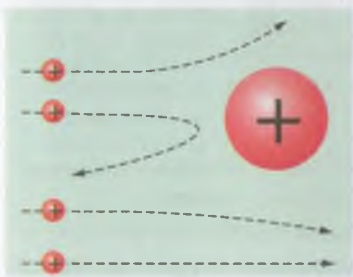
Nyilvánvaló, hogy Rutherford nem láthatta az atom belső szerkezetét, így kénytelen volt saját logikájára hagyatkozni. Ha a pozitív töltés és a tömeg egyenletesen oszlik el az atom térfogatában (ez volt akkoriban a legelterjedtebb elképzelés az atom szerkezetéről), akkor minden α -részecskének irányváloztatás nélkül kell áthaladnia a fólián, mivel az energiájuk hatalmas (ahhoz hasonlítható, mintha labdát dobnánk pókhálóba).

Ha a pozitív töltés az atomon belül kis térfogatrészben koncentrálódik, amelyet „üres” tér vesz körül, akkor az α -részecskékkel történő bombázás arra hasonlít, mint amikor teniszlabdával messziről dobunk célba póznához rögzített konzervdobozra. A dobások csak egy igen kis hányada ér célba, ilyenkor a labda visszapattan a dobozról, a többi labda pedig akadálytalanul repül tovább.

Érthető, hogy ez a második lehetőség sokkal inkább alátámasztja a kísérlet eredményeit. 1911-ben, a kísérletek elvégzése után Rutherford megalkotta az *atom magmodelljét*: az atom pozitív töltésű magból áll, amelyet negatívan töltött részecskék – elektronok – vesznek körül; az atom szinte teljes tömege a magban koncentrálódik.

 Szerintetek visszaverődött volna Rutherford kísérletében az α -részecske, ha a mag negatív töltésű lenne? Ha a mag tömege jóval kisebb lenne az α -részecske tömegénél?

Noha a magban koncentrálódik az atom majdnem teljes tömege, a mag mérete az atomhoz viszonyítva elenyészően kicsi (az atom átmérője 10^{-10} m, az atommagé – 10^{-15} m). Hogy jobban érzékelhessétek, képzeljétek el, hogy az atomot sikerült stadion nagyságúra felnagyítani.



22.4. ábra. Az atommagból különböző távolságra elrepülő α -részecskék pályája. Minél jobban megközelíti a magot az α -részecske, annál nagyobb mértékben tér el eredeti mozgáspályájától



22.2. ábra. Ernest Rutherford (1871–1937) kiváló angol tudós. Lerakta a radioaktivitás és az atomszerkezet elméleti alapjait, végrehajtotta az első magreakciót. Nobel-díjas (1908), a világ valamennyi tudományos akadémiajának tagja



22.3. ábra. Rutherford kísérletének vázlata

Természetesen az atommag is megnőtt. De mekkorára? A számítások azt mutatják, hogy ebben az esetben az atommag mérete a stadion fűvében mászó hangyáénak felelne meg.

A Rutherford által ajánlott atommagmodellt *Niels Bohr* (1885–1962) dán fizikus fejlesztette tovább. Ezen a modellen alapul az atom szerkezetének modern elképzelése (22.5. ábra).

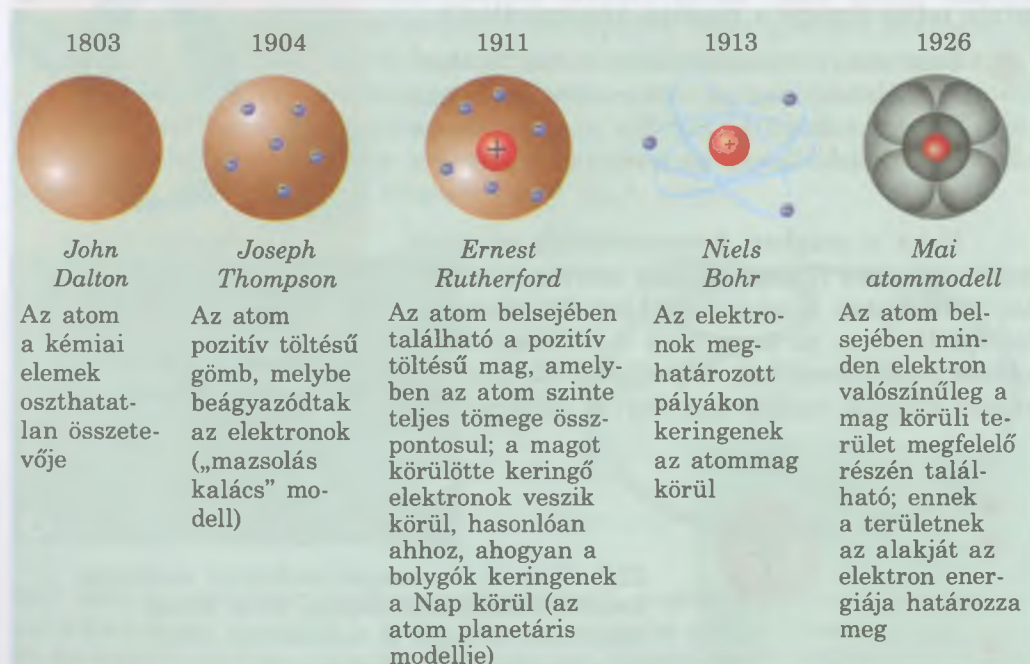
2 Felidézzük az atommag felépítését

A fizika és kémia tananyagából már tudjátok, hogy az atommag kétféle részecskét tartalmaz: pozitív töltésű **protonokat** és semleges **neutronokat**. A proton tömege nagyjából megegyezik a neutron tömegével, és körülbelül 2000-szerese az elektron tömegének. Az atommagot alkotó protonokat és neutronokat **nukleonoknak** (magrészecskék) nevezik. A protonok és neutronok számának összege az atom **tömegszáma**, amit A betűvel jelölünk.

Az atom elektromosan semleges, vagyis az atommag protonjainak össztöltése megegyezik az elektronok össztöltésével. Mivel az elektron és a proton töltésének abszolút értéke ugyanannyi, ez azt jelenti, hogy *az atomban a protonok és az elektronok száma egyenlő*.

Az atommag protonjainak számát az atom **rendszámának** nevezzük és Z betűvel jelöljük. A Mengyelejev-féle periódusos rendszerben az adott elem sorszáma megegyezik az *atommag protonjainak* számával.

Ha ismerjük az atom rendszámát (Z) és tömegszámát (A), egyszerűen meghatározhatjuk a *neutronok* számát (N) az atommagon belül: $N = A - Z$.



22.5. ábra. Az atommodell „evolúciója”

A **nuklid** olyan atomfajta, amelyet a rendszáma és tömegszáma határoz meg (22.6. ábra).

Hány protont és neutront tartalmaz az alumínium nuklidjának magja ($^{27}_{13}\text{Al}$)?

Ha különböző nuklidok azonos rendszámmal rendelkeznek, akkor kémiai tulajdonságaik megegyeznek – a nuklidok egy kémiai elemhez tartoznak.

Izotópoknak nevezzük azokat a kémiai elemeket, amelyek atommagjai azonos számú protonból, de eltérő számú neutronból épülnek fel („azonosak a helyük szerint”).

Minden kémiai elem több izotóppal rendelkezik (22.7. ábra).

Megismerkedünk az erős kölcsönhatással

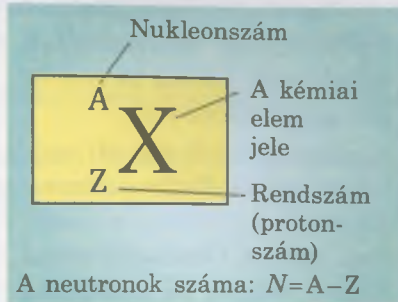
Azt már tudjátok, hogy az elektronok töltése negatív, és az elektromágneses kölcsönhatás következtében maradnak a pozitív atommag körüli pályán. De vajon hogyan lehetséges az, hogy az atommagban együtt maradnak a protonok, hiszen nagyon közel vannak egymáshoz, miközben az egynemű töltések taszítják egymást?

Bizonyított, hogy az atommagon belül minden részecske között vonzóerő lép fel, amelynek az ereje több százszorosán meghaladja a protonok elektromágneses taszításának erejét (22.8. ábra). Ezért kapta a nukleonok kölcsönhatása az **erős kölcsönhatás** nevet.

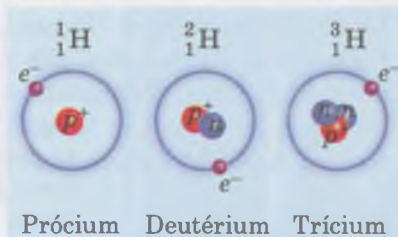
A protonok és neutronok között ható, az atommagok létezését biztosító erőket **nukleáris erőknek** (magerőknek) nevezzük.

A nukleáris erők főbb tulajdonságai:

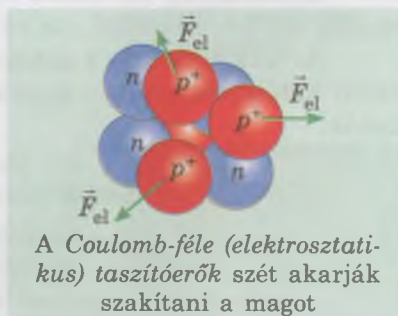
- 1) **kizárólag vonzóerők;**
- 2) **rövid hatótávolságúak:** a mérések azt mutatták, hogy a nukleonok közötti nukleáris



22.6. ábra. Kémiai elem nuklidjának jelölése



22.7. ábra. A természetben előforduló hidrogén-izotópok. Az e^- az elektronokat, a p^+ a protonokat, az n a neutronokat jelöli



22.8. ábra. Az atommag nukleonjai közötti kölcsönhatási erők

Az atommag szerkezetének felfedezését bátran nevezhetjük „nemzetközinek”.

A protont az új-zélandi születésű angol fizikus, *Ernest Rutherford* (1911), a neutron *James Chadwick* angol fizikus fedezte fel (1932). Az atommag proton-neutron felépítésének hipotézisét egymástól függetlenül a poltawai születésű szovjet tudós, *Dmitrij Ivancsenko* és *Werner Heisenberg* német tudós állította fel (1932). Attól az időtől fogva az atommag felépítésének modellje változatlan.

erők csak nagyon kis távolságon érvényesülnek (10^{-15} m);

3) *nem függenek a töltéstől*: azonos távolságon a két proton közötti, két neutron vagy proton és neutron között ható erők azonosak;

4) *telítettséggel* rendelkeznek: egy nukleon egy időben csak meghatározott számú szomszédos nukleonnal tud kölcsönhatásba lépni.



Összegezés

A Rutherford irányítása alatt elvégzett kísérletek eredményeképpen megalkották az atom magmodelljét, amely szerint a pozitív töltésű atommag igen kis – az atom teljes méretéhez képest elhanyagolható – térszében koncentrálnak az atomon belül.

Az atommag nukleonokból – protonokból és neutronokból – áll. Az atommag protonjainak száma (Z) megegyezik az atom

Mengyelejev-féle periódusos rendszerbeli sorszámaival, a nukleonok száma pedig a tömegszámmal (A).

A nuklid olyan atomfajta, amelyet meghatározott mennyiségű proton és meghatározott összmennyiségű neutron jellemez.

Izotópoknak nevezzük azokat a kémiai elemeket, amelyek atommagjai azonos számú protonból, de eltérő számú neutronból épülnek fel.

A nukleonokat a nukleáris erők tartják össze. A nukleáris erők rövid hatótávolságúak – a nukleon méreténél nagyobb távolságon nem észlelhetők.

Ellenőrző kérdések



1. Írjátok le Rutherfordnak az α -részecskék szóródására végzett kísérletét és annak eredményeit. 2. Milyen részecskékből áll az atom? Az atommag? 3. Mi a rendszám? Tömegszám? 4. Hogyan határozható meg a protonok és neutronok száma az atommagban? Mondjatok példát! 5. Mi a nuklid? 6. Milyen nuklidokat nevezünk izotópoknak? Soroljátok fel a hidrogén izotópjait! 7. Milyen kölcsönhatás tartja a nukleonokat a magban? 8. Mit nevezünk nukleáris erőknek? Mik a tulajdonságai?



22. gyakorlat

1. Hány proton, és hány neutron van az argon $^{40}_{18}\text{Ar}$ atommagjában?
2. Miben különböznek az $^{238}_{92}\text{U}$ és $^{235}_{92}\text{U}$ uránizotópok magjai?
3. A bóratom magja 5 protont és 6 neutront tartalmaz. Hány elektron van az atomban? Hány nukleon van az atommagban?

4. A következő kémiai elemek közül válasszátok ki azt, amelynek atomjában a legtöbb elektron található: Ca, Cu, Ge, Sb, P! Használjátok fel a Mengyelejev-féle periódusos rendszert!
5. Értékeljétek a mag egymástól 10^{-15} m távolságra lévő protonjai között ható nukleáris erő nagyságát!
6. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjétek meg Dmitro Dmitrovics Ivanenko ukrán tudós életével és tudományos munkásságával!



23. §. RADIOAKTIVITÁS. RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS

A XXI. században már aligha találunk olyan embert, akiről életében legalább egyszer ne készült volna röntgenfelvétel. A XIX. század végén egy emberi kézről készült felvétel járta be a világsajtót, amelyen jól láthatók voltak a kézfej csontjai (23.1. ábra). Akkoriban ez nagy szenzációnak számított a fizika világában, és a tudósok elkezdtek tanulmányozni a röntgensugarakat, keresni azok forrását. Az egyik ilyen tudós a francia *Henri Becquerel* fizikus (23.2. ábra) volt. Hogy milyen meglepő eredménnyel zárultak a kísérletei, megtudhatjátok ebből a paragrafusból.



23.1. ábra. Emberi kézfejről készült első röntgenfelvétel



1 Megismerkedünk radioaktivitás felfedezésével

A radioaktivitás tanulmányozása a röntgensugarak felfedezésével kezdődött, amiben a véletlennek is nagy szerepe volt.

A kísérleteknek lökést adott a tudósoknak az a feltételezése, hogy vannak olyan anyagok, amelyek napsugárzás hatására rövid ideig fénylenek és ezalatt röntgensugarak forrásává válnak*. Az ilyen anyagok közé sorolták az urán egyes sóit. Ezek egyikével kísérletezett Becquerel, aki a fenti feltételezést szerette volna ellenőrizni.

Tudva azt, hogy a röntgensugarak, a fénysugarakkal ellentétben, áthatolnak a fekete papíron, a tudós az uránsót fekete papírba csomagolt fényképezőlemezre** helyezte, majd néhány órára kitette a napra. Előhívás után azt tapasztalta, hogy a sókristály fekete



23.2. ábra. Henri Antoine Becquerel (1852–1908) francia fizikus, 1896-ban felfedezte az urán sóinak radioaktivitását

* Az ilyen sugárzást *fluoreszcenciának* nevezzük.

** Fényképezőlemez – fényérzékeny anyaggal bevont üveglap.

Albert Einstein a radioaktivitás felfedezését a tűz felfedezéséhez hasonlította, mivel úgy tartotta, hogy a tűz és a radioaktivitás egyaránt fontos mérőföldköve az emberiség történetének.



23.3. ábra. Maria Skłodowska-Curie (1867–1934) kétszeres Nobel-díjas lengyel származású francia fizikus és kémikus. Ilyen elismerésben a díj történetében összesen három tudós részesült



23.4. ábra. Pierre Curie (1859–1906) Nobel-díjas francia fizikus

körvonalai jelentek meg a lemezen. Kiderült tehát, hogy az uránsó olyan nagy erejű sugárzást bocsát ki, amely áthatol a fekete papíron, és hatást gyakorol a fényképezőlemezre.

Becquerel szeretne volna megismételni kísérleteit, és egy újabbat készített elő, amely kevéssel különbözött az elsőtől. Aznap azonban nem sütött a nap, azért a tudós a fényképezőlemez és a sókristályt egy közöttük lévő rézkeresztrel együtt a fiókjába tette. Néhány nap elteltével a tudós előhívatta a fényképlemezt, hogy lássa, mennyire gyengült a fluoreszcencia. Nagy meglepetésére a lemezen a kereszt képe jelent meg. A napfény hatásáról szó sem lehetett, az *urán sója külső tényezők nélkül, saját magától is láthatatlan* sugarakat bocsát ki, amelyeket a rézréteg sem gátolt meg!

Később a sugárzásnak ezt a típusát **radioaktív sugárzásnak** (lat. *radio* – sugárzó, *activus* – tevékeny, cselekvő), míg a jelenséget, hogy egyes anyagok radioaktív sugárzást bocsátanak ki, **radioaktivitásnak** nevezték el; az ilyen sugárzásra képes kémiai elemeket **radioaktív elemeknek** vagy **radionuklidoknak**.

2 Ismerjük meg a radionuklidokat

Vajon csak az urán sugároz úgynevezett Becquerel-féle sugarakat? – erre a kérdésre kereste a választ munkásságának kezdetén *Maria Skłodowska-Curie* (23.3. ábra). Alaposan megvizsgálva az akkor ismert kémiai elemeket, arra a következtetésre jutott, hogy ilyen tulajdonságai vannak a tóriumnak is. Ezenkívül Skłodowska-Curie és férje, *Pierre Curie* (23.4. ábra) két új radioaktív elemet is felfedezett: a rádiumot és a polóniumot.



Szerintetek mi inspirálta a házaspárt, hogy így nevezze el a felfedezett elemeket?

Idővel rájöttek, hogy a radioaktivitás a vegyi elemek minden olyan nuklidjára jellemző, melyek sorszáma nagyobb 82-nél ($Z > 82$). De a többi elemnek is van radioaktív nuklidja (mind a természeteseknek, mind a mesterségesen előállítottaknak).

3 Meghatározzuk a radioaktív sugárzás összetevőit

A radioaktív sugárzás természetének tanulmányozása során kiderült, hogy a radioaktív anyagok háromféle sugarat képesek kisugározni: pozitív töltésű részecskéket (α -sugárzás), negatív töltésű részecskéket (β -sugárzás) és semleges sugarakat (γ -sugárzás). A 23.5. ábra egy ilyen kísérlet vázlatát mutatja: a radioaktív sugárnyaláb először egy állandó mágnes erős mágneses terén halad át, majd fényképezőlemezre esik. Előhívás után a lemezen három sötét folt látható.

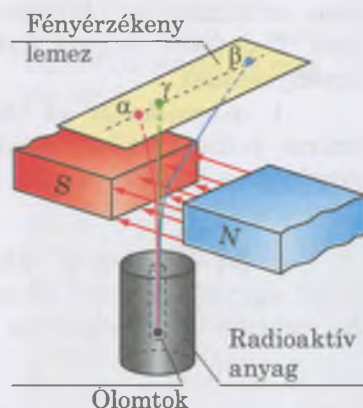
Idézzétek fel, milyen részecskék irányát tekintik az elektromos áram irányának, és a 23.5. ábra felhasználásával, valamint a balkéz-szabály segítségével győződjétek meg arról, hogy az α -részecskék pozitív töltésűek!

Az α -sugárzás kutatásához Rutherford járult hozzá a legnagyobb mértékben. A tudósnak az elsők között sikerült meghatároznia, hogy az α -sugárzás – a hélium atomjainak 10^7 m/s sebességű áramlása (${}^4_2\text{He}$). Az α -részecske töltése két elemi töltésnek felel meg: $q_\alpha = +2|e| \approx +3,2 \cdot 10^{-19}$ C.

Az α -sugárzáshoz hasonlóan a β -sugárzást is eltéríti a mágneses tér, de ellentétes irányba. Kiderült, hogy a β -sugárzás – nagy sebességű elektronok (${}^0_{-1}e$) áramlása (ez nagyjából a fény sebességével megegyező értékű).

Reméljük, nem lesz nehéz felírnotok a β -részecskék töltését és tömegét.

A γ -sugárzás kutatása során kiderült, hogy azok rendkívül magas frekvenciájú elektromágneses hullámok (több mint 10^{18} Hz). A hullámok terjedési sebessége a vákuumban $3 \cdot 10^8$ m/sc.



4 Védekezünk a radioaktív sugárzás ellen

Az emberek többségének a sugárzásról a vesztély szó jut eszébe. Ez indokolt. A radioaktív sugárzást nem érzékelik az ember érzékszervei, ugyanakkor ezek a sugárzások károsak az élő szervezetre. A radioaktív sugárzás káros hatásai ellen úgy védekezhetünk, ha akadályt állítunk a sugárzás terjedésének útjába.

Az α - és β -sugárzás ellen lehet a legegyszerűbb védekezni. Bár mind az α -, mind a β -részecskék igen nagy sebességgel haladnak, ezeket már egy igen vékony akadály is megállítja. A kísérletek azt bizonyítják, hogy az α -részecskék megállítására egy 0,1 mm vastag papírlap is

23.5. ábra. A radioaktív sugárzás természetének vizsgálata

A radioaktív sugarak típusai

α -részecskék – hélium-atommagok
 β -részecskék – gyors elektronok
 γ -sugarak – magas frekvenciájú (rövidhullámú) elektromágneses sugárzás

elegendő; a β -sugárzást pedig teljes egészében elnyeli egy 1 mm vastagságú alumínium-lemez (23.6. ábra).

Legnehezebb védekeznünk a γ -sugárzás ellen – ez a sugárzás elég vastag anyagon is képes áthatolni. Egyes esetekben a γ -sugarak megállításához néhány méter vastag betonfalra van szükség.

5 Meghatározzuk a radioaktivitást

A radioaktivitás tanulmányozása megmutatta, hogy a radioaktív sugárzás az atommagok bomlásának következménye. Ráadásul ez a bomlás spontán módon, azaz minden ok nélkül megy végbe, és lehetetlen azt meggyorsítani vagy lelassítani, nem függ a külső tényezőktől, így sem a nyomás, sem a hőmérséklet, sem az elektromos vagy mágneses tér, sem a fényviszonyok, sem pedig a kémiai reakciók nincsenek rá befolyással.

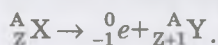
Radioaktivitás – a radionuklidok magjainak más elemek atommagjaivá történő, mikrorészecskék kisugárzásával kísért szabad átalakulásának képessége.

Az α - vagy β -részecskéket kibocsátva a kezdeti mag (*anyamag*) másik elem atommagjává (*leánymag*) alakul át; az α - és β -bomlást γ -sugárzás kísérheti. Tisztázott, hogy a radioaktív átalakulások során az *eltolódási szabályok* érvényesülnek.

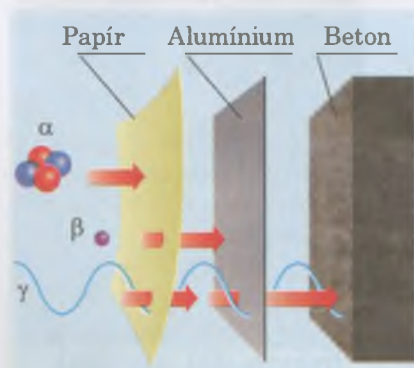
1. α -bomláskor az atommag nukleonjainak száma négygel, a protonok száma pedig kettővel csökken, ezért olyan új atommag keletkezik, amelynek rendszáma kettővel kisebb, mint a kiindulási elem rendszáma (23.7. ábra):



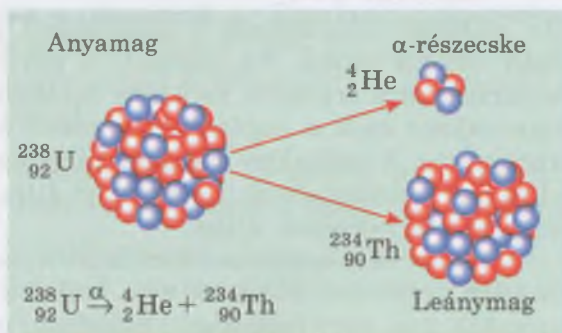
2. β -bomláskor a nukleonok száma nem változik, a protonok száma viszont eggyel nő, ezért olyan elem atommagja keletkezik, amely eggyel jobbra helyezkedik el a periódusos rendszerben a kiindulási elemtől (23.8. ábra):



Ismeretes, hogy a radon (${}_{86}^{222}\text{Rn}$) α -radioaktív. Melyik elem atommagja jön létre a radon α -bomlása során?



23.6. ábra. Radioaktív sugárzás elleni védekezés

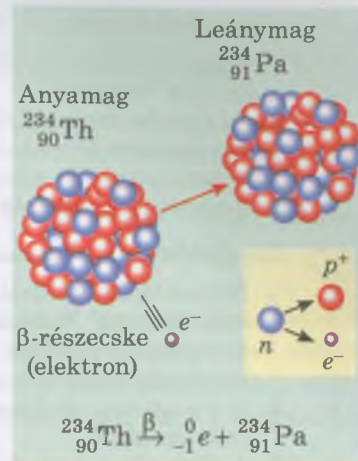


23.7. ábra. Az α -bomlás során az anyamag két részre bomlik: α -részecskére és leánymagra

* 6 Megismerkedünk a bomlási sorokkal

Lehet, hogy a középkori alkimisták álma arról, hogy bármely anyagból aranyat állítsanak elő, a radioaktivitás felfedezésével valóra vált? Valójában nem. A tudósok kiderítették, hogy a kiinduló X elem atommagja (anyamagja) egy sor átalakuláson megy át: az X elem atommagja az Y elem atommagjává, majd a Z elem atommagjává alakul át, és így tovább, azonban ebben az átalakulási láncban nem fordulhatnak elő véletlen „vendégek”.

Az izotópok összességét, amely egy adott anyamagból kiindulva egymást követő radioaktív átalakulások során keletkezik, **radioaktív bomlási sornak** nevezzük. Ilyen bomlási sort láthatunk a 23.9. ábrán. Kiderítették, hogy *összesen négy bomlási sor létezik*, amelyek egyesítik a természetben előforduló összes ismert radioaktív izotópot: tórium-sor (a tórium-232-vel kezdődik), urán-rádium-sor (az urán-238-cal kezdődik), urán-aktínium-sor (az urán-235-tel kezdődik); neptúnium sor (a neptúnium-237-tel kezdődik).



23.8. ábra. β -bomláskor az anyamag egyik neutronja protonná és elektronná alakul át; az elektron elhagyja a magot, a proton viszont ott marad (új mag jön létre)

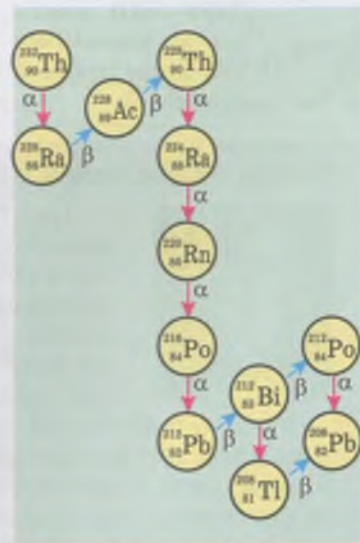


Összegezés

A radioaktív sugárzást Becquerel francia fizikus fedezte fel.

A természetben előforduló és mesterséges körülmények között létrehozott nuklidok túlnyomó része radioaktív: magjaik mikrorészecskéket kibocsátva spontán felbomlanak, és más magokká alakulnak át.

Radioaktív sugárzás típusa		
α -részecskék	β -részecskék	γ -sugarak
hélium atommagjainak áramlása	elektron-áramlás	elektromágneses hullámok
v_α nagyságrendje 10^7 m/s	v_β közel $3 \cdot 10^8$ m/s	$v_\gamma = c = 3 \cdot 10^8$ m/s
$q_\alpha = +2e$	$q_\beta = -e$	nincs töltésük
papírlap feltartja (0,1 mm)	alumínium-lemez feltartja (1 mm)	betonréteg feltartja (néhány méter)



23.9. ábra. A tórium bomlási sora. A sort a természetben megtalálható tórium-232 nyitja és a stabil (nem radioaktív) ólom-208 zárja

Ellenőrző kérdések



1. Hogyan fedezték fel a radioaktivitás jelenségét? 2. Soroljatok fel természetes radioaktív elemeket! 3. Írjátok le a radioaktív sugárzás természetét tanulmányozó kísérlet menetét! 4. Milyen típusú radioaktív sugárzást ismertek? 5. Milyen fizikai természete van az α -, β - és γ -sugárzásnak? 6. Hogyan védekezhünk a radioaktív sugárzás ellen? 7. Mi a radioaktivitás? 8. Mi történik az atommaggal az α -részecskék sugárzásakor? A β -részecskék sugárzásakor?

23. gyakorlat



1. Milyen típusú radioaktív sugárzás hatott Becquerel kísérletei során a fényérzékeny lemezre? Vizsgáljatok meg két esetet: a) uránsó apró darabkáját fekete papírra tették, amelybe fényérzékeny lemezt csomagoltak; b) uránsót rézkeresztre helyeztek, amelyet ezután fekete papírba csomagolt fényérzékeny lemezre tettek!
2. A γ -sugárzás hullámhossza a vákuumban 0,025 nm. Határozzátok meg a frekvenciáját!
3. A 23.9. ábra segítségével írjátok le néhány, a tórium-232 bomlási sorára jellemző bomlási egyenletet!
4. A rádium ($^{226}_{88}\text{Ra}$) természetes radioaktív bomlásakor az atommagja β -részecskét sugároz. Milyen elem magjává alakul át a rádium atommagja? Írjátok le a reakcióegyenletet!
5. Tudva, hogy a proton és neutron tömege megközelítőleg $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg, határozzátok meg az α -részecske tömegét! Milyen az α -részecske kinetikus energiája, ha mozgásának sebesség $1,5 \cdot 10^7$ m/s?
6. „Minden dolog méreg, ha önmagában nem is az; csupán a mennyiség teszi, hogy egy anyag nem méreg.” Ezt a reneszánsz kori híres orvos, *Paracelsus*, valódi nevén Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493–1541) mondta. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjátok meg, hogyan használható fel a káros radioaktív sugárzás a betegek gyógyítására!
7. Van 2 mol uránunk és 2 mol héliumunk. Hány atom van a két anyagmennyiségben?



Fizika és technika Ukrajnában



Ivan Pavlovics Puluj (1845–1918) – ukrán fizikus, elektrotechnikus, feltaláló. Wilhelm Röntgen előtt 14 évvel létrehozott egy olyan csövet, amely később a modern röntgenberendezések prototípusa lett. Puluj már jóval Röntgen előtt részletesebben elemezte az X-sugarak természetét és keletkezési mechanizmusát (később nevezték el azokat röntgensugaraknak), majd példaként mutatta be annak lényegét.

Puluj elsőként kezdett tervezni és összeállítani vákuumos berendezéseket, a többi között lumineszcens gázkisüléses lámpát. Az eszköz „Puluj-lámpaként” (Pulujlampe) került a köztudatba. A lámpa segítségével készített X-sugár felvételeket európai tudománynépszerűsítő kiadványokban úgy jellemezték, mint az X-sugarak orvosi alkalmazásának páratlan illusztrációját.

A tudós egyik találmánya az a szabadalmaztatott berendezés, amelynek a segítségével a váltóáramos vezetékrendszerben egyidejűleg telefonösszeköttetés is létrehozható.

Puluj nevét a Ternopili Nemzeti Műszaki Főiskola viseli. Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia Puluj ösztöndíjat alapított, amelyet az alkalmazott fizikában maradandót alkotó tudósok kaphatnak meg.

24. §. RADIOAKTÍV ANYAGOK AKTIVITÁSA. RADIOAKTÍV IZOTÓPOK ALKALMAZÁSA

Vajon tudható-e előre, hogy az egyes radioaktív anyagokban melyik mag bomlik el elsőnek? Melyik bomlik el utolsónak? A fizikusok szerint ezt lehetetlen meghatározni: a radionuklidok magjainak bomlása véletlenszerű. Viszont a radioaktív anyagok viselkedése nagy általánosságban szigorú törvényszerűségek alapján történik.

1 Megismerkedünk a felezési idővel

Ha egy edénybe bizonyos mennyiségű radon-220-at zárunk, bizonyos idő elteltével, nagyjából 56 s múlva azt tapasztaljuk, hogy az edényben lévő radon mennyisége a felére csökkent. Még 56 s múlva a radon mennyisége újból megfeleződik, és így tovább. Ezért az 56 másodperces időintervallumot a radon-220 *felezési idejének* nevezzük.

A **felezési idő** $T_{1/2}$ a radioaktív anyagokat jellemző fizikai mennyiség, amely azzal az idővel egyenlő, amely alatt a radioaktív atommagok mennyisége a felére csökken.

A felezési idő mértékegysége a SI rendszerben a **másodperc**:

$$[T_{1/2}] = 1 \text{ s.}$$

Minden radioaktív anyagnak saját felezési ideje van (lásd a táblázatot).

A minta $6,4 \cdot 10^{20}$ jód-131 atomot tartalmaz. Hány jód-131 lesz a mintában 32 nap múlva?

2 Meghatározzuk a radioaktív forrás aktivitását

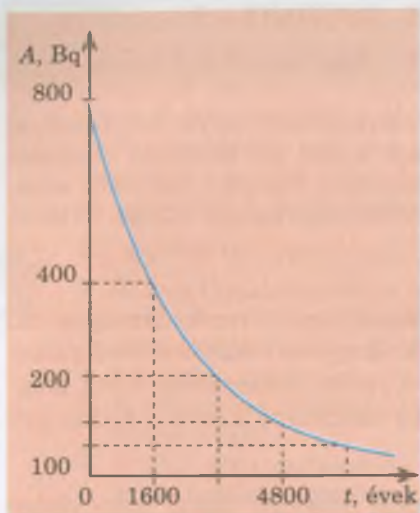
Az urán-238 és rádium-226 α -radioaktív (magjaik spontán α -részecskékre és leánymagra eshetnek szét). Ha az urán-238 és rádium-226 atomjainak a száma egyenlő, akkor melyik magból repül ki 1 s alatt több α -részecske?

Reméljük, hogy helyesen feleltetek a kérdésre, figyelembe véve, hogy az említett radionuklidok felezési ideje majdnem 3 milliószorosán eltér, és meghatározótok, hogy ugyanannyi idő alatt a rádiumban sokkal több α -bomlás történik, mint az uránban.

Az időegység alatt bekövetkezett bomlások számát jellemző fizikai mennyiséget a **radioaktív forrás aktivitásának** nevezzük.

Egyes radioaktív izotópok felezési ideje

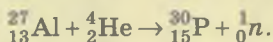
Radionuklid	Felezési idő $T_{1/2}$
Jód-131	8 nap
Szén-14	5700 év
Kobalt-60	5,3 év
Plutónium-239	24 ezer év
Rádium-226	1600 év
Radon-220	56 s
Radon-222	3,8 nap
Urán-235	0,7 mrd év
Urán-238	4,5 mrd év
Cézium-137	30 év



24.1. ábra. A rádium-226 aktivitás időfüggése. A rádium-226 felezési ideje 1600 év

A mesterséges radioaktív izotópok feltalálásának története

Az első mesterséges radioaktív izotópot ($^{30}_{15}\text{P}$) 1934 elején állította elő a *Frederic és Iren Joliot-Curie* házaspár. Az alumíniumot α -részecskékkel bombázva megfigyelték a neutronok kisugárzását, amikor a következő radioaktív reakció ment végbe:



Enrico Fermi olasz fizikus nevét számos kiemelkedő tudományos eredmény tette híressé. De a legnagyobb elismerést – a Nobel-díjat – a tudós a mesterséges radioaktivitás felfedezéséért kapta, amelyet az anyag neutron általi besugárzásával hozott létre. Napjainkban ezt a módszert használják az iparban radioaktív izotópok előállítására.

A radioaktív forrás aktivitásának jele A ; **mértékegysége a SI rendszerben – becquerel.**

1 Bq annak a radioaktív forrásnak az aktivitása, amelyben 1 s alatt 1 bomlási esemény történik:

$$[A] = 1 \text{ Bq} = 1 \frac{\text{bom}}{\text{s}} = 1 \text{ s}^{-1}.$$

1 Bq igen kis aktivitás, ezért használják még a *SI mértékegységen kívüli másik egységet*, a **curie-t** (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}.$$



Mely tudósok tiszteletére nevezték el az említett mértékegységeket? Milyen felfedezéseket tettek?

Ha a minta csak egy radionuklid atomjait tartalmazza, akkor a minta aktivitása a következő képlettel határozható meg:

$$A = \lambda N,$$

ahol N – a mintában az adott pillanatban lévő radionuklidok atomjainak száma; λ – bomlási együttható (a radionuklidot jellemző fizikai mennyiség, amelynek az összefüggését a felezési idővel a következő képlet adja meg: $\lambda = \frac{0,69}{T_{1/2}}$; $[\lambda] = 1 \text{ s}^{-1}$).

Mivel a forráson belül a még el nem bomlott atomok száma idővel csökken, ezért az adott anyag aktivitása is csökken (24.1. ábra).

3

Megismerkedünk a radioaktív izotópok alkalmazásával

Ha valamilyen objektum radionuklidot tartalmaz, arról a sugárzása árulkodik. Már tisztáztuk, hogy a sugárzás aktivitása a radionuklidok fajtájától és mennyiségétől függ, ami idővel csökken. Ezen alapul a mesterségesen előállított radioaktív izotópok felhasználása. Napjainkra minden természetben található kémiai elemnek előállították a mesterséges izotópját.

A radioaktív izotópok felhasználásának két iránya van.

1. *Radioaktív izotópok felhasználása indikátorként.* A radioaktivitás egy sajátos mérce, amelynek a segítségével kimutatható egyes elemek jelenléte, megfigyelhető az elemek viselkedése fizikai és biológia folyamatokban (lásd pl. a 24.2. ábrát).

2. *A radioaktív izotópok γ -sugárzás forrásaként történő felhasználása* (lásd pl. a 24.3. ábrát).

Megvizsgálunk még néhány példát.



Radioaktív izotópok alkalmazása betegségek diagnosztizálására

Az ember belső szervei képesek felhalmozni szövetekben egyes kémiai elemeket. A pajzsmirigyben halmozódik fel a jód, a csontokban a foszfor, a kalcium és a stroncium, a májban egyes festékanyagok. A felhalmozódás gyorsasága a szervezet egészségétől függ. A basedow-kórban szenvedő embereknél pajzsmirigy túlműködés áll be, ezért a jód nagyon gyorsan felhalmozódik benne.

A jód felhalmozódásának ütemét γ -radioaktív jódiotóp segítségével lehet meghatározni. Mivel a radioaktív és a nem radioaktív jód kémiai tulajdonságai ugyanolyanok, a radioaktív jód-131 izotóp felhalmozódásának sebessége megegyezik a nem radioaktív jód felhalmozódásának sebességével.

Ha a pajzsmirigy működése rendben van, a szervezetbe radioaktív jódot juttatva bizonyos idő elteltével a γ -sugárzás erőssége optimális körüli értéket mutat. Ha azonban a pajzsmirigy működése eltér a normálistól, a γ -sugárzás erőssége vagy rendellenesen alacsony, vagy rendellenesen magas lesz.

Hasonló módszereket alkalmaznak az anyagcsere vizsgálatára, rosszindulatú daganatok kimutatására a szervezetben.

Érthető, hogy a magfizikai módszerek alkalmazásakor nagyon kell figyelni a radioaktív készítmények helyes adagolására, hogy a belső besugárzás ne károsítsa az ember szervezetét.



24.2. ábra. Hogy tisztázzák, miként hasznosítják a foszfor alapú műtrágyákat a növények, a műtrágyához radioaktív foszfor izotópot adagolnak, majd megvizsgálják a növények radioaktivitását, amely során kimutatják a felvett foszfor mennyiségét

Radioaktív kobalt izotóp



24.3. ábra. γ -sugárzás alkalmazása daganatos betegségek gyógyítására. Hogy a γ -sugarak ne károsítsák az egészséges sejteket, néhány gyenge, a daganatra irányított γ -sugarat használnak



24.4. ábra. A fiatal fából kinyert 1 g szén aktivitása 14–15 Bq (14–15 β -részecskét sugároz másodpercenként). 5700 évvel a fa elpusztulása után a β -bomlások másodpercenkénti száma a felére csökken



24.5. ábra. A legelterjedtebb gyógyászati eszközöket – fecskendőket, vérátömlesztő rendszereket – a felhasználóhoz juttatás előtt γ -sugárzással alaposan sterilizálják

5 Régi tárgyak kormeghatározása

A Föld légkörében található bizonyos mennyiségű β -radioaktív szén $^{14}_6\text{C}$, amely nitrogénből jön létre neutronokkal történő radioaktív kölcsönhatás eredményeként. Ezt az izotópot a növények a szén-dioxiddal (CO_2) együtt elnyelik, majd általuk az állatokba kerül. Amíg az állat vagy növény él, a radioaktív szén mennyisége a szervezetükben állandó marad. Miután elpusztulnak, a radioaktív szén mennyisége csökkenni kezd, amivel együtt csökken a β -sugárzás aktivitása is. Ismerve a szén $^{14}_6\text{C}$ felezési idejét (5700 év), meghatározható az ásatások leleteinek a kora (24.4. ábra).

6 Alkalmazzuk a γ -sugárzást műszaki célokra

Különleges jelentőségük van a *gamma-defektoszkópoknak*. Ezek az eszközök alkalmasak például hegesztési varratok minőségének ellenőrzésére. Ha egy kapu hegesztése során a szakember hibát vétett, bizonyos idő elteltével a kapu leeshet. Ez természetesen kellemetlen, de helyrehozható. De mi van akkor, ha a hiba egy híd vagy egy magreaktor építése során következik be. A tragédia elkerülhetetlen. Annak köszönhetően, hogy a tömör acél és az üreges acél különbözőképpen nyeli el a γ -sugárzást, a gamma-defektoszkóp „látja” a hegesztési hibákat, tehát azok már az építés folyamán kimutathatóak.

7 Mikroorganizmusokat semmisítünk meg radioaktív sugárzással

Ismeretes, hogy bizonyos sugárdózis elpusztítja az élő szervezeteket. Azonban vannak az ember számára káros élő szervezetek. Az orvosok folyamatosan vizsgálják, miként lehetne felvenni a harcot a kórokozó mikroorganizmusokkal. A kórházakban speciális anyagokkal mossák fel a padlót, a helyiségeket ultraibolya sugarakkal fertőtlenítik, az orvosi eszközöket csírátlantítják. Ezeket a tevékenységeket fertőtlenítésnek és sterilizációnak nevezzük.

A sterilizáció folyamatának ipari alapokra helyezésében fontos szerepe volt a γ -sugárzás alkalmazásának (24.5. ábra). A sterilizációt

megbízható sugárvédelemmel ellátott speciális létesítményekben végzik. A γ -sugarak forrásaként kobalt ($^{60}_{27}\text{Co}$) és cézium ($^{137}_{55}\text{Cs}$) mesterséges izotópjait használják.

8 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. Határozzátok meg a rádium-226 tömegét, ha aktivitása 5 Ci. A rádium-226 radioaktív bomlási együtthatója $1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$.

A fizikai probléma elemzése, matematikai modell felállítása

A feladat megoldásához felhasználjuk az aktivitás képletét: $A = \lambda N$. Ismerve az aktivitást, meghatározzuk a rádium atomjainak N számát. Az anyag tömegét az $m = N \cdot m_0$ képlet segítségével kapjuk meg.

A kémiából tudjátok, hogy:

a) 1 mol anyag $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ számú atomot tartalmaz;

• b) az atom tömege $m_0 = \frac{M}{N_A}$, ahol M – az anyag mólömege (a tömeg 1 mol).

Adva van:

$$A = 5 \text{ Ci} = 5 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$$

$$M = 226 \text{ g/mol} =$$

$$= 226 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

Meghatározzuk:

m — ?

Megoldás

$$m = N \cdot m_0, \text{ ahol } m_0 = \frac{M}{N_A}, \text{ tehát, } m = N \cdot \frac{M}{N_A}.$$

$$\text{Mivel } A = \lambda N, \text{ ezért } N = \frac{A}{\lambda}.$$

Behelyettesítjük az N kifejezést a tömeg képletébe:

$$m = \frac{A}{\lambda} \cdot \frac{M}{N_A} = \frac{AM}{\lambda N_A}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységet, és kiszámítjuk a keresett mennyiséget:

$$[m] = \frac{\text{Bq} \cdot \text{kg/mol}}{\text{s}^{-1} \cdot \text{1/mol}} = \frac{\text{s}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}}{\text{s}^{-1} \cdot \text{1/mol}} = \text{kg}; \quad m = \frac{5 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)}.$$

Felelet: $m = 5,1 \text{ g}$.



Összegezés

A felezési idő $T_{1/2}$ azzal az idővel egyenlő, amely alatt a radioaktív atommagok mennyisége a felére csökken. A felezési idő a radioaktív anyagok jellemzője.

Azt a fizikai mennyiséget, amely az adott radioaktív forrásban végbemenő bomlások számával egyenlő, az adott forrás aktivitásának nevezzük. Ha a forrás csak egy radionuklid atomjait tartalmazza, akkor a forrás A aktivitását az $A = \lambda N$ képlettel számíthatjuk ki, ahol N a radioaktív radionuklid atomjainak száma, λ pedig az adott izotóp bomlási állandója. Az aktivitás mértékegysége az SI rendszerben a becquerel (Bq).

Idővel a radionuklidok aktivitása csökken, és ezt a tulajdonságukat a régészeti leletek életkorának a megállapításához használják. A mesterségesen előállított izotópokat az egyszer használatos orvosi eszközök sterilizálására, betegségek diagnosztizálására és gyógyítására, a fémekben lévő hibák felderítésére használják.



Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk felezési időnek? Mit jellemez ez a fizikai mennyiség?
2. Mi a radioaktív forrás aktivitása?
3. Mi az aktivitás mértékegysége a SI rendszerben?
4. Milyen összefüggés van a felezési idő és a bomlási állandó között?
5. Megváltozik-e az idővel a radionuklid aktivitása? Ha igen, akkor miért, és hogyan?
6. Mondjatok példákat a radioaktív izotópok felhasználására!



24. gyakorlat

1. Egyenlő mennyiségű jód-131, radon-220 és urán-235 magunk van. Melyik radionuklidnak legnagyobb a felezési ideje? Válaszokat magyarázzátok meg!
2. A mintában $2 \cdot 10^{20}$ jód-131 atom van. Határozzátok meg, hány jódatommag bomlik fel a mintában egy óra alatt! A jód-131 aktivitása a vizsgált időben állandó. A jód-131 bomlási együtthatója $9,98 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$.
3. A radioaktív szén-14 felezési ideje 5700 év. Hányszorosára csökkent a szénatomok száma a 17 100 évvel ezelőtt kivágott fenyőben?
4. Határozzátok meg a radionuklid felezési idejét, ha 1,2 s alatt a feleződött magok száma a kezdeti mennyiség 75%-a!
5. A radioaktív minta jelen pillanatban 0,05 mol radon-220-at tartalmaz. Határozzátok meg a radon-220 aktivitását a mintában!
6. Napjainkban az ember anyagcseréjének a vizsgálatában a legjelentősebb a radioaktív izotópokkal végzett vizsgálat. Kiderítették, hogy viszonylag rövid idő alatt a szervezet szinte teljesen megújul. Kiegészítő források felhasználásával tudjátok meg többet erről a vizsgálatról!

Fizika és technika Ukrajnában

Harkivi Fizikai-Műszaki Intézet Nemzeti Tudományos Központ – világszerte ismert fizikatudományi központ. Az intézményt 1928-ban alapították A. F. Joffe akadémikus kezdeményezésére mint Ukrán Fizikai-Műszaki Intézetet az atomfizika és szilárd testek fizikája témakörben végzett kutatások céljából.

Az intézet már 1932-ben jó eredményeket ért el a lítium-atom hasításának megvalósítása terén. Később a falai között laboratóriumi feltételek mellett folyékony hidrogént és héliumot állítottak elő, megépítették az első háromkoordinátás radart, elsőként végeztek kísérleteket nagy vákuumú technikával, amely lökést adott a vákuumos kohászat létrehozásához. A háború idején az intézet az atomenergia terén végzett kutatásokat.

Az intézményben az idők folyamán sok neves fizikus dolgozott: I. Obreimov, L. Landau, I. Kurcsatov, K. Szinelnikov, L. Subnyikov, O. Lejpuszskij, E. Lifsic, J. Lifsic, A. Valter, B. Lazarev, D. Ivanyenkov, A. Ahijezer, V. Ivanov, J. Fainberg, D. Volkov és mások. Az intézetben létrehozott tudományos iskolák az egész világon ismertek.

Az intézményben van a FÁK-országok legnagyobb teljesítményű elektrongyorsító berendezés és az Uragan termonukleáris komplexum.

A központ igazgatója *Mikola Fedorovics Sulga* akadémikus, neves ukrán fizikus.



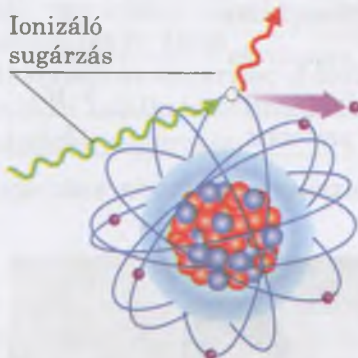
25. §. A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS IONIZÁCIÓS HATÁSA. TERMÉSZETES HÁTTÉRSUGÁRZÁS. DÓZISMÉRŐK

A radioaktív sugárzás veszélyes lehet az élő szervezetekre. Ebből a paragrafusból megtudjátok, miért van így, és milyen műszerekkel mérhető a sugárzás mértéke, melyik az a sugárzási szint, amelytől tartanunk kell, és mekkora a megengedett sugármennyiség.

1 Megismerkedünk az ionizáló sugárzás szervezetre gyakorolt hatásával

A radioaktív α -, β - és γ -sugárzás jelentős hatást gyakorol az élő szervezetekre. Amikor a radioaktív sugárzás behatol az anyagba, akkor átadja annak energiáját. Az energia elnyelésének következtében az anyag egyes atomjai vagy molekulái ionizálódhatnak (25.1. ábra). Ennek következtében megváltozik a kémiai aktivitásuk, új, rendkívül aktív vegyületek jönnek létre.

Egy szervezet működését a sejtjeiben lejátszó kémiai reakciók biztosítják, ezért a radioaktív sugárzás gyakorlatilag minden belső szerv működését károsítja: megnő az erek törékenysége és átteresztőképessége, csökken a szervezet ellenállóképessége, zavar áll be az emésztőszervek működésében, sérülnek a vérképző szervek funkciói, a normális sejtek rosszindulatúvá alakulnak át.



25.1. ábra. Az ionizáló sugárzás energiájának elnyelése következtében az elektron elhagyja az atomot, és az atom pozitív ionná alakul át

2 Jellemezzük az ionizáló sugárzást

Érthető, hogy minél nagyobb az anyag által elnyelt energia mennyisége, annál nagyobb a sugárzás anyagra gyakorolt hatása.

Az anyag által elnyelt ionizáló W sugárzásnak és az anyag m tömegének arányát az **ionizáló sugárzás elnyelt dózisének** nevezzük (D):

$$D = \frac{W}{m}$$

Az elnyelt dózis mértékegysége a SI rendszerben a **gray** (Louis Gray angol fizikus tiszteletére (25.2. ábra)):

$$[D] = 1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$



25.2. ábra. Louis Harold Gray (1905–1965) – angol fizikus, a sugárzás élettani hatásainak kutatója, a radiobiológia megalapítója

*Egyes ionizáló
sugárzások veszélyességi
foka*

Sugárzás típusa	Veszé- lyességi fok (K)
α -sugárzás	20
β -sugárzás	1
γ -sugárzás	1
neutronok	5–10
protonok	5



25.3. ábra. Rolf Maximilian Sievert (1896–1966) svéd tudós. A nukleáris medicina területén tevékenykedett, a sugárzások biológiai hatását vizsgálta



25.4. ábra. A kigyók ellenállóak a sugárzással szemben. Egyes fajaik akár 150 Gy sugárzást is elviselnek

Az élő anyag által elnyelt sugárzási energia biológiai hatása függ az elnyelt sugárzás fajtájától is. Például az ugyanolyan energiamentiségű α -sugárzás sokkal nagyobb veszélyt jelent, mint a β - vagy γ -sugárzás.

Az ionizáló sugárzás elnyelt dózisének biológiai hatását jellemző fizikai mennyiséget **dózisegyenértéknek** nevezzük (H):

$$H = K \cdot D,$$

ahol D – az elnyelt sugárdózis; K – az adott sugárfajta veszélyességi fokát jellemző szorzó: minél nagyobb a szorzó, annál veszélyesebb a sugárzás (lásd a táblázatot).

A **dózisegyenérték mértékegysége a SI rendszerben – a sievert** (Rolf Sievert svéd tudós tiszteletére (25.3. ábra)):

$$[H] = 1 \text{ Sv.}$$

3 Megismerkedünk a sugárzás hatásának sajátosságaival

Az élő szervezetek sugárzás általi károsodásának több sajátossága van.

Mindenekelőtt az, hogy a sugárzásra a gyorsan osztódó sejtek a legérzékenyebbek. A radioaktív sugárzásra ezért a vérképző szerv, a csontvelő a legsérülékenyebb, aminek a következtében károsodik a vérképződési folyamat.

Másrészt, a különböző szervezetek sugárérzékenysége eltérő (25.4. ábra). Legkevésbé érzékenyek az egysejtűek.

Harmadsorban, ugyanazon elnyelt sugárdózis hatása függ a szervezet korától.

Megjegyezzük, hogy a külső sugárzáson kívül létezik a sokkal veszélyesebb belső besugárzás, mivel a radionuklidok – például étkezéssel, belélegzéssel – bekerülhetnek a szervezetbe. A belső besugárzás nagyobb veszélyességi foka az alábbi okokkal magyarázható.

Először is, egyes radioaktív atomok képesek felgyülemelni a belső szervekben. A jódból 30%-a például a pajzsmirigyben összpontosul,

amelynek tömege az emberi test tömegének csak 0,03%-a. A radioaktív jódot általában igen kis térfogatú testszövetnek adja le energiáját.

Másrészt, a belső besugárzás hosszú ideig tart: a szervezetbe bekerült radioaktív anyag nem ürül ki azonnal, előbb több átalakuláson megy át a szervezetben belül. Az átalakulásokat kísérő radioaktív sugárzás ionizálja a szervezet molekuláit, s ezáltal megváltoztatja biokémiai aktivitásukat.

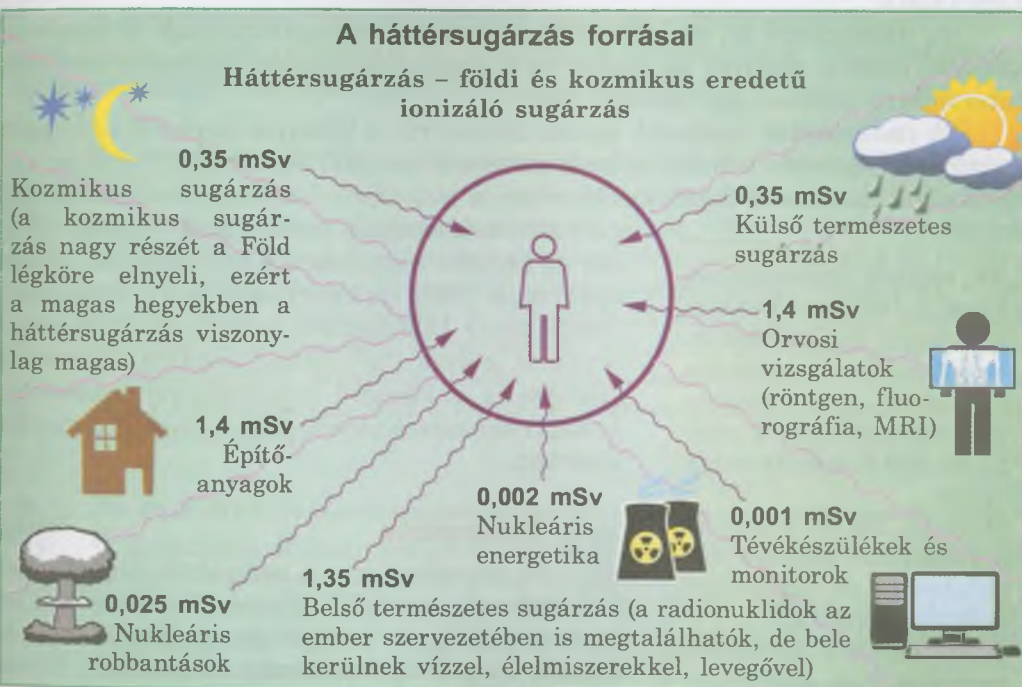
4 Megismerkedünk a háttérsugárzással

A Földön élő emberek mindegyike sugárzásnak van kitéve, mivel mindenütt jelen van egy bizonyos *mennyiségű háttérsugárzás* (25.5. ábra).

A Föld háttérsugárzása több összetevőből áll: kozmikus sugárzás; a földkéregben, levegőben és egyéb környezeti objektumokban található természetes radionuklidok sugárzása; mesterséges radioaktív izotópok sugárzása.

A kozmikus és a természetes radionuklidok sugárzása alkotja a **természetes háttérsugárzást**.

Az emberi tevékenységek eredményeként a Föld háttérsugárzása jelentősen megváltozott – a *háttérsugárzás technogén növekedése* figyelhető meg. Ilyen tevékenység példája lehet az olyan természeti kincsek kitermelése, amelyek nagy mennyiségben tartalmaznak radionuklidokat. Például nagy mennyiségű természetes radioaktív izotóp található a gránitban. A továbbiakban megvizsgáljuk, hogy ebből mi következik. A gránitkavics a beton egyik alkotóeleme,



25.5. ábra. Az embert különféle radioaktív forrásokból egy év alatt érő ionizáló sugárzás átlagos dózisegyenértéke

amit házak építésénél használnak. Tehát a magas háttérsugárzást elsősorban a betonépületek belsejében kell keresni, főként zárt helyiségekben, amelyeket ritkán szellőztetnek (a radon koncentrációja zárt helyiségekben általában nyolcszor magasabb, mint az épületen kívül).

1 Elemezzétek a 25.5. ábrát! Milyen forrásokból kapja az ember a legnagyobb sugármennyiséget? Szerintetek jelentős hatása van az atomenergia fejlődése által létrehozott sugárzásnak?

5 Megismerkedünk a dózismérővel

A földi élet folytonos radioaktív hatás mellett jött létre és fejlődött. Ezért a természetes háttérsugárzás jelentősen nem hat az ember életére és egészségére. A modern sugárbiológiai kutatások arról tanúskodnak, hogy az emberi szervezet által kapott 1–2 mSv sugárzásnak megfelelő éves adag veszélytelen a szervezetre nézve.

De a megengedett sugárzás szintjének csekély emelkedése is genetikai elváltozásokat okozhat, amelyek a gyerekeknél, unokáknál jelenik meg, akiket valójában nem is ért a sugárzás. A nagy sugárdózisok komoly szövetroncsolódást okozhatnak. Például, ha néhány óra alatt a szervezetet 1 Sv veszélyességi foknak megfelelő sugárdózis éri, veszélyes változások történnek a vérben, míg 3–5 Sv dózis az esetek 50%-ában halált okoz. Ezért a radioaktív sugárzásnak kitett munkahelyeken dolgozóknak, vagy azoknak, akik radioaktivitással szennyezett területen tartózkodnak, kötelező a **dózismérő** használata.

A **dózismérő** az ionizáló sugárzás annak a sugárdózisnak a mérésére szolgáló eszköz, amelyet az eszköz és a használója kapott meghatározott időintervallum, például egy műszak alatt.

A **radiométer** (második típusú dózismérő) a bizonyos forrásból származó radioaktív sugárzás intenzitásának mérésére szolgáló eszköz (25.6. a ábra).

Bármelyik dózismérő legfontosabb része a *detektor* – az ionizáló sugárzás regisztrálására szolgáló eszköz (25.6. b ábra). Amikor az ionizáló sugárzás a detektorba jut, abban elektromos jelek (áramerősség- vagy feszültségimpulzusok) keletkeznek, amelyeket a *mérőbe-
rendezés* leolvas. Az ionizáló sugárzás adatait a *kijelzőre* (a dózismérő képernyőjére) továbbítja; a sugárzás növekedését fény-, vagy hangjelzés kísérheti.

Az emberi szervezetben közel $3 \cdot 10^{-3}$ g radioaktív kálium és $6 \cdot 10^{-9}$ rádium található. Ennek hatására az ember szervezetében másodpercenként 6 ezer β -, és 220 α -bomlás megy végbe.

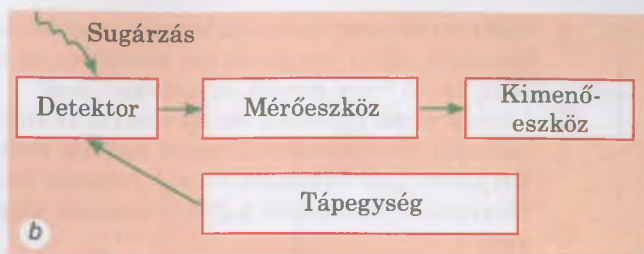
További 2500 β -bomlás a radioaktív szénnek köszönhetően is végbemegy másodpercenként.

Összességében az ember szervezetében másodpercenként 10 000 bomlási esemény történik.



Összegezés

Az anyagba jutva a radioaktív sugárzás leadja az energiáját. Ennek következtében az anyag egyes atomjai és molekulái ionizálódnak, megváltozik a kémiai aktivitásuk. Mivel a szervezetek életműködése a kémiai reakciókon alapul, a radioaktív sugárzásnak biológiai hatása van.



25.6. ábra. Háztartási dózismérők (radiométerek): a – külalak; b – szerkezeti vázlat

Az anyag által elnyelt ionizáló sugárzás W energiájának és az anyag m tömegének az arányát az ionizáló sugárzás elnyelt dózisének nevezzük (D): $D = W/m$

Az anyagba jutva a radioaktív sugárzás leadja az energiáját. Ennek következtében az anyag egyes atomjai és molekulái ionizálódnak, megváltozik a kémiai aktivitásuk. Mivel a szervezetek életműködése a kémiai reakciókon alapul, a radioaktív sugárzásnak biológiai hatása van.

Az ionizáló sugárzás biológiai hatása függ az elnyelt dózis nagyságától és a sugárzás jellegétől is; az ionizáló sugárzás elnyelt dózisének biológiai hatását jellemző fizikai mennyiséget dózisértéknek nevezzük (H): $H = K$, ahol K – az adott sugárfajta veszélyességi fokát jellemző szorzó.

A dózisérték mértékegysége a SI rendszerben a sievert (Sv). Az ionizáló sugárzás dózisének mérésére dózismérőt használnak.

A Föld felszínén bizonyos mértékű sugárzás – háttérsugárzás – figyelhető meg, amely kozmikus eredetű, és természetes radionuklidok, valamint mesterséges radioaktív izotópok sugárzásából tevődik össze.

Ellenőrző kérdések



1. Miben nyilvánul meg a radioaktív sugárzás biológiai hatása?
2. Fogalmazzatok meg az elnyelt dózis meghatározását! Mi az elnyelt dózis mértékegysége?
3. Hogyan számítják ki a dózisegyenértéket? Mi a mértékegysége a SI rendszerben?
4. Mik a radioaktív sugárzás jellegzetességei? Miért veszélyesek a szervezetbe került radionuklidok?
5. Soroljátok fel azokat az okokat, amelyeknek köszönhetően, függetlenül lakhelyetektől, radioaktív hatásnak vagytok kitéve!
6. Mit nevezünk háttérsugárzásnak? Milyen összetevőkből áll?
7. Nevezzétek meg a háttérsugárzás okait a Földön!
8. Mire szolgálnak a dózismérők? Milyen a működési elvük?

25. gyakorlat



1. Képzeljétek el, hogy α -sugárzás forrásának közelében vagytok. Hogyan tudjátok megvédeni magatokat a sugárzás káros hatásaitól?
2. A laboratóriumi alkalmazottra eső külső, elnyelt ionizáló sugárdózis másodpercenként $2 \cdot 10^{-9}$ Gy. Mekkora elnyelt sugárdózis érte az alkalmazottat 1 óra leforgása alatt?
3. Belső sugárzás során a testszövet minden grammja 10^8 számú α -részecskét nyelt el. Határozzátok meg a dózisegyenértéket, ha az egyes részecskék energiája $8,3 \cdot 10^{-13}$ J!

4. Mekkora dózisegységértékű ionizáló sugárdózist kap az a személy, aki egy órán keresztül olyan γ -sugárforrás közelében tartózkodik, amelytől másodpercenként $25 \cdot 10^{-9}$ Gy elnyelt sugárdózist kap?
5. Létezik olyan hipotézis, amely szerint az emberiség a majmokat ért radioaktív sugárzás következtében létrejött mutáció eredményeként jelent meg. Kiegészítő forrásanyagok felhasználásával tudjatok meg többet erről a feltételezésről! Szerintetek van ennek a feltételezésnek alapja? Válaszotokat magyarázzátok meg!



Kísérleti feladat

Ha van lehetőségetek dózismérő használatára, mérjétek meg a háttérsugárzást lakásotok néhány pontjában, gránit utcai burkolókövön, beton-, tégl- és faépületeknél, a ház pincéjében és legfelső emeletén! Magyarázzátok meg a kapott eredményeket!



26. §. LÁNCREAKCIÓ. ATOMREAKTOR

Az előző korszakok mindegyike valamilyen anyagról kapta a nevét: volt kőkorszak, bronzkor, vaskor. De ezek egyike se lett volna, ha az ember nem tanul meg a tűzzel bánni. A világ tényleges gazdagsága az energiája – írta *Frederick Soddy* (1877–1956) angol vegyész az *Anyag és energia* című könyvében. A XX. századot bátran nevezhetjük atomkornak, mert az ember ebben a században fedezte fel és kezdte el használni az atommag energiáját. Hogy hogyan segíti elő az emberiség energiaszükségletének kielégítését az atomfizika, arról a következőkben olvashattok.



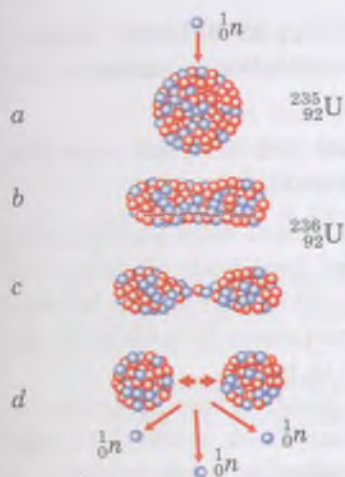
Megismerjük a nehéz atommagok hasadását és a nukleáris láncreakciót

1938 végén *Otto Hahn* (1879–1968) és *Fritz Strassmann* (1902–1980) német vegyészek kísérletük során uránt bombáztak neutronokkal. A tudósok legnagyobb meglepetésére a kísérletek során báriumot és a Mengyelejev-féle periódusos rendszer közepső részében található néhány elemet észleltek.

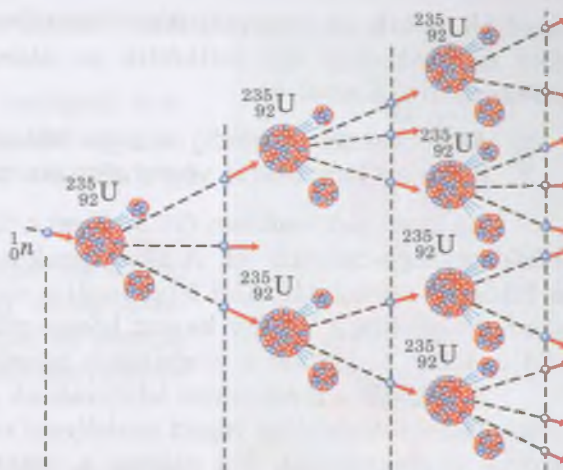
Az akkori idők tudósai számára szokatlan eredmény alapján *Lise Meitner* (1878–1968) ausztrál vegyész és *Otto Frisch* (1904–1979) angol fizikus arra a következtetésre jutottak, hogy az uránmag (nehéz mag), miután elnyelte a neutron, könnyebb magokra hasad szét.

Így fedezték fel a **maghasadást** – a nehéz atommag két (ritkábban három) magra történő osztódását, amelyeket hasadványoknak neveznek* (26.1. ábra).

* 1945-ben a nehéz atommagok hasadásának felfedezéséért *Otto Hahn* kémiai Nobel-díjat kapott.



26.1. ábra. Az uránmag hasadásának vázlatja. Neutron (a) elnyelésakor az uránmag gerjesztett állapotba kerül és megnyúlik (b), majd folyamatosan tovább nyúlik (c), végül az új instabil mag két hasadványra szakad szét (d)



26.2. ábra. Nukleáris láncreakció létrejöttének vázlatja: az uránmag egy hasadásakor 2 vagy 3 neutron szabadul fel, aminek az eredményeként nukleáris láncreakció indul be

Figyeljétek meg a 26.1. ábrát, és magyarázzátok meg, miért repülnek szét nagy sebességgel a hasadványok! *Segítségül:* a magerők (azok a vonzóerők, amelyek a nukleonokat a mag belsejében tartják) közelhatók, az elektrosztatikus (Coulomb-féle) erők pedig távolhatók.

Ha figyelmesen megvizsgáltátok a 26.1. ábrát, akkor észrevettétek, hogy az urán magjának hasadásakor a hasadványok mellett neutronok is felszabadulnak. Ezek a neutronok újabb uránmagok hasadását idézik elő, amelyek újabb neutronokat bocsátanak ki, és ezek ismét maghasadást okoznak, és így tovább. Ilyen módon a hasadó uránmagok száma gyorsan növekszik – az uránmintában **nukleáris láncreakció** megy végbe (26.2. ábra).

Nagyon fontos, hogy a nukleáris láncreakciót *óriási mennyiségű energia felszabadulása* kíséri. Egy uránmag hasadásakor nagyon kis mennyiségű energia szabadul fel: nagyjából $3,2 \cdot 10^{-11}$ J, de ha egy mol uránban található összes atommag (235 g urán; $6,02 \cdot 10^{23}$) széthasad, a felszabaduló energia eléri a $19,2 \cdot 10^{12}$ J-t. Ugyanennyi energia szabadul fel 450 t olaj elégetésekor.

2 Megismerkedünk az atomreaktor felépítésével

Az uránban és még néhány más anyagban végbemenő hasadási láncreakció a magenergia más, hő- vagy elektromos energiává alakításának az alapja. Idézzétek fel: a reakció során szüntelenül újabb és újabb, nagy sebességgel mozgó hasadványok keletkeznek. Ha egy darab uránt vízbe teszünk, a hasadványok a vízben összeütköznek a vízmolekulákkal, és

átadják nekik az energiájukat. Ennek eredményeképpen a hideg víz fel-forr és elpárolog. Így működik az *atomreaktor*, amelyben a magenergia hőenergiává alakul át.

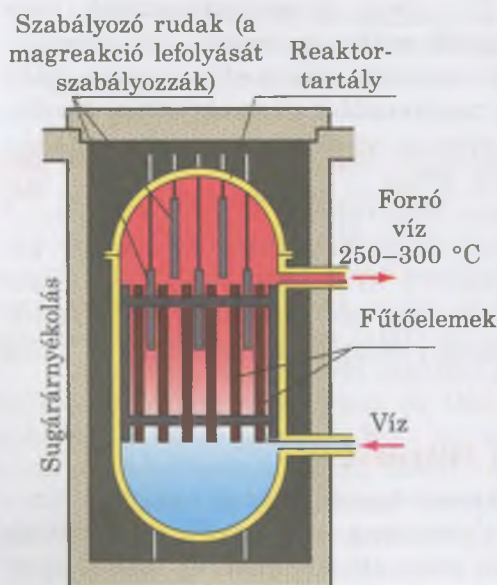
Atomreaktor – mindig energia felszabadulásával járó irányított nukleáris hasadási láncreakció végrehajtására szolgáló berendezés.

Az atomreaktorokban (26.3. ábra) a fűtőanyagot (uránt vagy plutóniumot) *fűtőelemekben* helyezik el. A fűtőelemekben keletkező hasadványok felhevítik a fűtőelem burkolatát, ami felmelegíti a vizet, amely ebben az esetben hőenergia-hordozó közeg. Az így kapott hőenergiát elektromos energiává alakítják át (26.4. ábra), ahogy azt a közönséges hőerőművekben is teszik.

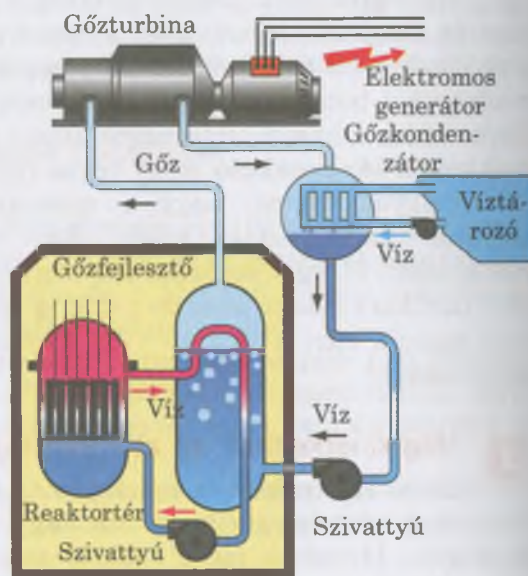
A nukleáris láncreakció lefolyásának ellenőrzés alatt tartása és az esetleges robbanás elkerülése végett *szabályozó rudakat* használnak, amelyek anyaga elnyeli a neutronokat. Ha például a reaktorban emelkedik a hőmérséklet, a rudak automatikusan a fűtőelemek közé ereszkednek, és ennek eredményeként a reakcióba lépő elektronok száma csökken, így a láncreakció lelassul.

3 Megismerkedünk a termonukleáris reakcióval

Tisztáztuk, hogy a nehéz magok hasadásakor a Mengyelejev-féle periódusos rendszer középső részében található elemek keletkeznek, és energia szabadul fel (26.5. a ábra). Ezt az energiát nukleáris energiának nevezik, mivel az atom magjában van „elrejtve”. Érthető, hogyha újra egyesíteni szeretnénk a hasadványokat, akkor ismét ekkora energiára lenne szükségünk.



26.3. ábra. Atomreaktor szerkezeti vázlata



26.4. ábra. Az atomerőmű működési elve

Idézzétek fel, a fizika melyik alaptörvényén alapul az utolsó állítás!

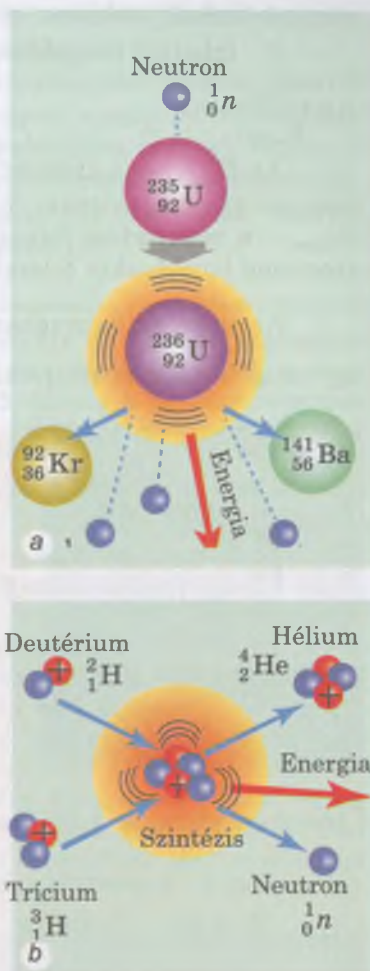
Ha azonban könnyű elemek izotópjait vennénk, például deutérium és trícium atommagját, akkor az egyesítésük eredményeként energia szabadulna fel* (26.5. b ábra).

Könnyű atommagok egyesülését nehezebb atommagokká, ami igen nagy hőmérsékleten (közel 10^7 °C) megy végbe, és energia felszabadulásával jár, **termonukleáris szintézisnek** nevezzük.

A magas hőmérsékletre, vagyis az atommagok nagy kinetikus energiájára a magok (az egynemű töltéssel rendelkező részecskék) elektromos taszításának legyőzéséhez van szükség. E nélkül lehetetlen olyan távolságra közelíteni egymáshoz a könnyű atommagokat, hogy hatni kezdjenek közöttük a vonzási magerők.

A természetben termonukleáris reakciók a csillagok belsejében mennek végbe, ahol a hidrogén-izotópok héliummá alakulnak át (lásd a 26.5. b ábrát). A Nap belsejében zajló termonukleáris reakcióknak köszönhetően a kozmikus térbe másodpercenként $3,8 \cdot 10^{26}$ J energiát sugároz. Ez óriási energia – ekkora energia előállításához el kellene égetni a Föld teljes széntartalékának az ezerszeresét.

A termonukleáris reakció a szinte kifogyhatatlan energia forrása. A fizikusoknak már sikerült létrehozniuk az ilyen reakciók beindulásának feltételeit, azonban ipari méretekben még nem sikerült megalkotni a reakciót, az egyelőre kísérleti stádiumban van.



26.5. ábra. Mind a nehéz atommagok hasadását (a), mind a könnyű atommagok szintézisét (b) energia felszabadulása kíséri

4 Gyakoroljuk a feladatok megoldását

Feladat. Határozzátok meg az atomerőmű napi urán-235 szükségletét, ha az erőmű megfelelő blokkjának kimenő elektromos teljesítménye 1000 MW, hatásfoka 30%. Egy urán-235 magjának tömege $3,9 \cdot 10^{-25}$ kg, és minden hasadásnál $2 \cdot 10^{-11}$ J energia szabadul fel.

* Ez a tulajdonság az atommagok fajlagos kötési energiájával magyarázható, amiről a felsőbb osztályokban fogtok tanulni.

A fizikai probléma elemzése, matematikai modell felállítása

A feladat megoldásához felhasználjuk a hatásfok meghatározását:

$$\eta = \frac{E_{\text{hasz}}}{E_{\text{teljes}}}$$

Az E_{hasz} – az atomerőmű adott blokkjában egy nap alatt termelt elektromos energia mennyisége: $E_{\text{hasz}} = P_{\text{hasz}} \cdot t$ (a t idő másodpercekben van megadva); E_{teljes} – a reaktorban felszabaduló teljes energia: $E_{\text{teljes}} = E_0 \cdot N$, ahol E_0 – egy atommag bomlásakor felszabaduló energia, N – a felbomlott atommagok száma.

Az urán fűtőanyagban lévő magok száma a fűtőanyag tömegével (m) és egy mag tömegével (m_0) van kifejezve: $N = \frac{m}{m_0}$.

Adva van:

$$t = 1 \text{ nap} = 1 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}$$

$$P_{\text{hasz}} = 1000 \text{ MW} = 1 \cdot 10^9 \text{ W}$$

$$h = 30\% = 0,3$$

$$m_0 = 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Meghatározzuk:

$m = ?$

Megoldás

A hatásfok meghatározása szerint: $\eta = \frac{E_{\text{hasz}}}{E_{\text{teljes}}}$, ahol

$$E_{\text{hasz}} = P_{\text{hasz}} \cdot t; P_{\text{teljes}} = E_0 \cdot N = \frac{E_0 \cdot m}{m_0}$$

Az E_{hasz} és E_{teljes} értékeit behelyettesítjük a hatásfok képletébe:

$$\eta = \frac{P_{\text{hasz}} \cdot t \cdot m_0}{E_0 \cdot m}$$

Innen megkapjuk a fűtőanyag tömegét: $m = \frac{P_{\text{hasz}} \cdot t \cdot m_0}{E_0 \cdot \eta}$

Ellenőrizzük a mértékegységeket és meghatározzuk a keresett mennyiséget:

$$[m] = \frac{\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \frac{\text{J/s} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \text{kg};$$

$$m = \frac{1 \cdot 10^9 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3,9 \cdot 10^{-25}}{3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 0,3} = \frac{10^9 \cdot 24 \cdot 36 \cdot 10^2 \cdot 39 \cdot 10^{-25}}{32 \cdot 10^{-12} \cdot 3} = 3,5 \text{ (kg)}.$$

Felelet: $m = 3,5 \text{ kg}$.

Azt kaptuk, hogy az atomerőmű egy energablokkja is több energiát termel, mint amennyi egy nagyváros szükséglete. Valóban, az atomerőmű egy blokkja naponta: $E_{\text{hasz}} = P_{\text{hasz}} \cdot t = 1000 \text{ MW} \cdot 24 \text{ h} = 24\,000 \text{ MW}$ energiát termel, de például Kijev a nyári hónapokban 300 MW/h energiát használ fel.



Összegzés

Az uránatom a neutron befogása után két részre hasad. Ez a folyamat újabb neutronok keletkezésével jár, és ezek a neutronok képesek újabb hasadást előidézni. Ily módon megy végbe a nukleáris láncreakció, amit óriási mennyiségű energia felszabadulása kísér. Az atomreaktorokban – irányított,

energia felszabadulásával járó nukleáris láncreakció végrehajtására szolgáló berendezésben – a nukleáris energiát hőenergiává alakítják át.

Könnyű atommagok egyesülését nehezebb atommagokká termonukleáris szintézisnek nevezzük, mert a beindulásukhoz nagyon magas hőmérsékletre van szükség. Termonukleáris reakciók a csillagok belsejében mennek végbe. A tudósok napjainkban olyan termonukleáris reaktorok létrehozásán dolgoznak, amelyek a könnyű atommagok fúziója által hoznának létre energiát, amihez hasonló a plazmában megy végbe óriási hőmérsékleten (10^7 °C).

Ellenőrző kérdések



1. Mi történik az uránatom magjával a neutron befogása után? 2. Magyarázzátok el a láncreakció folyamatát! 3. Milyen energiaátalakulások történnek a magreaktorban? 4. Hogyan működik az atomerőmű? 5. Milyen folyamatot neveznek termonukleáris szintézisnek? 6. Honnan „veszik” a csillagok az energiájukat?



26. gyakorlat

1. Napfényes időben minden 1 m^2 vízszintes felületre 650 J napenergia esik. Mennyi napenergia jut a 100 m^2 területű tetőre? Hány kilogramm száraz fát kell eltüzelní ahhoz, hogy ugyanannyi energiát hozzunk létre, mint a tetőre kerülő napenergia mennyisége (a száraz fa fajhője 10 MJ/kg)? Gondolkozzatok el rajta, hol lehet szükségetek hasonló számításokra!
2. Mekkora mennyiségű energia állítható elő 1 g urán-235 hasadásával, ha minden egyes mag hasadásakor $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ energia szabadul fel?
3. Az atomjégtörő reaktorának teljesítménye $80\,000 \text{ kW}$. A reaktor urán-235 felhasználása napi 500 g . Határozzátok meg a reaktor hatásfokát!
4. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjátok meg, mikor vitték véghez az első irányított nukleáris láncreakciót; hol, és mikor hozták létre az első ipari nukleáris reaktort; létezik-e olyan hely a bolygónkon, ahol természetes nukleáris láncreakció megy végbe!

Fizika és technika Ukrajnában

Az **Ukrán Tudományos Akadémia Magkutató intézete** (Kijev) – az ország vezető intézménye az atomenergetikai és magfizikai kutatások terén. 1970-ben alapították az Akadémia Fizikai Intézetének bázisán.

Az intézet alapítója és első igazgatója *M. Paszicsnik* akadémikus volt. Őt a vezetői székben *O. Nyimec*, majd *I. Visnyevszkij* akadémikusok követték. 2015-től az intézmény *Vaszil Ivanovics Szliszenko*, az akadémia levelező tagja vezetése alatt működik.

Tevékenységének fő irányai: alacsony és közepes energiájú magfizikai kutatások, reaktorok fizikája, magelmélet, nukleáris spektroszkópia, nukleáris elektronika, sugárfizika, termonukleáris szintézis, plazmafizika, valamint a neutronok, protonok, deuteronok, alfa-részecskék és nehéz atommagok kölcsönhatása a Mengyelejev periódusos rendszerében található szinte összes elem atommagjával.

Vezető tudósok irányításával az intézményben több ismert tudományos iskola működik a következő szakterületeken: a neutronfizika, a töltött részecskék nukleáris reakciói, a mag mikroszkopikus elmélete, nukleáris elektroszkópia, elemi részecskék gyorsítás nélküli fizikája.

Az intézet tudósai nagy szerepet játszottak a csernobili erőműben történt robbanás következményeinek a felszámolásában.

27. §. ATOMENERGETIKA UKRAJNÁBAN. AZ ATOMENERGETIKA ÖKOLÓGIAI PROBLÉMÁI

A nukleáris fűtőanyagnak a hagyományos fűtőanyagokkal (gáz, kőolaj, szén) szembeni előnye abban rejlik, hogy energetikai hatásfoka több milliószor magasabb (a kőolajénál 2 milliószor, a szénénél 3 milliószor). Ráadásul a nukleáris fűtőanyagok tartalékai több tízszeresét teszik ki a hagyományos fűtőanyagokénak, elégetéséhez pedig nincs szükség oxigénre. Azonban a nukleáris fűtőanyagok felhasználása bizonyos nehézségekbe ütközik.



27.1. ábra. Nukleáris fűtőelem – a reaktor része, nukleáris fűtőanyagot tartalmazó berendezés (urán-dioxid tabletták)

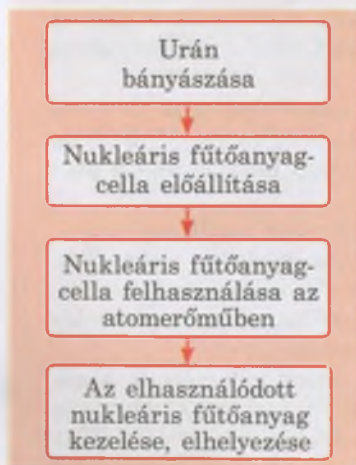
1 Megismerkedünk a nukleáris fűtőanyagciklussal

Ahhoz, hogy egy kilogramm alacsony hatásfokú fűtőanyagra, például fára tegyünk szert, elegendő kimenni az erdőbe. Ám ahhoz, hogy egy kilogramm nukleáris fűtőanyagunk legyen, egész iparágat kell létrehozni. A fa elégetésekor keletkező hamut egyszerűen kiszórhatjuk a földre. De mit kezdünk azokkal a fűtőanyagcellákkal (27.1. ábra), amelyek elhasználódtak? A fűtőanyagcellákban nukleáris láncreakció megy végbe, ezért nagy mennyiségű, hosszú felezési idejű radioaktív hasadványt tartalmaznak.

A nukleáris **fűtőanyagciklus** azoknak a műveleteknek a sorrendje, amelyek az uránérc bányászatától, feldolgozásától, dúsításától a fűtőanyagcellák elkészítésén és az atomerőművekben történő felhasználásán át a nukleáris hulladék kezeléséig és végleges elhelyezéséig vezet (27.2. ábra).

Ukrajna a világ 11. legnagyobb uránérc-tartalékával rendelkezik. Ezek a tartalékok több évtizedre elegendőek. De ahhoz, hogy az uránérből fűtőelem legyen, számos szakosított iparág szükséges (egymásra épülő ipari tevékenységek láncolata), s ezzel az ország teljes egészében nem rendelkezik. Az ukrainai atomerőművek részére külföldön készítik a fűtőelemeket.

Miután a nukleáris fűtőanyag egy része elhasználódott (vagy ahogy a fizikusok mondják, a fűtőelem kiégett), azt újjal kell lecserélni. Az elhasználódott fűtőelemeket, amelyek erősen radioaktívak, speciális konténerekben mélyen a föld alatt helyezik el, ahol több száz évig kell tárolni őket.



27.2. ábra. Nukleáris fűtőanyagciklus

Napjainkban csak a Zaporizzsjai Atomerőmű (27.3. ábra) rendelkezik elhasználódott nukleáris fűtőanyag-tárolóval. A többi atomerőmű elhasználódott fűtőanyagát Oroszországba szállítják, amiért országunk nagy összegeket fizet ki. Felvetődött egy újabb nukleáris hulladék-tároló építésének ötlete Ukrájában a csernobili 30 km-es zárt övezeten belül, hiszen ez a terület még sokáig nem lesz alkalmas arra, hogy ott emberek lakjanak.

 Gondolkozzatok el azon, hogy milyen érveket tudnátok felhozni egy ilyen építkezés mellett és ellen!

Megismerkedünk Ukrájna atomenergetikájával

Ukrájna a világ azon országai közé tartozik, ahol a jól képzett mérnökök és tudósok munkájának köszönhetően sikeresen fejlődik a modern technológia, többek között az atomenergetika is. Jelenleg az országban négy atomerőmű üzemel: a zaporizzsjei, a rivnei, a Dél-ukrajnai és a hmelnickiji (27.1–27.6 ábrák). Ezekben az erőművekben 15 energiablokk működik, amelyek teljesítménye 13 580 MW. Az ország villamosenergia-termelésének közel felét ezek az erőművek állítják elő.

Egy atomerőmű működését több ezer jól képzett szakember biztosítja. Szinte mindegyik ukrainai atomerőmű köré kisebb város épült.

Az, hogy Ukrájában van nukleáris energiatermelés, mindenképpen enyhíti a hagyományos energiahordozók – gáz, kőolaj, szén – egyre növekvő hiányát.

Amikor atomerőművekről beszélünk, a laikus retteg a radioaktív sugárzás kifejezéstől. De amint azt kutatások tanúsítják, az ember a legnagyobb sugárdózist természetes sugárforrásokból és orvosi vizsgálatok, valamint kezelés során kapja. Az atomenergetika normális fejlődésével kapcsolatos sugárzás csak elenyésző részét képezi az ember által létrehozott sugárzásnak. Sajnos az emberiség történelme számos



27.3. ábra. A Zaporizzsjei Atomerőmű – Európa legnagyobb atomerőműve, amelyben hat energiablokk üzemel



27.4. ábra. A Rivnei Atomerőműben négy energiablokk működik



27.5. ábra. A Dél-ukrajnai Atomerőmű három energiablokkal rendelkezik



27.6. ábra. A Hmelnickiji Atomerőműnek két energiablokja van

olyan esetet ismer, amikor az atomerőművekben történt rendellenes események katasztrofális következményekkel jártak.

3 Felidézzük a csernobili tragédia történetét

1986. április 26-a gyászbetűkkel írta be magát Ukrajna történetébe. Ezen a napon történt a robbanás a Csernobili Atomerőmű négyes energiatermelő blokkjában (27.7. ábra). A katasztrófát megelőzően az erőmű vezetése a működtetési előírást megszegve engedélyezte az atomreaktor változó teljesítményű üzemmódban történő működtetését. Ennek következtében nagy mennyiségű energia szabadult fel a reaktor belsejében, ami robbanáshoz vezetett.

A robbanás következtében tűz ütött ki a négyes blokkban, és radioaktív anyagok kerültek ki a környezetbe. A reaktor falai hatalmas kályhaként működtek, radioaktív füsttel szennyezve a környezetet. A szél a füstöt több ezer kilométerre elvitte (még Svédországban is kimutatható volt a radioaktivitás szintjének növekedése). A tragédia következményeinek felszámolására a Szovjetunió egész területéről érkeztek szakemberek.

Különösen nagy munkát végeztek a még nagyobb tragédia megakadályozásában a tűzoltók. Közülük sokan az életüket áldozták, hogy meggátolják a tűz átterjedését a többi energiatermelő blokkra.

Ilyen léptékű ipari katasztrófa az emberiség történelmében korábban még nem volt, ezért a tüzet nem sikerült gyorsan megfékezni. A robbanás következtében Oroszország, Belorusszia és Ukrajna több régiója radioaktív anyagokkal fertőződött, a reaktor 30 km-es körzetéből pedig ki kellett telepíteni a lakoságot.

Később a felrobbant reaktorblokk fölé *szarkofágot* emeltek. Ez olyan betonszerkezetet, amely gátolja a radioaktív sugárzás környezetbe jutását (27.8. ábra).

Csernobilban mostanra minden energiatermelő blokk működését megszüntették; Ukrajna több nemzetközi szervezettel karöltve a négyes blokk fölé egy újabb, tökéletesebb szarkofágot épített. Több mint 30 év telt el a tragédia óta, de a sugárfertőzés következményei ma is érzékelhetők, különösen a csernobili erőmű közvetlen környezetében.



27.7. ábra. A Csernobili Atomerőmű négyes energiablokkja a robbanás előtt (a) és után (b)



27.8. ábra. A Csernobili Atomerőmű négyes energiablokkja fölé emelt szarkofág

Hasonló nagyságrendű katasztrófa történt 2011-ben a japán Fukushima-1 Atomerőműben. Földrengés és szökőár következtében leálltak a hűtőrendszer szivattyúi. Az atomreaktor túlhevült és megsérült, a belőle kikerült radioaktív anyag nagymértékű környezeti szennyezést okozott.

Az emberiség válaszút előtt áll: a hagyományos energiahordozók készletei fokozatosan kimerülnek, ami az atomenergetika további fejlesztését feltételezi, de eközben figyelembe kell venni, hogy az ipari katasztrófák ellen még az olyan technológiailag fejlett országok sincsenek bebiztosítva, mint amilyen Japán. A német kormány például az atomenergetika fejlesztésének a leállításáról döntött.

 Mi a véleményetek az adott kérdéssel kapcsolatban? Gondolkozzatok el, az atomenergetika *mellette* és *ellene* szóló érveken!



Összegezés

A fűtőanyagciklus azoknak a műveleteknek a sorrendje, amelyek az uránérc bányászatától, feldolgozásától, dúsításától a fűtőanyagcellák elkészítésén és felhasználásán át a nukleáris hulladék kezeléséig és végleges elhelyezéséig vezet.

Ukrájában jelenleg négy atomerőmű üzemel, amelyek összteljesítménye 13 580 MW. Az ország villamosenergia-termelésének közel felét ezek az erőművek adják. Ha az atomerőmű normálisan üzemel (az elhasznált fűtőanyagcellákat biztonságosan tárolják, nem történik fennakadás a reaktor munkájában, betartják a működtetési előírásokat), akkor annak nincs radioaktív hatása a környezetre.

1986. április 26-án robbanás történt a Csernobili Atomerőmű négyes energiatermelő blokkjában. Ez a robbanás okozta az emberiség történetének legnagyobb mértékű radioaktív sugárszennyeződését. Oroszország, Ukrajnai és Belorusszia területén jelentős területek szennyeződtek. A katasztrófa következményei napjainkban is érezhetők. Hasonló nagyságrendű katasztrófa történt 2011-ben a japán Fukushima-1 Atomerőműben.



Ellenőrző kérdések

1. Soroljátok fel a nukleáris fűtőanyag felhasználásának előnyeit és hátrányait!
2. Milyen a nukleáris fűtőanyagciklus sorrendje?
3. Soroljátok fel Ukrajna atomerőműveit! Mekkora az összteljesítményük?
4. Mit tudtok a csernobili tragédiáról?

27. gyakorlat

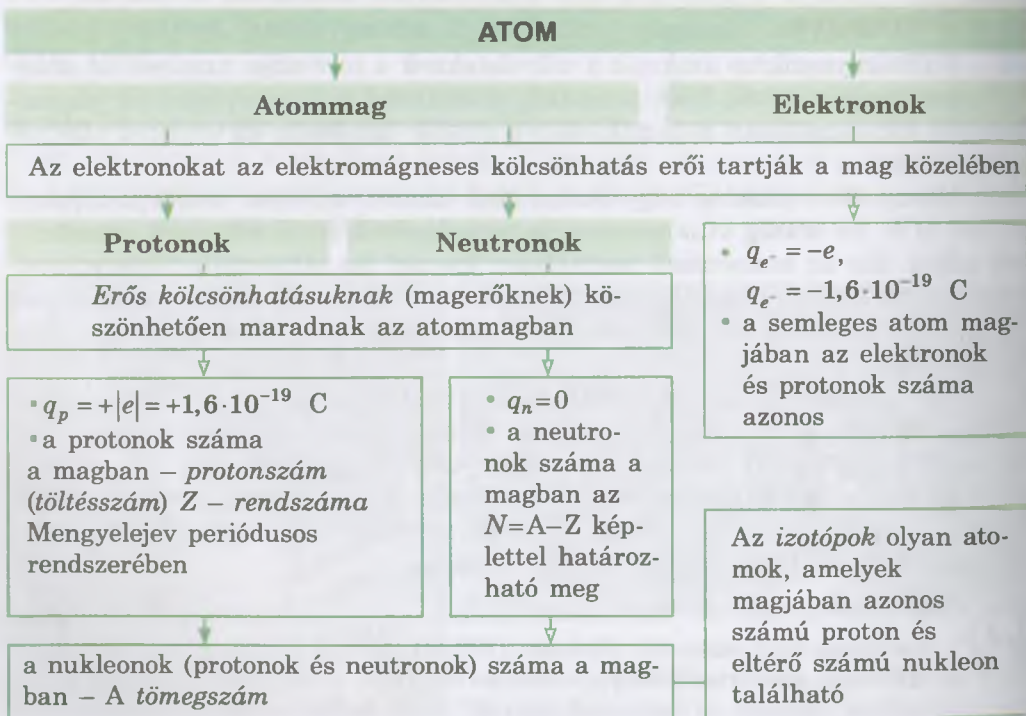
1. A Hmelnickiji Atomerőmű VVEP-440 típusú reaktorokkal van felszerelve (elektromos teljesítményük 440 MW), amelyek hőtermelő teljesítménye 1375 MW. Határozzátok meg az ilyen típusú reaktorok hatásfokát!
2. A Rivnei Atomerőmű két blokkjában VVEP-440 (elektromos teljesítményük 440 MW), a másik kettőben pedig VVEP-1000 (elektromos teljesítményük 1000 MW) típusú reaktorok találhatók. Mekkora mennyiségű energiát (kWh-ban) termelhet maximális teljesítményt nyújtva naponta a Rivnei Atomerőmű?
3. Mekkora mennyiségű energiát termel naponta a Zaporozsjei Atomerőmű, ha egyik blokkjában tervezett felújításokat végeznek, a többi blokkja pedig teljes kapacitással működik? Az erőmű mindegyik reaktorának hőtermelő teljesítménye 3000 MW, hatásfoka 33,3%.
4. Hány kilogramm urán-235-öt éget el naponta a Dél-ukrajnai Atomerőmű, ha mindegyik reaktorának hőtermelő teljesítménye 3000 MW? Egy urán-235 mag hasadáskor $3,2 \cdot 10^{-11}$ J energia szabadul fel, amelyet teljes egészében a hőhordozó anyag (víz) vesz fel.
5. Kiegészítő forrásanyagok felhasználásával ismerkedjete meg az atomenergetika fejlesztésének perspektíváival Ukrajnában!

Az atom és atommag fizikája.

Az atomenergetika fizikai alapjai

CÍMŰ IV. RÉSZ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. A IV. részt tanulása során felidéztétek az *atomok és atommagok felépítését*, megismerkedtetek a *magerőkkel*.



2. Megtudtátok, hogyan fedezték fel a *radioaktivitás jelenségét*, tisztáztátok a *radioaktív sugárzás természetét*.

RADIOAKTIVITÁS

a radionuklidok magjainak más elemek atommagjaivá történő, mikrorészecskék sugárzásával járó szabad átalakulásának képessége

α -sugárzás

hélium atommagjainak áradata

- $q_\alpha = +2|e| = +3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- v_α 10 000 – 20 000 km/s
- 0,1 mm vastagságú papírlap feltartja
- α -bomláskor az anyamagban az atommag nukleonjainak száma négygel, a protonok száma pedig kettővel csökken:



β -sugárzás

gyors elektronok áradata

- $q_\beta = -|e| = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- v_β közel 300 000 km/h
- 1 mm vastagságú alumínium-lemez feltartja
- β -bomláskor a nukleonok száma nem változik, a protonok száma viszont eggyel nő: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{-1}^0e + {}_{Z+1}^AY$

γ -sugárzás

elektromágneses hullámok

- hossza kisebb 0,2 nm-nél ($\nu > 1,5 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$) • $v_\gamma = 300\,000 \text{ km/s}$
- több méter vastag betonréteg tartja fel

3. Megismerkedtetek a radioaktív sugárzást, radionuklidokat és radioaktív mintákat jellemző fizikai mennyiségekkel.

Fizikai mennyiség	Képlete	Mértékegység		Mértékegységek aránya
		SI	rendszeren kívüli	
Minta aktivitása	$A = \lambda N$	becquerel (Bq)	curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Elnyelt mennyiség	$D = W / m$	gray (Gy)	rad (rad)	1 rad = 0,01 Gy
Ekvivalens mennyiség	$H = KD$	sievert (Sv)	ber (ber)	1 ber = 0,01 Sv

4. Tisztáztátok, hogyha a *nehéz atommag elnyeli a neutront*, *spontán maghasadás jöhet létre, amelyet energiaszabadulás kísér*, és megtudtátok, hogy a *könnyű atommagok szintézise szintén energia felszabadulásával jár*.

NUKLEÁRIS LÁNCREAKCIÓ

nehéz atommagok hasadása, amelynek során folyamatosan neutronok szabadulnak fel, ezek újabb magok hasadását idézik elő

Atomreaktor

TERMONUKLEÁRIS REAKCIÓ

könnyű magok egyesülése nagyon magas hőmérsékleten

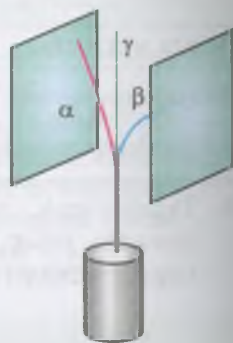
Napenergia, csillagok energiája

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK Az atom és atommag fizikája. Az atomenergetika fizikai alapjai

CÍMŰ IV. RÉSZHEZ

Az 1–8. és 10. feladatok csak egy helyes választ tartalmaznak.

- (1 pont) A berillium atommagjában 4 proton és 5 neutron van. Hány elektront tartalmaz a berillium atomja?
a) 1 elektront; c) 5 elektront;
b) 4 elektront; d) 9 elektront.
- (1 pont) A kémiai elem magjában 33 proton és 43 neutron van. Milyen elemről van szó?
a) technécium; b) arzén; c) urán; d) arany.
- (1 pont) Rutherford az α -részecskékkel végzett kísérletei alapján:
a) megalkotta az atommag neutron-proton modelljét;
b) megmagyarázta a radioaktivitás jelenségét;
c) megmagyarázta a nukleáris láncreakció mechanizmusát;
d) előterjesztette az atom magmodelljét.
- (1 pont) Valamely elem atommagjának α -hasadásakor olyan elem atommagja keletkezik, amely Mengyelejev periódusos rendszerében az eredeti elemtől:
a) két kockával balra található; c) egy kockával jobbra található;
b) két kockával jobbra található; d) egy kockával balra található.
- (2 pont) Valamely kémiai elem atommagjának töltése $3,2 \cdot 10^{-19}$ C. Milyen elemről van szó?
a) kálium; b) hélium; c) lítium; d) germánium.
- (2 pont) A radioaktív nyaláb két töltéssel rendelkező lemez között áthaladva kettéválik (lásd az ábrát). Milyen a lemezek töltése?
a) 1 lap „+”, 2 lap „-”;
b) 1 lap „-”, 2 lap „+”;
c) 1 lap „+”, 2 lap „+”;
d) 1 lap „-”, 2 lap „-”.
- (2 pont) Határozzátok meg a radioaktív minta aktivitását, ha abban óránként $7,2 \cdot 10^{10}$ számú maghasadás történik! A minta aktivitását tekintsétek változatlanoknak!
a) $7,2 \cdot 10^{10}$ Bq; b) $1,2 \cdot 10^9$ Bq; c) $3,6 \cdot 10^8$ Bq; d) $2 \cdot 10^7$ Bq.
- (2 pont) Termonukleáris reakció a következő esetben megy végbe:
a) a mag neutront nyel el; c) alacsony nyomáson;
b) magas hőmérsékleten; d) nehéz magok megléte esetén.



9. (3 pont) Feleltessétek meg a nuklidok alkotóinak számát és magukkal a nuklidokkal!

1. 70 elektron
2. 57 proton
3. 57 neutron
4. 70 nukleon

A neon $^{21}_{10}\text{Ne}$

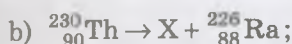
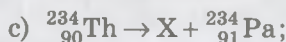
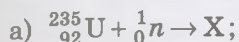
B gallium $^{70}_{31}\text{Ga}$

C ruténium $^{101}_{44}\text{Ru}$

D lantán $^{140}_{57}\text{La}$

E itterbium $^{173}_{70}\text{Yb}$

10. (3 pont) A következő nukleáris reakciók közül melyik β -bomlás?



11. (3 pont) A radonban $^{222}_{86}\text{Rn}$ egymás után két α - és két β -bomlás történt. Milyen elem magja lett a bomlások eredménye?

12. (3 pont) A mintában $1,6 \cdot 10^{10}$ számú bizmut $^{214}_{83}\text{Bi}$ izotópmag található, amelyek felezési ideje 20 perc. Hány bizmutatom marad a mintában 1 óra elteltével?

13. (3 pont) Adott pillanatban a radioaktív mintában $2 \cdot 10^{-10}$ mol rádium található. Hány rádiumatom bomlik fel a következő másodpercben? A rádium bomlási állandója $\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ c}^{-1}$.

14. (4 pont) A röntgenkészüléket kezelő dolgozó által óránként kapott átlagos sugármennyiség $7 \mu\text{Gy}$. Biztonságos-e a munka az adott készülékkel 200 napon keresztül napi 6 órában, ha a megengedett sugárdózis 50 mGy évente? Ismeretes, hogy a természetes háttérsugárzás 2 mGy évente.

15. (4 pont) Valamely anyamag három α - és két β -bomlásának eredményeként polónium $^{213}_{84}\text{Po}$ mag keletkezett. Határozzátok meg az anyamagot!

16. (4 pont) Határozzátok meg, mekkora tömegű urán-235-t használ el a 2 GW teljesítményű atomerőmű naponta, ha hatásfoka 25%, és minden $^{235}_{92}\text{U}$ maghasadásnál $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ energia szabadul fel!

A feleleteket a könyv végén találjátok. Jelöljétek meg a helyes válaszokat, és számoljátok össze az elért pontszámot, majd az összeget osszátok el hárommal! A kapott szám jelenti a tudásszinteteket.



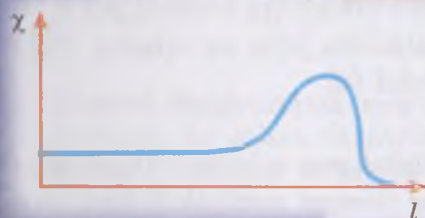
A gyakorló tesztfeladatokat megtalálhatjátok az *Interaktív tanulás* című honlapon.



1. ábra. Sugárterápiás berendezés



2. ábra. Sugárkezelés esetén a kezelőszemélyzet védett helyiségben tartózkodik



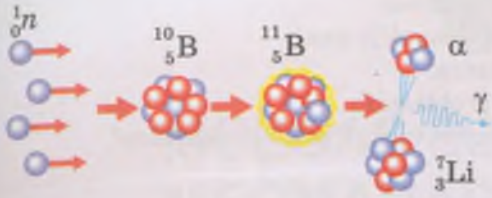
3. ábra. A szövetekben okozott kár (χ) mértéke és a protonnak a testszövetben megtett út hossza (l) közötti összefüggés

Rutherford kísérleteitől a betegségek gyógyításáig

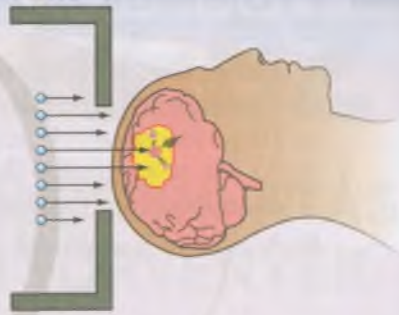
Országunk lakosainak többségében, mivel számukra még eleven a Csernobili Atomerőmű-katasztrófa emléke, meglehetősen gyanakvás ébred a sugárzás szó hallatán. A IV. részből megtudhattuk, hogy a radioaktív sugárzás bizony veszélyes dolog. De ha betartjuk a biztonsági előírásokat, ellenőrzés alatt tartjuk a radioaktív háttérsugárzást, és szükség esetén idejében fogantatosítjuk a szükséges intézkedéseket, a veszélyt jelentősen csökkenthetjük.

Vajon lehet-e a sugárzás hasznos az élő szervezet számára? Bizony vannak olyan betegségek, amikor az orvosok a beteg életének megmentése céljából kénytelenek valamilyen mértékben ártani. Ma az egyik legelterjedtebb sugárterápia során a beteget γ -sugárzással kezelik, amelynek az áthatoló képessége elég nagy (1., 2. ábra). Azonban a beteg szerv sugárkezelése során sajnos sugárzás éri az ahhoz közel lévő egészséges szerveket is.

A fizikusok természetesen megpróbálták megoldani a problémát. Az első megoldás más sugárforrás alkalmazása volt. Kiderült, hogy az elég nagy sebességre felgyorsított protonoknak előnyeik vannak mind az alfa-, mind a gammasugarakkal szemben. Ismeretes, hogy a protonok gyakorlatilag csak ott okoznak elváltozást, ahol lefékeződnek, pályájuk többi szakaszán az általuk okozott ártalom lényegesen kisebb (3. ábra). A protonok energiájának helyes megválasztásával elérhető, hogy azok csak a beteg sejteket ériék. Ebben az esetben, ahogy a 3. ábráról leolvashatjuk, az egészséges sejtekben okozott kár mértéke lényegesen kisebb



4. ábra. A neutron bóratommag általi befogását követő magreakció



5. ábra. A bór neutronbefogás terápia végzése agytumor esetében

lesz, mint a beteg sejtekben. A sugárdózis által okozott kár a grafikon ki-csúcsosodása előtt nagyságrendekkel kisebb, utána pedig nullával egyenlő. A protongyorsítók magas ára sajnos nem tette lehetővé a módszer tömeges elterjedését.

A beteg sejtek kezelésének másik módja a *bór neutronbefogás terápia*. Ez viszonylag új módszer. Előnye a nagy mértékű pontosság. A bór neutronbefogás terápiát a 007-es ügynökhöz hasonlíthatjuk, aki tökéletes pontossággal teljesíti a feladatát.

A bór neutronbefogás terápia alapötlete a következő. A terápia kulcsfigurája a *bóratom*, amely mint egy zseniális focikapus, sokkal nagyobb hatásfokkal fogja be a neutronokat, mint más atommagok. Ezért ha egy szövetet neutronokkal sugározzunk be, a bór azokat akkor is hatásosan fogja be, ha a neutronok száma nagyon kicsi. Más atommagok gyakorlatilag nem érzékelik a sugárzást, vagyis a neutronsugárzás okozta ártalom minimális lesz.

Miután a bóratommag befogta a neutront, radioaktív átalakulás során α -részecskévé és lítiummaggá alakul át (4. ábra), amelynek a kinetikus energiája egyetlen sejt megsemmisítéséhez elegendő. Ha tehát bóratomot juttatunk a beteg sejtbe, a „robbanás” után csak ez a sejt semmisül meg (5. ábra). A bór speciális gyógyszerek segítségével juttatják be a szervezetbe.

Projektek ajánlott témái

1. Ismerkedés a háztartási dózismérővel.
2. A régió radioaktív térképének összeállítása.
3. Helyi élelmiszerek sugárelemzése.
4. Az atomenergetika ökológiai problémái.
5. Atomhasadás: Pandora szelencéje vagy Prométheusz tüze?
6. A Nap és a csillagok jövője.

Referátumok és beszámolók témái

1. A nagy hadronütköztető – a világmindenség kutatásához vezető út.
2. Az atom története: Démokritosztól Rutherfordig.
3. A matéria téglaköve, avagy mik a kvarkok?
4. Pierre és Marie Curie tudományos hőstette.
5. Hogyan állapította meg Rutherford az α -részecskék természetét?
6. Az atomreaktor létrehozásának története.
7. Az első atomerőművek.
8. Az atomerőművek biztonságának megszervezése.
9. Csernobil és Fukushima – két nagy atomkatasztrófa: mi bennük a közös, és miben különböznek?
10. Termonukleáris reaktor – a jövő reaktora.
11. Az ötletek drámája: az atombomba története.
12. A mesterséges radioaktív izotópok létrehozásának története.
13. Hol, és hogyan alkalmazzák a mesterséges radioaktív izotópokat?
14. Régészeti leletek korának megállapítása magfizikai módszerekkel.
15. Mi a radonfürdő?
16. Természetes háttérsugárzás – biztonságos vagy veszélyes?
17. Az atomkorszak kronológiája.
18. Ukrajna atomerőművei.
19. A világ atomenergetikája.

V. RÉSZ

MOZGÁS ÉS KÖLCSÖNHATÁS. MEGMARADÁSI TÖRVÉNYEK

- Egyenletes mozgás esetén már ki tudjátok számítani a megtett utat, most megtanuljátok, hogyan határozható meg a test által megtett út, ha a sebessége hol csökken, hol növekszik
- Ismeritek a közmondást: „Amilyen az adjonisten, olyan a fogadjisten”, most megtudjátok, Newton melyik törvénye fogalmazható meg hasonlóképpen
- Tudjátok, hogy járás közben elrugaszkodtok az út felszínétől, most megtudjátok, mitől rugaszkodik el a világűrben az űrhajó
- Tudjátok, hogy a gépkocsi sebességét kilométerórával mérik, most megtudhatjátok, hogyan készíthető el a golyó sebességét mérő eszköz
- Ismeritek az energiamegmaradás törvényét, most megismerkedtek az impulzusmegmaradás törvényével





28. §. EGYENES VONALÚ EGYENLETESEN GYORSULÓ MOZGÁS. AZ EGYENES VONALÚ EGYENLETESEN GYORSULÓ MOZGÁS SEBESSÉGE

A 7. osztályban már megismerkedtünk a mechanikai mozgással, és részletesen tanulmányoztátok annak legegyszerűbb fajtáját, az egyenes vonalú egyenletes mozgást. A mechanikának azt az ágát, amely a mozgások leírásával foglalkozik a mozgás okának keresése nélkül, **kinematikának** nevezzük (gör. *kinema* – mozgás, mozgatás). Folytatjuk a kinematika tanulmányozását, megismerkedünk az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgással és az azt jellemző fizikai mennyiségekkel. De először megismételjük a kinematika alapfogalmait.

1

Megismételjük a kinematikát

A test térbeli helyzetének más testekhez viszonyított időbeli helyzetváltoztatását **mechanikai mozgásnak** nevezzük.



Figyeljétek meg a 28.1. ábrát! Melyik testekhez viszonyítva mozognak az ábrázolt testek? Mely testekhez viszonyítva vannak nyugalomban? Miért nevezik a mechanikai mozgást viszonylagosnak?

A test mozgásának leírásakor annak nem a külön pontjait vizsgáltuk, hanem a test mechanikai modelljét – az *anyagi pontot*. A következőkben a mechanikai mozgásról szóló feladatok megoldásánál a testet anyagi pontnak tekintjük.

Az **anyagi pont** a test fizikai modellje, amelynek a méreteit az adott feladat feltételeiben figyelmen kívül hagyjuk.



Milyen esetben tekinthetők a 28.1. ábrán lévő testek anyagi pontoknak?

A **mozgáspálya** alakjától függően megkülönböztetünk görbe vonalú és egyenes vonalú mozgást. A mozgáspálya hossza a test által megtett út hosszával egyenlő. Az *l* **megtett út** – skaláris mennyiség. Az *s* **elmozdulás** – az egyenesnek a test mozgása kezdeti és végpontját összekötő irányított szakasza, amely fizikai vektormennyiség (28.2. ábra).

Ha a test azonos időintervallumokban egyenlő elmozdulásokat végez, akkor a mechanikai mozgást **egyenés vonalú egyenletes** mozgásnak nevezzük. Az ilyen mozgás *v* sebessége sem értékében, sem irányában nem változik; a sebességvektor iránya megegyezik az elmozdulásvektor irányával ($(\vec{v} \uparrow \vec{s})$; az



28.1. ábra. Mechanikai mozgás példái

egyenes vonalú egyenletes mozgás sebességének abszolút értékét a következő képlet segítségével számítják ki: $v = \frac{s}{t}$.

Tehát megismételve az előző években tanultakat, folytatjuk a kinematika elsajátítását.

2 Defináljuk a gyorsulást

Elvégezzünk egy egyszerű kísérletet, amihez fából készült csatornára és golyóra lesz szükségünk. Megemeljük a csatorna egyik végét, majd ráhelyezzük a golyót és elengedjük. A golyó lefelé kezd gurulni (28.3. a ábra). Láthatjuk, hogy minél távolabb van a golyó a csatorna felső végétől, annál nagyobb távolságot tesz meg 1 s alatt. Ez azt jelenti, hogy a golyó mozgásának sebessége nő az eltelt idő függvényében.

Megismételjük a kísérletet úgy, hogy megnöveljük a csatorna dőlésszögét (28.3. b ábra) – ebben az esetben gyorsabban nő a golyó sebessége. A második kísérletre a fizikában azt mondják, hogy a golyó nagyobb *gyorsulással* mozgott.

A **gyorsulás** a test sebességváltozásának gyorsaságát jellemző fizikai vektormennyiség, ami egyenlő a test sebességváltozásának és a változás időtartamának hányadosával:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

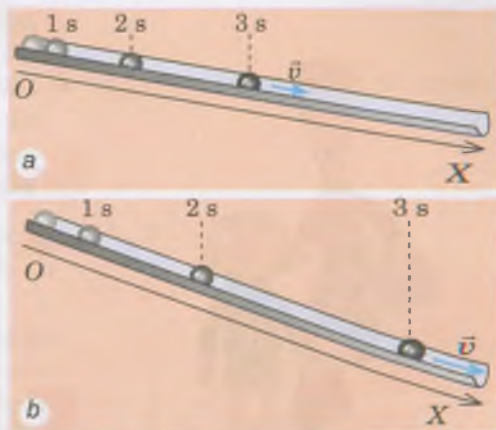
ahol $\vec{a}$ – a test mozgásának gyorsulása; $\vec{v}_0$ – kezdeti sebesség (a test sebessége a megfigyelés kezdeti pillanatában); $\vec{v}$ – a test sebessége t idő múlva.

Hogy elkerüljük a vektorokkal végzendő összetett matematikai műveleteket, az adott képletet felírjuk az OX koordinátatengelyre eső vetületek segítségével:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

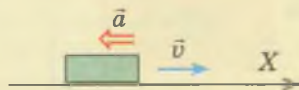


28.2. ábra. Az elmozdulás azt mutatja, milyen irányban, és mekkora távolságra mozdult el a test meghatározott időintervallumban



28.3. ábra. A golyó helyzete a csatornában a megfigyelés 1., 2. és 3. másodpercében

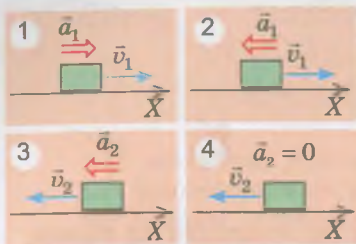
Megismételjük a matematikát



- Ha a vektor iránya megegyezik a koordinátatengely irányával, akkor a vektor vetülete erre a tengelyre a vektor modulusával egyenlő.

- Ha a vektor iránya ellentétes a koordinátatengely irányával, akkor a vektor vetülete erre a tengelyre a vektor modulusának „-” előjellel vett értékével egyenlő.

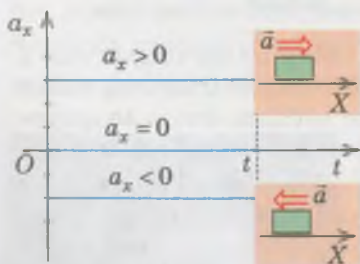
Az ábrán látható esetre vonatkozóan: $a_x = -a$; $v_x = v$.



28.4. ábra. A 28. §-ban található feladathoz



28.5. ábra. Iskolába menet hol gyorsabban, hol lassabban növeltek a sebességeteket, néha lassabban, egyes időintervallumokban pedig változatlan sebességgel haladtok



28.6. ábra. Az $a_x(t)$ függvény grafikonja egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén

A gyorsulás mértékegysége a SI rendszerben a méter per másodperc a négyzeteten:

$$[a] = \frac{1 \text{ m/s}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

A gyorsulás iránya megegyezik a testre ható erők eredőjének az irányával.

- Ha a gyorsulás iránya megegyezik a mozgás irányával ($\vec{a} \uparrow \vec{v}$), akkor a test sebessége növekszik (az eredő előre tolja a testet).
- Ha a gyorsulás iránya ellentétes a mozgás irányával ($\vec{a} \downarrow \vec{v}$), a test sebessége csökken (az eredő gátolja a mozgást, lassítja a testet).
- Ha $a = 0$, akkor a testre ható erők kiegyenlítik egymást, és a test egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, vagy nyugalmi állapotban van.

Mindegyik esetre tisztázzátok (28.4. ábra), hogy az adott pillanatban növekszik-e vagy csökken a test sebessége! Mondjatok példákat ilyen mozgásokra!

3 Megtudjuk, milyen mozgást neveznek egyenes vonalú egyenletesen gyorsulónak

Ha a test nem egyenletes mozgást végez, akkor sebessége az idő múlásával folyamatosan változik. Általában azonos időintervallumokban a test mozgássebessége különböző mértékben változik (28.5. ábra). Ebben a tanévben a gyorsuló mozgás legegyszerűbb típusával – az *egyenletesen gyorsuló mozgással* – ismerkedünk meg, és megtudjuk, hogy ilyen mozgásról abban az esetben beszélhetünk, ha a testre ható erők eredője változatlan.

Az **egyenletesen gyorsuló mozgás** olyan mozgás, amelynek során a test sebessége tetszőlegesen választott azonos időközökben egyformán változik.

Másként fogalmazva, az *egyenletesen gyorsuló mozgás* – *állandó gyorsulással végzett mozgás*. Az egyenletesen gyorsuló mozgás során a test gyorsulása nem változik, ezért az $a_x(t)$ függvény grafikonja az időtengellyel párhuzamos egyenes szakasza (28.6. ábra).

4 Meghatározzuk az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás sebességét

Ha a test egyenletes gyorsuló mozgást végez, akkor sebessége egész idő alatt változik. Ezért a továbbiakban, a test sebességéről beszélve, az alatt annak pillanatnyi sebességét fogjuk érteni.

A pillanatnyi sebesség – a test sebessége az adott pillanatban, a test sebessége a mozgáspálya adott pontjában.

Az egyenletesen gyorsuló mozgás sebességének meghatározására alkalmazzuk a gyorsulás képletét. Mivel $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, ezért

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

A továbbiakban ennek a képletnek az OX tengelyre vonatkoztatott vetületekben felírt alakját fogjuk használni:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Ha adott a test sebességvetületének az egyenlete, akkor meg van adva a kezdeti sebessége (v_0) és gyorsulása (a) is.

Például a sebesség vetületének képlete: $v_x = 20 - 3t$. Ez azt jelenti, hogy $v_{0x} = 20$ m/s (a kezdeti sebesség 20 m/s, az iránya megegyezik az OX tengely irányával); $a_x = -3$ m/s² (a gyorsulás 3 m/s², a „-” pedig azt mutatja, hogy a gyorsulás iránya ellentétes az OX irányával).

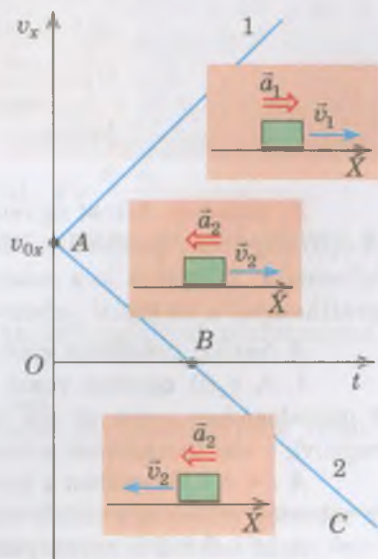
Határozzátok meg a test kezdeti sebességét és gyorsulását, ha a sebesség vetületének egyenlete $v_x = -10 + 2t$!

A $v_x = v_{0x} + a_x t$ összefüggés lineáris, ezért a sebesség vetületének grafikonja – a $v_x(t)$ grafikonja – az időtengelyhez viszonyítva bizonyos szögben megdőlt egyenes szakasza (28.7. ábra).

A $t = 0$ pillanatban a test sebessége a kezdeti sebességével egyenlő ($v_x(v_x = v_{0x})$), vagyis a $v_x(t)$ függvény grafikonja az ordinátatengely ($0; v_{0x}$) koordinátájú pontjában kezdődik.

Ha a gyorsulás vetülete pozitív ($a_x > 0$), akkor a sebesség grafikonja emelkedik (1. grafikon a 28.7. ábrán). Ha a gyorsulás vetülete negatív ($a_x < 0$), akkor a sebesség grafikonja lefelé ereszkedik (2. grafikon a 28.7. ábrán).

Figyeljétek meg: a 28.7. ábra 2. grafikonjának B pontja a **fordulópont**.



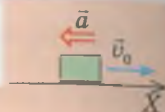
28.7. ábra. $v_x(t)$ függvény grafikonja egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgás esetén. Az 1. test egész idő alatt növeli a sebességét: $\vec{a}_1 \uparrow \vec{v}_1$. A 2. test először lassul: $\vec{a}_2 \uparrow \vec{v}_2$ (AB szakasz), majd megáll (B pont), később újra felgyorsul, de már ellenkező irányba, mivel $\vec{a}_2 \uparrow \vec{v}_2$ (BC szakasz)

5 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

1. feladat. A 90 km/h sebességgel haladó gépkocsi megállt a közlekedési lámpa előtt. Határozzátok meg az autó fékezésének idejét, ha a mozgását 5 m/s^2 -tel gyorsuló egyenes vonalú egyenletesen gyorsulónak tekintjük!

A fizikai probléma elemzése. A gépkocsi megáll, tehát a végsebessége nulla ($v = 0$), a gyorsulási vektor iránya pedig a sebességgel ellentétes irányú.

Magyarázó rajzot készítünk, amelyen feltüntetjük a koordinátatengelyt (iránya essen egybe a mozgás irányával), az autó mozgásának sebességét és gyorsulását.



Adva van:

$$\begin{aligned} v_0 &= 90 \text{ km/h} = \\ &= 25 \text{ m/s} \\ a &= 5 \text{ m/s}^2 \\ v &= 0 \end{aligned}$$

Meghatározzuk:
 $t = ?$

Matematikai modell keresése, megoldás

A mozgás egyenletesen gyorsuló, ezért $v_x = v_{0x} + a_x t$. Felhasználva a rajzot, pontosítjuk ezt az egyenletet: $v_{0x} = v_0$, $a_x = -a$, $v_x = 0$, tehát

$$0 = v_0 - at \Rightarrow v_0 = at \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, és kiszámítjuk a keresett mennyiséget:

$$[t] = \frac{\text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{s} \cdot \text{m}} = \text{s}; \quad t = \frac{25}{5} = 5 \text{ (s)}.$$

Felelet: $t = 5 \text{ s}$.

2. feladat. A test egyenes vonalú mozgást végzett az OX tengely mentén. A $v_x(t)$ függvény grafikonja alapján (28.8. ábra): 1) írástok le a test mozgásának jellemzőit; 2) írástok le a mozgássebesség vetületének egyenletét; 3) ábrázoljátok grafikonnal a mozgási sebesség gyorsulása vetületének időfüggését!

A fizikai probléma elemzése, megoldás

1. A $v_x(t)$ egyenes vonal, tehát a test mozgása egyenletesen gyorsuló. Az első 4 másodpercben a test az OX tengellyel ellentétes irányban haladt (a sebességvetület negatív), a test mozgásának sebessége csökkent.

A $t = 4 \text{ s}$ időpontban a test megállt, ezután ellentétes irányban kezdett el mozogni (a sebesség vetületének előjele ellenkezőjére változik).

A következő 3 másodpercben a test egyenletesen gyorsuló mozgást végzett az OX tengellyel megegyező irányban, mozgássebessége eközben nőtt.

2. Felírjuk általános alakban az egyenletesen gyorsuló mozgás sebességvetületének egyenletét:

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Konkretizáljuk ezt az egyenletet:

a) a grafikon alapján meghatározzuk a kezdősebesség koordinátáját: $v_{0x} = -8 \text{ m/s}$;

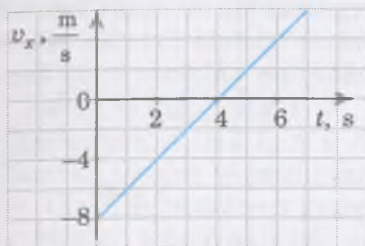
b) kiválasztunk a grafikonon egy tetszőleges pontot, például azt, amelyiknek $t = 4 \text{ s}$ és $v_x = 0$ felel meg, és meghatározzuk a gyorsulás vetületét:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \frac{0 - (-8 \text{ m/s})}{4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2;$$

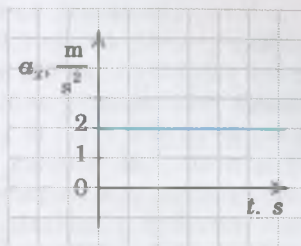
c) behelyettesítjük a kapott értékeket a test mozgásának sebességvetületét kifejező egyenletbe:

$$v_x = -8 + 2t.$$

3. A test gyorsulása állandó ($a_x = 2 \text{ m/s}^2$), ezért az $a_x(t)$ függvény grafikonja az időtengellyel párhuzamos és fölülte elhelyezkedő egyenes (28.9. ábra).



28.8. ábra. A 28. §. 2. feladatához



28.9. ábra. A 28. §. 2. feladatához



Összegezés

Az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás olyan mozgás, amelynek során a test sebessége tetszőlegesen választott azonos időközökben egyformán változik.

A gyorsulás $\vec{a}$ olyan fizikai vektormennyiség, ami a test mozgássebesség-változásának gyorsaságát jellemzi, és egyenlő a test mozgássebesség-változásának és a változás időtartamának hányadosával: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$.

A gyorsulás mértékegysége a SI rendszerben: méter per másodperc a négyzetben (m/s^2).

Az egyenletesen gyorsuló mozgás esetében:

- a gyorsulás vetületének $a_x(t)$ grafikonja az időtengellyel párhuzamos egyenes;
- a sebesség lineárisan változik: $v_x = v_{0x} + a_x t$;
- a $v_x(t)$ mozgássebesség vetülete az egyenesnek az időtengelyhez viszonyítva ferde szakasza.



Ellenőrző kérdések

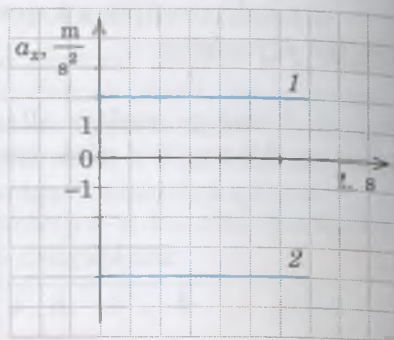
1. Milyen egyenes vonalú mozgást nevezünk egyenletesen gyorsulónak?
2. Hogyan definiáljuk a gyorsulást?
3. Mi a gyorsulás mértékegysége a SI rendszerben?
4. Milyen alakú az $a_x(t)$ függvény grafikonja az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetében?
5. Írjátok fel a $v_x(t)$ összefüggés egyenletét az egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgásra nézve! Milyen alakja van ennek a függvénygrafikonnak?
6. Hogyan mozog a test, ha gyorsulásának iránya: a) megegyezik a sebesség irányával? b) ellentétes a sebesség irányával? Hogyan mozog a test, ha gyorsulása nulla?



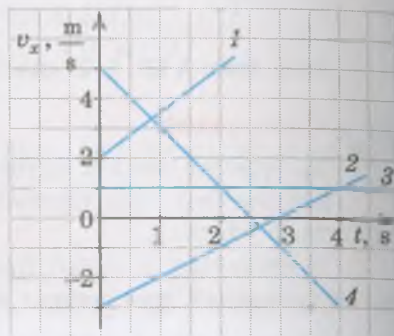
28. gyakorlat

1. Mozoghat-e a test nagy sebességgel, de kis gyorsulással?
2. Számítsátok ki, milyen gyorsulással mozog az álló helyzetből induló autó, ha tudjuk, hogy sebessége 10 s alatt eléri a 15 m/s-ot?
3. A golyót felfelé lökték egy lejtőn, 2 m/s kezdősebességet közölve vele. Határozzátok meg a golyó mozgássebességét 0,5 s; 1 s; 1,5 s-mal a mozgás kezdetét követően, ha a gyorsulása 2 m/s²! A kapott eredményeket magyarázzátok meg!

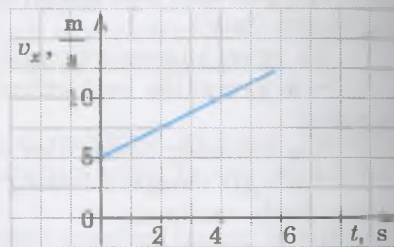
4. Az állandó $0,2 \text{ m/s}^2$ gyorsulású egyenes vonalú mozgás során a kerékpáros 25 s alatt éri el az 5 m/s sebességet. Mennyi volt a kerékpáros kezdősebessége?
5. Mennyi időre van szüksége az autóbussznak ahhoz, hogy sebességét 54 km/h -ról 5 m/s -ra változtassa? Az autóbusz gyorsulása állandó, értéke $0,5 \text{ m/s}^2$.
6. Adva van három, az OX tengely mentén mozgó test sebességvetületének egyenlete: a) $v_x = 2 + t$; b) $v_x = -20 + 5t$; c) $v_x = 10 - 3t$. Minden mennyiség SI egységekben van megadva. Mindegyik test esetében tisztázzátok: 1) hogyan mozgott a test; 2) mennyi a test kezdeti sebessége és gyorsulása; 3) ha a test megállt, akkor mennyi idő elteltével!
7. Az 1. ábrán két test $a_x(t)$ függvénygrafikonja látható. Írjátok le mindegyik test sebességének $v_x(t)$ függvényét, és rajzoljátok meg grafikonjaikat, ha $v_{01x} = -4 \text{ m/s}$, $v_{02x} = 8 \text{ m/s}$.
8. A 2. ábrán négy test esetében a $v_x(t)$ függvény grafikonja látható. Írjátok le mindegyik test sebességvetületének egyenletét, és szerkesszétek meg az $a_x(t)$ függvény grafikonját!
9. A test huzamosabb ideig egyenletesen gyorsulva mozgott. A 3. ábrán a $v_x(t)$ függvény grafikonja látható egy meghatározott időponttól kezdve. Határozzátok meg azt az időpontot, amikor a test megváltoztatta mozgásának irányát!
10. A 3. ábra segítségével határozzátok meg a test által a megfigyelés első 4 s -ma alatt megtett utat!



1. ábra



2. ábra



3. ábra



29. §. ELMOZDULÁS EGYENES VONALÚ EGYENLETESEN GYORSULÓ MOZGÁS ESETÉBEN. KOORDINÁTA-EGYENLET

Bizonyára láttátok már a televízióban, hogy amikor közlekedési baleset történik, a közlekedési rendőrök megméri a fékutat. Miért teszik ezt? Azért, hogy meghatározzák a gépkocsi mozgássebességét a fékezés kezdetén, valamint gyorsulását a fékezés közben. Ezeket az adatokat a továbbiakban felhasználják a baleset okainak tisztázása során: átlépte-e a vezető a megengedett sebességet, hibásan működtek-e a fékek, esetleg az autóval minden rendben volt, és a gyalogos a hibás, aki megszegte a közlekedési szabályokat. Hogyan lehet a fékezés idejének és a fékút hosszának az ismeretében kiszámítani a mozgás sebességét és gyorsulását, megtudjátok ebből a paragrafusból.

1 Megismerkedünk az elmozdulás vetületének mértani tartalmával

A 7. osztályban már tanultátok, hogy bármilyen mozgás esetén a megtett út számbelileg egyenlő a mozgás sebességmodulusnak a megfigyelés idejétől történő függését ábrázoló grafikon alatt elhelyezkedő mértani alakzat területével. Hasonló a helyzet az elmozdulás vetületének a meghatározása esetén is (29.1. ábra).

Megkapjuk a test $t_1 = 0$ és $t_2 = t$ időintervallumban történt elmozdulása vetületének a képletét. Olyan egyenletesen gyorsuló mozgást fogunk vizsgálni, amelynek során a kezdősebesség és a gyorsulás iránya is megegyezik az OX tengely irányával. Ebben az esetben a sebesség vetületének a grafikonja olyan, mint ahogy azt a 29.2. ábra mutatja, az elmozdulás pedig számbelileg az $OABC$ trapéz területével egyenlő:

$$S_{OABC} = \frac{OA + BC}{2} \cdot OC.$$

A grafikonon az OA a v_{0x} kezdeti sebesség vetületének felel meg, a BC szakasz a t időintervallumnak. A szakaszok helyett beírjuk azok értékeit, és figyelembe véve, hogy $s_x = S_{OABC}$, megkapjuk az elmozdulás vetületének képletét:

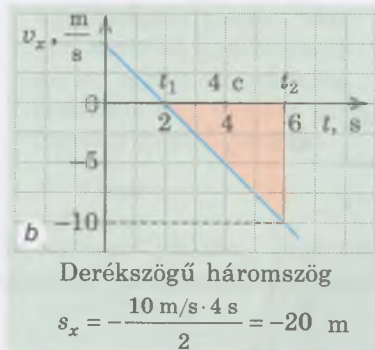
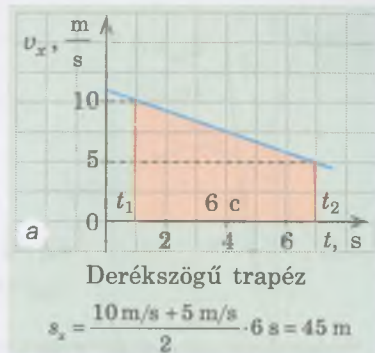
$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t \quad (1)$$

Megjegyezzük, hogy az (1) képlet minden *egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás* esetében érvényes.

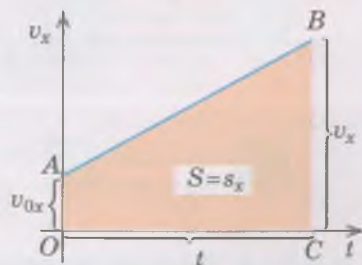
? Az (1) képlet alkalmazásával határozzátok meg a test elmozdulását a 29.1. *b* ábrán látható mozgásgrafikon alapján a megfigyelés kezdete utáni 2 s és 4 s alatt! A feleletet magyarázzátok meg!

2 Felírjuk az elmozdulás vetületének egyenletét

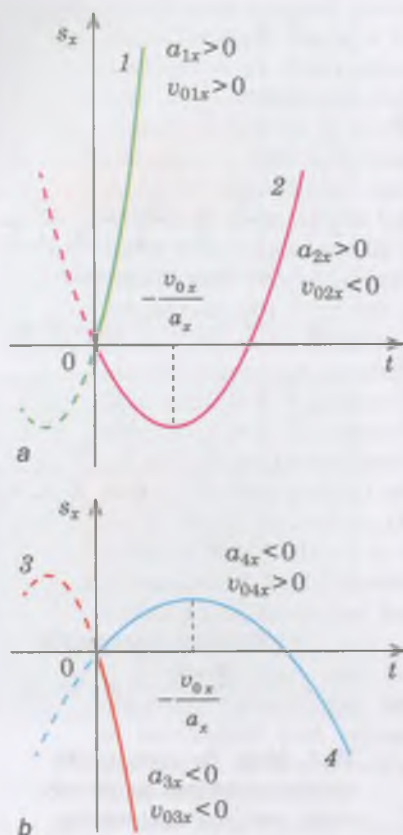
Az (1) képletből kizárjuk a v_x változót. Ennek érdekében felidézzük, hogy az egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgás esetén $v_x = v_{0x} + a_x t$. Ezt a kifejezést behelyettesítjük az (1) képletbe, és a következőt kapjuk:



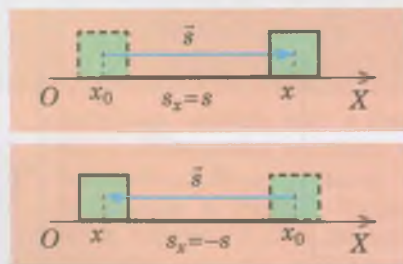
29.1. ábra. Az elmozdulás mértani tartalma: az elmozdulás vetülete számbelileg egyenlő a $v_x(t)$ grafikon, az időtengely és a $t = t_1$ és $t = t_2$ egyenesek által határolt mértani alakzat területével. $s_x > 0$, ha a kapott alakzat az időtengely felett helyezkedik el (a); $s_x < 0$, ha a kapott alakzat az időtengely alatt található (b)



29.2. ábra. Az elmozdulás vetületképletének levezetéséhez



29.3. ábra. Az elmozdulás vetületének a grafikonja egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén a koordinátatengely középpontján áthaladó parabola; ha $a_x > 0$, a parabola szárjai felfelé mutatnak (a); ha $a_x < 0$, a szárak lefelé irányulnak (b)



29.4. ábra. Koordinátatengely kiválasztása egyenes vonalú mozgás esetén

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_{0x} + a_x t}{2} \cdot t = \frac{2v_{0x} + a_x t}{2} \cdot t = v_{0x} t + \frac{a_x}{2} t^2$$

Tehát egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén az **elmozdulás vetületének egyenlete:**

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x}{2} t^2 \quad (2)$$

Mivel a v_{0x} és a_x mennyiségek nem függenek a megfigyelés idejétől, ezért az $s_x(t)$ függvény **másodfokú**. Például, ha $v_{0x} = 2$ m/s, $a_x = -1$ m/s², akkor $s_x = 2t - 0,5t^2$.

Tehát az **elmozdulás vetületének grafikonja** egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén **parabola** (29.3. ábra), amelynek csúcsa a fordulási pontnak felel meg:

$$v_x = 0 \Rightarrow v_{0x} + a_x t = 0 \Rightarrow t = -\frac{v_{0x}}{a_x},$$

ahol a t – a fordulás ideje.

Felhasználva a gyorsulás meghatározását $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$ és az $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t$ képletet, megkapjuk az elmozdulás vetületének egy másik képletét:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x} \quad (3)$$

A (3) képlet alkalmazása abban az esetben kézenfekvő, amikor a feladat feltételei között nem szerepel a test mozgási ideje, és nem is kell azt meghatározni.

Reméljük, nem okoz gondot a (3) képlet önálló levezetése.

Figyeljétek meg: a v_x , v_0 és a_x vetületek az (1)–(3) képletekben a $\vec{v}$, $\vec{v}_0$ és $\vec{a}$ vektorok OX tengelyhez viszonyított irányától függően lehetnek pozitívak és negatívak is.

3 Felírjuk a koordinátaegyenletet

A mechanika egyik legfontosabb feladata a test helyzetének (test koordinátáinak) meghatározása bármely időpontban. Mivel egyenes vonalú mozgást vizsgálunk, ezért

csak egy koordinátatengelyre van szükségünk (például OX), amelynek az iránya megegyezik a test mozgásának irányával (29.4. ábra). A 29.4. ábrából láthatjuk, hogy a test mozgásának irányától függetlenül meghatározható annak x koordinátája:

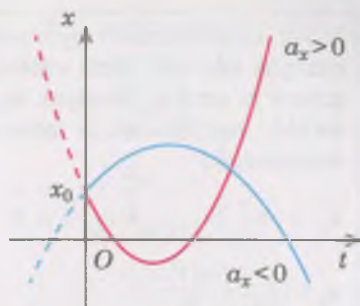
$$x = x_0 + s_x,$$

ahol x_0 – kezdeti koordináta (a test koordinátája a megfigyelés kezdetekor); s_x – az elmozdulás vektora.

Az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$, ezért ilyen mozgás esetén a koordinátaegyenlet a következőképpen néz ki:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$$

Az utóbbi egyenletet elemezve arra a következtetésre jutunk, hogy az $x(t)$ függvény másodfokú, ezért a *koordinátaegyenlet grafikonja parabola* (29.5. ábra).



29.5. ábra. Egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén a koordináta és az idő közötti összefüggés grafikonja az x tengelyt az x_0 pontban metsző parabola

4 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Az egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgással kapcsolatos feladatok megoldásának fő szakaszait az alábbi példákon vizsgáljuk meg.

A műveletek sorrendje

1. Figyelmesen olvassátok el a feladat feltételét! Tisztázzátok, mely testek vesznek részt a mozgásban, milyen a mozgásuk jellege, a mozgás mely paraméterei ismertek!

2. Írjátok le a feladat rövid feltételét! Szükség esetén a fizikai mennyiségek értékeit alakítsátok át a SI rendszer egységeivé!

3. Készítsetek magyarázó rajzot, feltüntetve rajta a koordinátatengelyt, a sebességek irányát, a kezdősebességet, a gyorsulást!

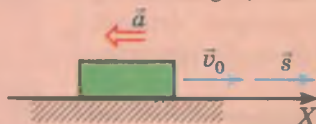
A feladat megoldásának példája

1. feladat. A vonat a fékezés megkezdését követően 225 m-t tett meg a megállóig. Milyen volt a vonat sebessége a fékezés megkezdése előtt? Tekintsétek úgy, hogy a vonat gyorsulása állandó, értéke $0,5 \text{ m/s}^2$!

Adva van: $s = 225 \text{ m}$
 $a = 0,5 \text{ m/s}^2$
 $v = 0$

Meghatározzuk: v_0 — ?

A magyarázó rajzon az OX tengelyt a vonat haladási irányával megegyezően irányítjuk. Mivel a vonat csökkenti a sebességét, ezért $\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}_0$.



4. Az egyenletesen gyorsuló mozgás képletei közül válasszatok ki azokat, amelyek leginkább megfelelnek a feladat feltételének!

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}; v_x = v_{0x} + a_x t;$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}; s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t.$$

Konkretizáljátok a választott képleteket a feladatok számára!

5. Oldjátok meg a feladatot általános alakban!

6. Ellenőrizték a mértékegységeket, számítsátok ki a keresett mennyiséget!

7. Írjátok le, és elemezték az eredményt!

8. Írjátok le a feleletet!

1. Figyelmesen olvassátok el a feladat feltételét! Tisztázzátok, milyen a testek mozgásának jellege, a mozgás mely paraméterei ismertek!

2. Írjátok le a feladat rövid feltételét! Szükség esetén a fizikai mennyiségek értékeit alakítsátok át a SI rendszer egységeivé.

A feladat feltétele alapján ismert az a , v és s , meg kell határozni a v_0 -t. Mind a négy fizikai mennyiség szerepel az $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ képletben.

Az elmozdulás és a kezdősebesség iránya megegyezik az OX tengely irányával, ezért $s_x = s$, $v_{0x} = v_0$. A gyorsulás iránya ellentétes az OX tengellyel, ezért $a_x = -a$. A feltétel szerint a végsebesség $v = 0$. Behelyettesítjük a kapott adatokat

$$\text{az elmozdulás képletébe: } s = \frac{0 - v_0^2}{-2a} = \frac{v_0^2}{2a}.$$

Az $s = \frac{v_0^2}{2a}$ képletből meghatározzuk a v_0 -t, a mozgás kezdősebességét: $v_0^2 = 2as$, ahonnan $v_0 = \sqrt{2as}$.

$$[v] = \sqrt{\frac{m}{s^2}} m = \sqrt{\frac{m^2}{s^2}} = \frac{m}{s};$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 225 \cdot 0,5} = \sqrt{225} = 15 \text{ (m/s)}.$$

$v_0 = 15 \text{ m/s} = 54 \text{ km/h}$ – a vonat sebességének teljesen valós értéke.

Felelet: $v_0 = 54 \text{ km/h}$.

2. feladat. Az utca egyenes szakaszán állandó 2 m/s sebességgel megy egy gyalogos. Utána egy motorkerékpár közlekedik, amely 2 m/s^2 gyorsulással halad. Mennyi idő múlva hagyja el a motorkerékpár a gyalogost, ha a megfigyelés kezdeti pillanatában a közöttük lévő távolság 300 m , a motorkerékpár sebessége 22 m/s ? Mekkora távolságot tesz meg a motorkerékpár ezen idő alatt?

$$\text{Adva van: } v_{gy} = 2 \text{ m/s}$$

$$a_m = 2 \text{ m/s}^2$$

$$l = 300 \text{ m}$$

$$v_{0m} = 22 \text{ m/s}$$

Meghatározzuk: $t - ? s_m - ?$

3. Készítsetek magyarázó rajzot, tüntessétek fel rajta a koordinátatengelyt, a testek helyzetét, a gyorsulás és sebesség irányát!

4. Írjátok fel a koordináta-egyenletet általános alakban, majd a rajz segítségével konkretizáljátok az egyenletet minden test számára!

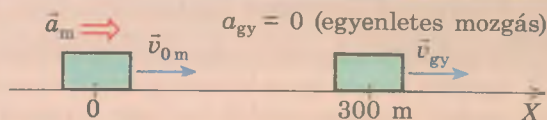
5. Figyelembe véve, hogy a találkozás (elhagyás) pillanatában a testek koordinátái azonosak, írjátok fel a másodfokú egyenletet!

6. Oldjátok meg a kapott egyenletet, és határozzátok meg a testek találkozásának idejét!

7. Számítsátok ki a testek koordinátáit a találkozás pillanatában!

8. Határozzátok meg a keresett mennyiséget, és elemeztétek az eredményt!

9. Írjátok le a feleletet!



$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$$

Motorkerékpár

$$\begin{aligned} x_0 &= 0; \\ v_{0x} &= 22 \text{ m/s}; \\ a_x &= 2 \text{ m/s}^2; \\ x_m &= 22t + t^2. \end{aligned}$$

Gyalogos

$$\begin{aligned} x_0 &= 300 \text{ m}; \\ v_x &= 2 \text{ m/s}; \\ a &= 0; \\ x_{gy} &= 300 + 2t. \end{aligned}$$

$$x_m = x_{gy};$$

$$22t + t^2 = 300 + 2t;$$

$$22t + t^2 - 2t - 300 = 0 \Rightarrow t^2 + 20t - 300 = 0.$$

$$D = 20^2 + 4 \cdot 300 = 1600; \quad t_1 = \frac{-20 + 40}{2} = 10 \text{ (s)};$$

$$t_2 = \frac{-20 - 40}{2} = -30 \text{ (s)} - \text{külső gyök (a feladat feltételei szerint).}$$

$$x_m = x_{gy} = 300 + 2t = 300 + 2 \cdot 10 = 320 \text{ (m).}$$

A motorkerékpár az $x_{0m} = 0$ koordinátájú pontban volt, majd az $x_m = 320$ pontban érte utol a gyalogost, tehát a motorkerékpár 320 m-t tett meg. A gyalogos ezalatt 20 m-t haladt. Ez valós eredmény.

Felelet: $t = 10 \text{ s}$; $s_m = 320 \text{ m}$.



Összegezés

A test egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgása esetén:

- az elmozdulás vetülete számbelileg egyenlő a mozgás sebességvetületének $v_x(t)$ grafikonja alatt lévő mértani alakzat területével: $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t$. Ez az elmozdulás mértani tartalma;
- az elmozdulás vetületének egyenlete: $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$, ami másodfokú egyenlet, ezért az $s_x(t)$ függvény grafikonja parabola, melynek a fordulópontra a csúcsa;
- a test koordinátája az $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$ egyenlet segítségével határozható meg; a koordináta grafikonja parabola.



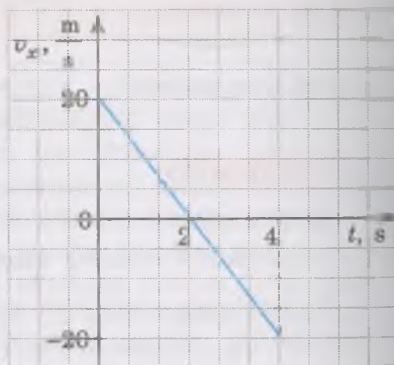
Ellenőrző kérdések

1. Milyen képletek alkalmazásával számítható ki az elmozdulás s_x vetülete az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén? Vezessétek le ezeket a képleteket!
2. Bizonyítsátok be, hogy a test elmozdulásának a megfigyelés idejétől való függését ábrázoló grafikon parabola! Merre irányulnak a parabola szárai?
3. Írjátok fel a koordinátaegyenletet az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetére! Nevezzétek meg az egyenlet által összekapcsoló fizikai mennyiségeket!



29. gyakorlat

1. Az 1 m/s sebességgel haladó síző megkezdte a lesiklást a hegyről. Határozzátok meg a lejtő hosszát, ha a síző 10 s alatt teljesítette a távot, és $0,5 \text{ m/s}^2$ állandó gyorsulással mozgott!
2. A személyvonat a fékezés során 54 km/h -ról 5 m/s -ra csökkentette sebességét. Számítsátok ki a fékezés alatt megtett utat, ha a vonat 1 m/s^2 állandó gyorsulással mozgott!
3. A személyautó féke rendben működik, ha 8 m/s sebesség mellett a fékút $7,2 \text{ m}$ -rel egyenlő. Határozzátok meg a fékezés időtartamát és a gépkocsi gyorsulását!
4. Az OX tengely mentén mozgó két test koordinátaegyenlete a következő: $x_1 = 8 - 2t + t^2$; $x_2 = -2 - 5t + 2t^2$.
 - 1) Mindkét test számára határozzátok meg, milyen: a) a mozgása; b) a kezdeti koordinátája; c) a kezdeti sebesség modulusa és iránya; d) a mozgásuk gyorsulása!
 - 2) Határozzátok meg a testek találkozásának idejét és koordinátáját!
 - 3) Mindkét test estében írjátok fel a $v_x(t)$ és $s_x(t)$ egyenleteket, valamint szerkesszétek meg a sebesség és az elmozdulás vetületének grafikonját!
5. Az ábrán egy adott test mozgási sebességvetületének grafikonja látható. Állapítsátok meg a test által megtett utat és elmozdulását az idő mérésének 4 másodperce alatt! Írjátok le a koordinátaegyenletet, ha a $t = 0$ időpontban a test a -20 m koordinátájú pontban volt!
6. Két gépkocsi ugyanabból a pontból, ugyanabba az irányba indult. Az első autó húsz másodperccel a második után indult el. Mindkét jármű egyenletesen gyorsulva $0,4 \text{ m/s}^2$ gyorsulással haladt. Az első autó indulásától számítva mennyi idő múlva lesz a távolság közöttük 240 m ?



7. A metró mozgólépcsője $2,5 \text{ m/s}$ sebességgel emelkedik. Lehet-e a mozgólépcsőn álló ember nyugalmi állapotban a Földhöz kötött viszonyítási rendszerben? Ha igen, akkor milyen feltételek mellett? Tekinthető-e az ember mozgása e feltételek mellett tehetetlenségi mozgásnak? A válaszotokat indokoljátok meg!

30. §. INERCIÁLIS VONATKOZTATÁSI RENDSZEREK. NEWTON ELSŐ TÖRVÉNYE

Már beszéltünk a zseniális angol tudósról, *Isaac Newton*-ról (1642–1727). Érdemeiért lovaggá ütötték és lord címet kapott. „A természet nyitott könyv volt számára, amelyet gond nélkül olvasott” – írta róla *Albert Einstein* (1879–1955). A *természetfilozófia matematikai alapelvei* (1687) c. könyvében Newton megfogalmazta a „mozgás axiómáit”, amit ma *Newton törvényeinek* nevezünk. A következő paragrafusban Newton első törvényével ismerkedhettek meg.

1 Felidézzük a tehetetlenség törvényét

A 7. osztályos fizika tananyagából felidézzük, milyen feltételek mellett van a test nyugalomban vagy végez egyenes vonalú egyenletes mozgást. Bizonyára emlékeztek a **tehetetlenségi vagy inerciatörvényre**, amelyet a XVI. sz. végén *Galileo Galilei* (1564–1642) olasz tudós fogalmazott meg:

A test akkor van nyugalmi állapotban vagy végez egyenes vonalú egyenletes mozgást, ha nem hatnak rá más testek, vagy azok hatása kiegyenlítődik (30.1., 30.2. ábrák).

Szerintetek fog-e mozogni a csillagoktól távol lévő űrhajó, ha kikapcsolják a hajtóműveit? Ha igen, akkor hogyan?

2 Tanulmányozzuk az inerciális vonatkoztatási rendszereket

A **tehetetlenség (inercia) jelensége** a nyugalmi állapot vagy az egyenes vonalú egyenletes mozgás megőrzése a test által, amikor nem hatnak rá más testek és terek, vagy a hatásaik kiegyenlítődnek.

De a mozgás és nyugalom állapota a vonatkoztatási rendszertől (VR) függ. Vajon minden VR-ben megfigyelhető a tehetetlenség jelensége?

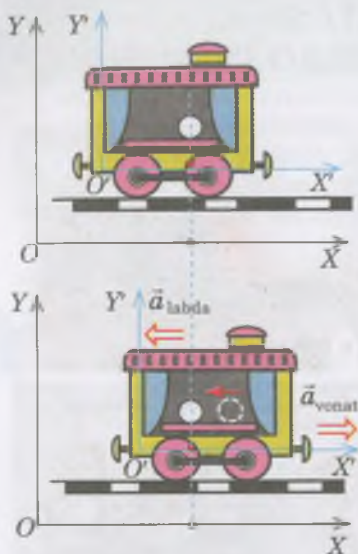
Képzeljétek el, hogy a peron mellett álló vonat fülkéjében ültök. Az asztalon egy labda van. A labdára két test hat: a Föld és az asztal. Az asztal és a Föld hatása kompenzálja



30.1. ábra. A testek a Földhöz viszonyítva nyugalomban vannak, mert a nehézségi erőt kiegyenlíti az asztal hatása (a); a függesztés hatása (b)



30.2. ábra. Az ejtőernyős egy ideig egyenes vonalú egyenletes mozgást végezhet, amikor a Föld hatását kiegyenlíti a szél és az ernyő hatása



30.3. ábra. A Föld és az asztal részéről a labdára ható két erő kiegyenlíti egymást. A peronhoz rögzített XOY vonatkoztatási rendszerben a *labda* *nyugalomban* marad, ezért ez a VR *inerciális*; a mozgását megkezdő vonathoz rögzített $X'O'Y'$ vonatkoztatási rendszerben a *labda* *gyorsulva* mozog, ezért ez a VR *nem inerciális*



30.4. ábra. Heliocentrikus vonatkoztatási rendszer: a rendszer kezdőpontja a Nap közepében van, a tengelyek a távoli csillagok felé mutatnak

egymást, és a labda nyugalmi állapotban van. Azonban amint a vonat elindul, a labda elkezd gurulni az asztalon a vonat irányával ellentétes irányba. Tehát a labda a peronhoz képest nyugalomban marad, a vonathoz képest viszont gyorsuló mozgásba kezd (30.3. ábra). Vagyis a gyorsuló vonathoz kötött VR-hez képest a tehetetlenség nem figyelhető meg (a testek hatásai a labdára kiegyenlítődnék, de a labda nem őrzi meg a sebességét).

Azokat a VR-eket, amelyekben *nem teljesül a tehetetlenség törvénye*, **nem inerciális vonatkoztatási rendszereknek** nevezzük.

Azokat a VR-eket, amelyekben *teljesül a tehetetlenség törvénye*, **inerciális vonatkoztatási rendszereknek** mondjuk.

A továbbiakban, ha nincs egyéb kikötés, *csak inerciális rendszereket fogunk használni*.

Általában inerciális vonatkoztatási rendszerként a földfelszín egy fix pontjához szigorúan rögzített VR-t használnak. De a szigorúan a Földhöz kötött vonatkoztatási rendszert csak feltételesen lehet inerciarendszernek nevezni, mivel a Föld forog a saját tengelye körül. A pontosabb mérésekhez más, a Naphoz kötött inerciarendszert – heliocentrikus vonatkoztatási rendszert – használnak (30.4. ábra).

Végtelenül sok inerciális VR van. Az *inerciális VR-hez képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző VR szintén inerciális*.

Például, ha a Földhöz képest megtartjátok nyugalmi állapototokat, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végeztek, akkor a Földhöz viszonyítva állandó sebességgel mozgó vonathoz képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végeztek (igaz, eltérő sebességgel).

Megjegyezzük, hogy a *klasszikus mechanikában** egyik inerciális VR-ből a másikba történő átmenet során a mozgás és elmozdulás sebessége, valamint a test koordinátái megváltoznak, de *az erő, a tömeg, a gyorsulás, a mozgásidő és a testek közötti távolság változatlan marad*.

* A klasszikus mechanika a fény sebességénél sokkal kisebb sebességgel rendelkező testek mozgását vizsgálja.

3 Megfogalmazzuk Newton első törvényét

Galilei tehetetlenségi törvénye az első lépés volt a mechanika klasszikus törvényeinek a felfedezéséhez. A testek fő mozgástörvényeinek megfogalmazásakor Newton ezt a törvényt a mozgás első törvényének nevezte el, és ilyen formában tette közzé: *Minden magára hagyott test megőrzi nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását addig, ameddig külső erők nem kényszerítik ennek az állapotnak a megváltoztatására.*

Vegyük figyelembe a következőket.

1. Az, hogy a test egyenes vonalú egyenletes vagy gyorsuló mozgást végez, esetleg nyugalmi állapotban van, kizárólag a VR kiválasztásától függ.

2. Az inerciális VR-ben a test nem csak abban az esetben végez egyenes vonalú egyenletes mozgást, vagy lesz nyugalomban, ha *magára van hagyva* (azaz nem hatnak rá más testek), hanem abban az esetben is, amikor a rá ható erők *kiegyenlítik* egymást.

Ebből kiindulva a modern fizikában **Newton első törvényét** a következőképpen fogalmazzák meg:

Léteznek olyan vonatkoztatási rendszerek, amelyekhez képest a test megőrzi nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, ha nem hatnak rá más testek, vagy hatásaik kiegyenlítik egymást.

Tehát *Newton első törvénye az inerciális vonatkoztatási rendszerek létezésének posztulátuma.*

* 4 Megismerkedünk Galilei relativitási elvével

Galilei a testeket a különböző inerciális VR-ekben vizsgálta, és arra a következtetésre jutott, amit róla **Galilei relativitási elvének** neveztek el:

Minden inerciális vonatkoztatási rendszerben a mechanikai jelenségek és folyamatok lefolyása egyenlő kezdeti feltételek esetén azonos.

Galilei a következőket írta: „Ha vitorlás hajó kajütjében vagyunk, és bármilyen kísérletet végzünk, akkor sem maguk a kísérletek, sem az eredményeik nem különböznek azoktól, amelyeket a parton végeztünk volna el. Csak a fedélzetre kilépve vesszük észre, hogy a hajónk egyenes vonalú egyenletes mozgásban van...”.

Ti is felállíthattok relativitási elvet, ha például kísérleteket végeztek az egyenes vonalú egyenletes mozgásban lévő vonat kocsijában. Az asztalon álló csésze nyugalmi állapotban van, de ha leejtünk egy kanalat, a vasúti kocsihoz képest az függőlegesen lefelé esik (30.5. ábra).



30.5. ábra. Semmilyen mechanikai kísérlettel nem deríthető ki, hogy a vonat egyenes vonalú egyenletes mozgást végez vagy nyugalmi állapotban van. Az utas az ablakon kinézve állapíthatja ezt meg



Összegezés

A test csak akkor végez egyenes vonalú egyenletes mozgást vagy van nyugalmi állapotban, ha nem hatnak rá más testek vagy terek, vagy ezek hatásai kiegyenlítődnek: ez Galilei tehetetlenségi törvényének modern megfogalmazása. A modern fizikában ezt a törvényt Newton első törvényének nevezik, és a következő megfogalmazásban alkalmazzák: léteznek olyan vonatkoztatási rendszerek, amelyekhez képest a test megőrzi nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, ha nem hatnak rá más testek, vagy azok hatásai kiegyenlítik egymást. Az ilyen vonatkoztatási rendszereket inerciális (tehetetlenségi) rendszereknek nevezzük.

Általában inerciális vonatkoztatási rendszerként a Földhöz kapcsolt VR-t használják.

Az inerciális rendszerhez képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végző vonatkoztatási rendszerek is inerciális rendszerek.



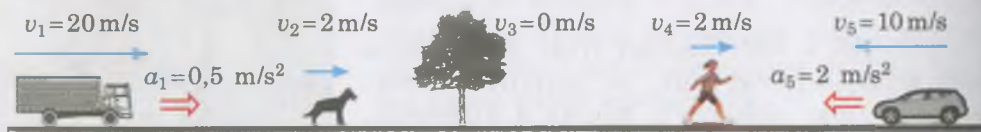
Ellenőrző kérdések

1. Milyen feltételek mellett őrzi meg a test mozgási sebességét? Hozzatok fel néhány példát!
2. Fogalmazzatok meg a tehetetlenségi törvényt!
3. Milyen VR-t neveznek inerciálisnak? Nem inerciálisnak? Mondjatok példákat ezekre a rendszerekre!
4. Fogalmazzatok meg Newton első törvényét! Mit állít a törvény?
- *5. Fogalmazzatok meg a Galilei-féle relativitási elvet!



30. gyakorlat

1. A széken ülve te is és a szék is nyugalmi állapotban van a Földhöz képest. Milyen testek hatnak a székre? Rád? Mi mondható el ezekről a hatásokról?
2. A vízfolyással szemben evező kajakosok képtelenek felfelé haladni a folyón. A kajak nyugalmi állapotban van a parthoz képest. Mely testek hatásai kompenzálják egymást ebben az esetben?
3. Az asztalon egy macska ül (lásd a 30.1. ábrát). Inerciális lesz-e a macskával összekötött VR? Inerciális lesz-e a plafonról leereszkedő pókkal összekötött VR? Inerciális lesz-e a macskát észrevevő és hirtelen lefékező egérrel összekötött VR? A válaszokat indokoljátok meg!
4. Az ábrán néhány test látható. 1) Melyik testhez kötnétek a VR-t, hogy inerciális maradjon? Nem inerciális? A választ indokoljátok meg! 2) Milyen lesz az adott pillanatban a kutya sebessége a gyalogossal összekötött VR-ben? A tehergépkocsival? 3) Milyen lesz a gépkocsi gyorsulása a fához viszonyítva; a gyalogoshoz viszonyítva?

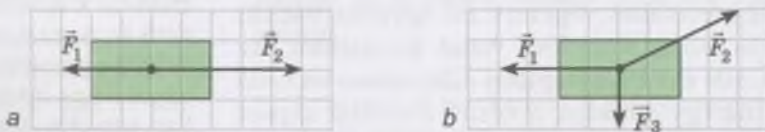


1. ábra

5. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjátok meg, miért Galileit tekintik a kísérleti-matematikai módszer megalapítójának!



- *6. A 2. ábrán két test és a rájuk ható erők láthatók (1 négyzet – 1 N). Határozzátok meg a testekre ható erők eredőjének irányát és modulusát!



2. ábra

31. §. NEWTON MÁSODIK TÖRVÉNYE

A 30. §-ban megismételtétek azokat a feltételeket, amelyeknél a test egyenes vonalú egyenletes mozgást végez. Milyen feltételek mellett mozog a test egyenletesen gyorsulva? Mitől függ a test mozgásának gyorsulása? Ezekre a kérdésekre a maga idejében Newton adta meg a választ, megfogalmazva a *mozgás második axiómáját*. Ebben a paragrafusban Newton második törvényéről – a *dinamika alaptörvényéről* – fogtok tanulni.

1 Meghatározzuk Newton második törvényét

A mindennapi életből már tudjátok: a test gyorsabban változtatja a sebességét (nagyobb gyorsulásra tesz szert), ha nagyobb erővel hatnak rá. A kísérletek arról tanúskodnak, hogy *ahányszor növekszik az erő értéke, ugyanannyiszor növekszik a gyorsulás, amelyet a test ennek az erőnek a hatására kapott*. Vagyis a test mozgásának gyorsulása egyenesen arányos a testre ható erővel:

$$a \sim F.$$

Ha *azonos erővel* hatnak eltérő tömegű testekre, akkor a testek gyorsulása különböző lesz: *minél nagyobb a test tömege, annál kisebb lesz a gyorsulása*. Például, ha a teniszlabdára és a tekegolyóra azonos erővel hatnak, akkor a tekegolyó mozgási sebessége kevésbé változik meg (illetve több időre van szükség, hogy ugyanúgy változzon a sebessége, mint a teniszlabdáé). Tehát a testnek a rá ható erő következtében szerzett gyorsulása fordítottan arányos a test tömegével:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

A testre ható erő, a test tömege és az erő hatására létrejött gyorsulás közötti összefüggést **Newton második törvénye** fogalmazza meg:

A gyorsulás, amelyre a test erő hatására szert tesz, egyenesen arányos az adott erővel, és fordítottan arányos a test tömegével:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Erő

Az $\vec{F}$ erő – fizikai vektormennyiség, egyik test másikra történő hatásának mértéke. Az erő mértékegysége a SI rendszerben a *newton*:

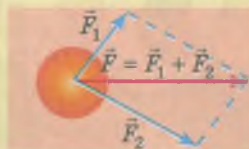
$$[F] = 1 \text{ N}.$$

Az erő ismert, ha ismeretes az értéke (modulusa), iránya és támadáspontja.

$\vec{F}$ értéke
iránya
támadáspontja

Ha a testre több erő hat, akkor azok hatása egy erővel – az $\vec{F}$ eredő erővel – helyettesíthető.

Az eredő erő egyenlő a testre ható erők vektoraiának összegével.



Tömeg

Az m tömeg – fizikai mennyiség, a testek tehetetlenségének mértéke.

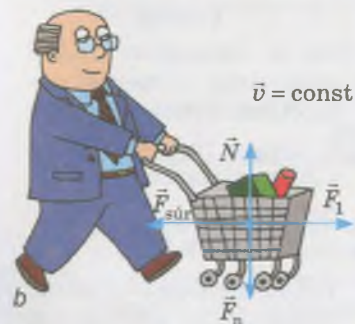
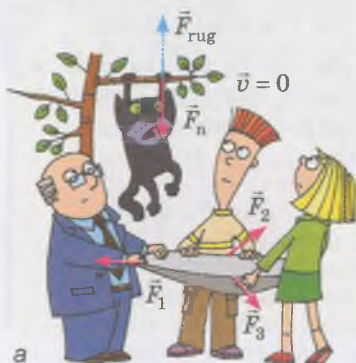
A tömeg mértékegysége a SI rendszerben a *kilogramm*:

$$[m] = 1 \text{ kg}.$$

Tehetetlenség – a testek tulajdonsága, amelynek a lényege abban nyilvánul meg, hogy a test sebességének kölcsönhatás általi megváltoztatásához *időre van szükség*.



31.1. ábra. Az $\vec{F}$ erő, az $\vec{F}_n$ nehézségi erő, az $\vec{N}$ reakcióerő és az $\vec{F}_{sűr}$ csúszási súrlódási erő eredője. Az $\vec{F}$ erő hozza létre a kislány $\vec{a}$ gyorsulását



31.2. ábra. Ha a testre ható erők eredője nulla, akkor a test nyugalomban van (a) vagy állandó sebességgel mozog (b)

Általában a testre egyidejűleg több erő hat. Ebben az esetben az $\vec{F}$ erőn a testre ható erők eredőit értik: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ (31.1. ábra), Newton második törvényét pedig a következőképpen írjuk fel:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m} \quad \text{vagy} \quad \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$$

Megjegyezzük, hogy Newtonnak az $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ alakban felírt második törvénye *csak az inerciális vonatkoztatási rendszerekben érvényes*.

2 Megismerkedünk Newton második törvényének következményeivel

1. Newton második törvénye alapján vezeték be az erő mértékegységét, a *newton*t a SI rendszerben: 1 N az az erő, amely az $m = 1 \text{ kg}$ tömegű testtel $a = 1 \text{ m/s}^2$ gyorsulást közöl:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

2. Ismerve az $\vec{F}$ eredő erő modulusát és irányát, mindig meghatározható az $\vec{a}$ gyorsulás modulusa és iránya, amire a test az erő hatására tesz szert:

$$a = \frac{F}{m}; \quad \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{F}$$

2 Felidézve matematikai ismereteiteket, indokoljátok meg az utóbbi állítást!

3. Newton második törvénye alapján meghatározható a **test egyenletes gyorsulásának feltétele**: *a test csak abban az esetben végez egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgást, ha a rá ható erők eredője az idővel nem változik.*

4. Ha az eredő erő nulla ($\vec{F} = 0$), a test sebessége állandó marad ($\vec{a} = 0$) (31.2. ábra). Tehát a tehetetlenség törvényét a következőképpen fogalmazhatjuk meg: *a test nyugalmi állapotban van vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, ha a rá ható erők kiegyenlítik egymást.*



Összegezés

Newton második törvénye – a dinamika alaptörvénye: az $\vec{a}$ gyorsulás, amelyre a test az $\vec{F}$ erő hatására tesz szert, egyenesen arányos ezzel az erővel, és fordítottan arányos a test m tömegével: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Ha a testre egyidejűleg néhány erő hat $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$, akkor Newton második törvényét a következő alakban írjuk fel: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}$ vagy $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$.

A test csak abban az esetben végez egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgást, ha a rá ható erők eredője az idővel nem változik.



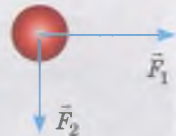
Ellenőrző kérdések

1. Milyen tényezőktől függ a testek gyorsulása? 2. Fogalmazzátok meg Newton második törvényét, írjátok le a matematikai kifejezését! 3. Hogyan írható le Newton második törvénye, ha a testre több erő hat? 4. Mi mondható az eredő és az eredő által közvetített gyorsulás irányáról? 5. Mi a feltétele az egyenletesen gyorsuló mozgásnak?



1. gyakorlat

- Az 5 t tömegű vonat 0,5 m/s² gyorsulással halad. Határozzátok meg a vonatra ható eredő erő modulusát!
- A gépkocsi egyenes útszakaszon halad. Milyen irányú a gépkocsira ható erők eredője, ha közben gyorsul?
- A 2 kg tömegű, déli irányban mozgó test állandó, kelet felé irányuló 10 N erő hatására megváltoztatja a sebességét. Határozzátok meg a test gyorsulásának modulusát és irányát!
- A 15 kN erő hatására a test egyenes vonalúan mozog, miközben a koordinátája az $x = -200 + 9t - 3t^2$ függvény szerint változik. Határozzátok meg a test tömegét!
- Az 5 kg tömegű testre két kölcsönösen merőleges, 9 N és 12 N nagyságú erő hat (1. ábra). Határozzátok meg a test gyorsulását!
- Kiegészítő forrásanyag felhasználásával állítsatok össze, és oldjatok meg egy valós test mozgására vonatkozó feladatot Newton második törvényének felhasználásával!
- A kislány és a kisfiú a kötél végét húzza (2. ábra). Melyikük kezd el mozogni? Szerintetek kinek lesz nagyobb a sebessége? Válaszotokat indokoljátok meg!



1. ábra



2. ábra



Kísérleti feladat

Vonalzó és két különböző tömegű fahasáb segítségével bizonyítsátok be:

- bármely hasáb esetében az erő növekedésével növekszik az erő által létrehozott gyorsulás is;
 - ha a különböző hasábokra ugyanakkora erő hat, akkor a nagyobb tömegű hasáb kisebb gyorsulásra tesz szert;
 - a gyorsulás iránya mindig egybeesik az erő irányával!
- Magyarázzátok meg, mit miért tettek! Hogyan értékeltétek a testek gyorsulását?

32. §. NEWTON HARMADIK TÖRVÉNYE

Üssetek a kezetekkel a padra. Fáj? De miért? Hiszen ti ütöttétek meg a padot, nem a pad titeket. Húzzátok a társatokat a sima jégen állva. Ki mozdul el? Mindkettőtök? Vajon miért? Hiszen ti húztátok a társatokat, nem pedig ő titeket. Ki tudjátok-e magatokat húzni a hajatoknál fogva a vízből? Nem? Miért? Hiszen ily módon elég könnyen kihúzhattok a vízből egy felnőt, nálatok jóval nehezebb embert. Ezek és más kérdések megválaszolásában segít nektek Newton harmadik törvénye.



32.1. ábra. A hatás mindig kölcsönhatás. A labdával játszhattok rá, például lábbal. A labda szintén hat a lábatokra (ez a hatás főleg mezítláb érezhető)



32.2. ábra. A hatás mindig kölcsönhatás. A Föld vonzza a Holdat (és a Hold nem repül ki a kozmikus térbe). A Hold szintén vonzza a Földet (ennek hatására a Földön az árapály jelensége figyelhető meg)

1 Meghatározzuk Newton harmadik törvényét

Már beszéltünk arról, hogy a testek mindig kölcsönösen hatnak egymásra – *kölcsönhatásban* vannak egymással (32.1., 32.2. ábrák). Kísérlettel tisztázzuk, milyen összefüggés áll fenn a testek között ható erők között.

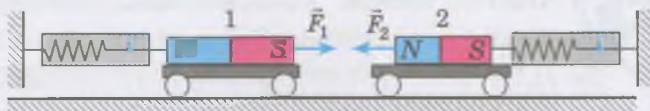
Vízszintes felületre két egyforma, könnyen mozgásba hozható kiskocsit helyezünk, és dinamométerek segítségével függőleges állványhoz rögzítjük őket. A kiskocsikra ellentétes pólusaikkal egymás felé fordított mágneseket erősítünk. Ennek eredményeként a kocsik vonzzák egymást, megnyújtva a dinamométerek rugóit. A kísérlet azt bizonyítja, hogy mindkét dinamométer ugyanazt az értéket mutatta (32.3. ábra).

Számtalan kísérlet elvégezhető ilyen erők mérésével, de az eredmény mindig ugyanolyan lesz: a két test között kölcsönható erők *modulusuk szerint azonos nagyságúak és ellentétes irányúak lesznek* (32.4., 32.5. ábrák).

A kölcsönhatást a *hatás-ellenhatás törvénye*, vagyis **Newton harmadik törvénye** írja le:

Az erők, amelyekkel a testek kölcsönösen hatnak egymásra, egy egyenes mentén irányulnak, nagyságuk modulusuk szerint egyenlő, irányuk pedig ellentétes:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$



32.3. ábra. Amilyen erővel vonzza magához az 1. mágnes a 2. mágneset, ugyanolyan erővel vonzza a 2. mágnes is az 1. mágneset: $F_1 = F_2$. A hatóerők ellentétes irányúak: $\vec{F}_1 \uparrow \vec{F}_2$

2

Megismerkedünk a testek kölcsönhatásának egyes sajátosságaival

A 32.1–32.5. ábrákon látható példák alapján több sajátosságot vehetünk észre.

1. Newton harmadik törvénye teljesül mind a testek közvetlen érintkezésekor (lásd a 32.1., 32.5. ábrákat), mind pedig a testek távoli kölcsönhatásakor (lásd a 32.2.–32.4. ábrákat).

2. Az erők mindig párosával jönnek létre: ha jelen van az 1. testre a 2. test részéről ható $\vec{F}_1$ erő, akkor feltétlenül jelen van a vele egyenlő nagyságú és ellentétes irányú $\vec{F}_2$ erő is, amelyik a 2. test részéről az 1. testre hat. De ezeknek az erőknek (vagy egyiküknek) a hatása nem mindig vehető észre. Például járás közben ellökitek magatokat a Föld felszínétől, tehát erő hat rátok a Föld részéről. Newton harmadik törvényének megfelelően ti ugyanolyan erővel lökitek vissza a Földet. Azonban a Föld hatalmas tömege miatt ennek az erőnek a hatása észrevehetetlen. Ha viszont vízen lebegő könnyű csónakban próbáltok menni, akkor hatásokat a csónakot rögtön mozgásba hozza, mégpedig a haladásotokkal ellentétes irányban.

3. Két test kölcsönhatásakor a létrejövő erőpárok mindig azonos természetűek.

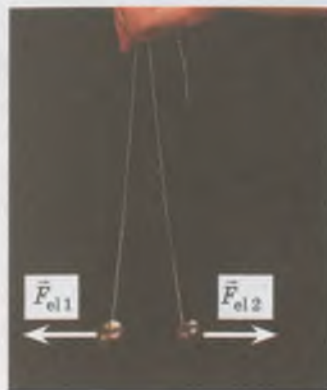
Vizsgáljátok meg a 32.1–32.5. ábrákat, és győződjetek meg az utóbbi kijelentés igazáról!

Úgy tűnhet, hogyha a testek bármiféle kölcsönhatásakor azonos nagyságú és ellentétes irányú erőpárok jönnek létre, ezeknek az erőknek ki kell egyenlítődniük. Ez azt jelenti, hogy nincs kölcsönhatás. Ebből az következne, hogy mozdulatlanságra vagy állandó mozgásra vagyunk kárhoztatva. A valóságban azonban ez nem így van. Csak az egyazon testre ható erők egyenlítődnek ki. A kölcsönhatáskor keletkező erők pedig különböző testekre fejtik ki a hatásukat, ezért nem egyenlíthetők ki (kompenzálhatják) egymást.

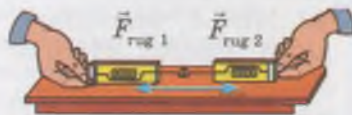
3

Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. A vízzel telt edény egyensúlyban van a mérlegen (32.6. ábra). Megváltozik-e a mérleg egyensúlyi állapota, ha ujjunkat a vízbe mártjuk úgy, hogy közben nem érünk az edény falához?



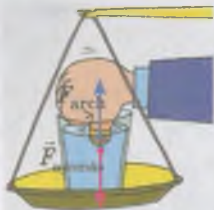
32.4. ábra. Mindkét azonos töltéssel rendelkező golyóra Coulomb-féle erő hat a másik golyó részéről. Ezek az erők azonos nagyságúak és ellentétes irányúak: $\vec{F}_{el1} = -\vec{F}_{el2}$



32.5. ábra. Ha két egyforma dinamométert egymáshoz kapcsolunk, majd ellentétes irányba kezdjük húzni őket, akkor mindkét dinamométer azonos nagyságú erőt mutat: $\vec{F}_{rug1} = -\vec{F}_{rug2}$



32.6. ábra. A 32. §-ban található feladathoz



32.7. ábra.

A 32. §-ban található feladathoz

Megoldás. Miután ujjunk a vízbe merül, függőlegesen felfelé irányuló archimédeszi erő (felhajtó erő) kezd rá hatni. Newton harmadik törvényének megfelelően az erők párosával jönnek létre, ezért az ujj részéről a vízre ugyancsak erő hat – az archimédeszi erővel azonos nagyságú és függőlegesen lefelé irányuló: $\vec{F}_{\text{nyomás}} = -\vec{F}_{\text{arch}}$ (32.7. ábra). Ily módon az ujj, még ha nem is ér hozzá az edény aljához és falához, megtolja a vizet, vele együtt pedig az edényt is lefelé nyomja, miáltal a mérleg egyensúlya megbomlik.

Felelet: a mérleg egyensúlya megbomlik.



Összegezés

A testek mindig kölcsönösen hatnak egymásra – kölcsönhatásban vannak egymással. A kölcsönhatást Newton harmadik törvénye (a hatás-ellenhatás törvénye) írja le: az erők, amelyekkel a testek kölcsönösen hatnak egymásra, egy egyenes mentén irányulnak, modulusuk szerint egyenlők, irányuk pedig ellentétes: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. A kölcsönhatáskor létrejövő erőpárok mindig azonos természetűek; ezek az erők nem egyenlítik ki egymást, mivel különböző testekre fejtik ki a hatásukat.



Ellenőrző kérdések

1. Fogalmazzatok meg Newton harmadik törvényét! Miért nevezik ezt a törvényt a hatás-ellenhatás törvényének? 2. Hozzatok fel példákat Newton harmadik törvényének megnyilvánulásaira! 3. Mi mondható el a testek kölcsönhatásakor létrejövő erők természetéről? Hozzatok fel példákat! 4. Miért nem egyenlítik ki egymást a testek kölcsönhatásakor keletkező erők?



32. gyakorlat

1. A kislány 10 N nagyságú erővel rúgott a labdába (1. ábra). Mekkora erővel „ütötte” meg a labda a kislányt? Milyen irányban hat ez az erő?
2. Vizsgáljátok meg a fa ágán függő alma és a Föld gravitációs kölcsönhatását (1. ábra)! Mi vonzódik erősebben: az alma a Földhöz vagy a Föld az almához?
3. A 48 kg tömegű fiú a jégen korcsolyán állva ellök magától egy 3 kg tömegű golyót, és vízszintes irányban 8 m/s^2 gyorsulást közöl vele. Milyen gyorsulásra tesz szert a fiú?
4. A kötél szakítószilárdsága 300 N. Elszakad-e ez a kötél, ha négy ember ellentétes irányban húzza a 2. ábrán látható módon, egyenként 100 N erővel? Elszakad-e a kötél, ha az egyik végét rögzítjük, a másik végét pedig a négy ember azonos irányba húzza?
5. Írjatok le 5–10 példát testek kölcsönhatására. Készítsetek vázlatrajzot! Tüntessétek fel az erőpárokat (a „rejtetteket” és a láthatókat is)!



1. ábra



2. ábra



33. §. AZ ÁLTALÁNOS TÖMEGVONZÁS TÖRVÉNYE. NEHÉZSÉGI ERŐ. A SZABADESÉS GYORSULÁSA

Úgy tartják, hogy Isaac Newton maga mesélte el, hogyan jutott el az általános tömegvonzás törvényének a felfedezéséhez. Egyszer a tudós egy almáskertben sétált, és a nappali égbolton megpillantotta a Holdat. Ebben a pillanatban a szeme láttára hullott le egy alma az ágról. Newton tudta, hogy az alma a Föld vonzásának következtében esett le. Éppen ekkor jutott a tudós eszébe a gondolat, amely szerint lehetséges, hogy egyazon erő kényszeríti az almát arra, hogy lehulljon a földre, a Holdat pedig arra, hogy Föld körüli pályán maradjon.

1 Felidézzük a gravitációs kölcsönhatást

A Világegyetemben kivétel nélkül minden anyagi test vonzza egymást – ezt a jelenséget nevezik **általános tömegvonzásnak** vagy **gravitációnak** (lat. *gravitas* – súly).

A **gravitációs kölcsönhatás** olyan kölcsönhatás, amely a Világegyetem összes testének sajátossága, amely abban nyilvánul meg, hogy kölcsönösen vonzzák egymást.

Például ebben a pillanatban ti és a könyvetek a gravitációs kölcsönhatás erejével kölcsönösen hatok egymásra. Azonban ebben az esetben az erők annyira kicsik, hogy őket még a legpontosabb modern műszerek sem képesek kimutatni. A gravitációs vonzóerők csak akkor érnek el észrevehető értékeket, ha legalább az egyik test tömege összemérhető az égitestek (fekete lyukak, csillagok, bolygók és azok holdjai) tömegével.

A gravitációs kölcsönhatás az anyag különleges fajtájának, a **gravitációs erőternek** a segítségével megy végbe, ami minden test körül jelen van: legyen az csillag, bolygó, ember, könyv, molekula, atom.

2 Felfedezzük az általános tömegvonzás törvényét

A nehézségi erővel kapcsolatos első kifejezések az antik időkből származnak. Így például *Plutarkhosz* (kb. 46 – kb. 127) ógörög bölcselő ezt írta: „A Hold kőként zuhanna a Földre, amint megszűnne repülésének ereje.”

A XVI–XVII. században Európa tudósai újra visszatértek a testek kölcsönös vonzásának elméletéhez. Az újjászületéséhez a lökést mindenekelőtt a csillagászati felfedezések adták:



2016. február 11-én hivatalosan bejelentették a gravitációs hullámok kísérleti felfedezését, amelyek létezését *Albert Einstein* jósolta meg. A **gravitációs hullám** – a változó gravitációs tér terjedése a térben. Ezt a hullámot mozgó tömegek sugározzák, amelyek elszakadhatnak a forrástól (ahogyan az elektromágneses hullám elszakad a gyorsuló töltött részecskétől). Úgy tartják, hogy a gravitációs hullám tanulmányozásával sok újat megtudhatnak a Világegyetem történetéről és nem csak arról...

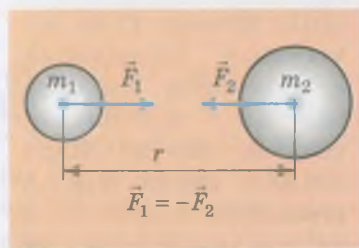


33.1. ábra. Nikolausz Kopernikusz (1473–1543) – lengyel csillagász, a heliocentrikus világkép megalkotója

Nikolausz Kopernikusz (33.1. ábra) bebizonyította, hogy a Naprendszer közép-pontjában a Nap helyezkedik el, a bolygók pedig körülötte forognak; Johannes Kepler (1571–1630) felfedezte a bolygók Nap körüli mozgásának törvényeit; Galileo Galilei megalkotta a távcsövet, és megpillantotta vele a Jupiter holdjait.

Miért keringenek a bolygók a Nap körül, miért keringenek a holdak a bolygók körül, milyen erő tartja az égitesteket a pályájukon? Ezt az elsők között Robert Hooke (1635–1703) angol tudós értette meg. Ezt írta: „Minden égitest vonzással rendelkezik a középpontja irányában, aminek következtében nem csupán a saját részeit vonzzák, megakadályozva, hogy szerte-szóródjanak, de emellett vonzzák a hatásterükben lévő más égitesteket is.”

Éppen Hooke fejtette ki azt a feltételezést, hogy a vonzóerő egyenesen arányos a kölcsönható testek tömegével, és fordítottan a közöttük lévő távolság négyzetével. Azonban ezt nem sikerült bebizonyítania. Ezt Newton tette meg, megfogalmazva az **általános tömegvonzás törvényét**:



33.2. ábra. Newton harmadik törvényének megfelelően a testek gravitációs vonzásának erői számbelileg egyenlők és ellentétes irányúak

Bármely két test között olyan kölcsönös vonzóerők hatnak (33.2 ábra), amelyek egyenesen arányosak a testek tömegének szorzatával, és fordítottan arányosak a közöttük lévő távolság négyzetével:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

ahol G – gravitációs állandó.

Melyik törvényre emlékeztet benneteket az általános tömegvonzás törvényének matematikai alakja? Írjátok fel a megfelelő képletet!

A gravitációs állandót elsőként Henry Cavendish (33.3 ábra) angol tudós mérte meg 1798-ban torziós mérleg segítségével:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}.$$

A **gravitációs állandó számbelileg egyenlő, egyenként 1 kg tömegű, egymástól 1 m távolságra lévő két anyagi pont között ható gravitációs vonzóerővel** (ha $m_1 = m_2 = 1 \text{ kg}$, $r = 1 \text{ m}$, akkor $F = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N}$).

Az általános tömegvonzás törvényének a segítségével számos jelenség írható le, a többi között a Naprendszerben lévő természetes és mesterséges testek mozgása, a kettőscsillagok, csillaghalmazok mozgása. A csillagászatban a törvény alapján határozzák meg az égitestek tömegét, mozgásuk jellegét, felépítésüket, fejlődésüket.



33.3. ábra. Henry Cavendish (1731–1810) – angol fizikus és kémikus. Meghatározta a gravitációs állandót, a Föld tömegét és átlagos sűrűségét; néhány évvel Coulomb előtt felfedezte az elektromos töltések kölcsönhatásának törvényét

3 Tisztázzuk az általános tömegvonzás törvénye alkalmazásának határait

Az $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ képlet azokban az esetekben ad pontos eredményt, ha:

1) a testek mérete elhanyagolhatóan kicsi a közöttük lévő távolsághoz képest (a testek anyagi pontoknak tekinthetők);

2) mindkét test gömb alakú, és anyaguk szferikusan van elosztva;

3) az egyik test gömb alakú, mérete és tömege jelentősen nagyobb a felszínén vagy tőle bizonyos távolságra lévő test méreteinél és tömegénél.

Figyeljétek meg! A klasszikus mechanika többi törvényeihez hasonlóan az általános tömegvonzás törvényét kizárólag azokban az esetekben alkalmazzák, amikor a test mozgásának viszonylagos sebessége jóval kisebb a fény sebességénél. Általános esetben a tömegvonzást az *Einstein által megalkotott általános relativitáselmélet* írja le.

❗ Miért alkalmazható az általános tömegvonzás törvénye a Földet a Naphoz vonzó erő között kiszámítására? A Holdat a Földhöz? Embert a Földhöz (33.4. ábra)?

4 Meghatározzuk a nehézségi erőt

Az $\vec{F}_n$ **nehézségi erő** az az erő, amellyel a Föld (vagy más csillagászati test) vonzza magához a felszínén vagy annak közelében lévő testeket (33.5. ábra)*.

Az általános tömegvonzás törvénye alapján a nehézségi erő F_n , amely minden, a Föld felszínének közelében elhelyezkedő testre hat, az alábbi képlettel számítható ki:

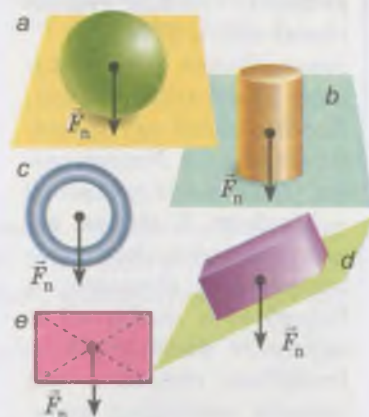
$$F_n = G \frac{m M_F}{r^2} \quad \text{vagy} \quad F_n = G \frac{m M_F}{(R_F + h)^2},$$

ahol G – gravitációs állandó; m – a test tömege; M_F – a Föld tömege; $r = R_F + h$ – a távolság a Föld középpontjától az adott testig (33.6. ábra).

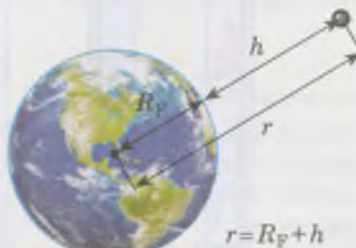
* A nehézségi erőt nem csak a Föld általános tömegvonzása, hanem annak napi forgása is befolyásolja. De ennek csak a szuperpontos számítások esetében van jelentősége.



33.4. ábra. A 33.§-ban található feladathoz



33.5. ábra. A nehézségi erő függőlegesen lefelé irányul, és a támadáspontja a testek tömegközéppontja. A homogén szimmetrikus test tömegközéppontja a szimetriaközéppontban helyezkedik el; elhelyezkedhet a testen kívül is (c)

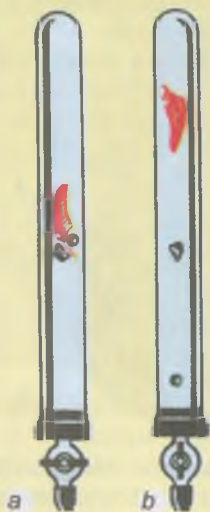


33.6. ábra. A Föld középpontja és a test közötti távolság a Föld R_F sugarának és a test helyzetét meghatározó h magasságnak az összegével egyenlő

5 Mi a szabadesés gyorsulása?

A testek esését elsőként *Galileo Galilei* tanulmányozta, aki idővel kísérletileg is bebizonyította a hipotézisét: a levegő az oka, hogy a könnyű tárgyak kisebb gyorsulással esnek; vákuumban minden test – tömegétől, térfogatától, alakjától függetlenül – azonos gyorsulással esik a Földre.

Isaac Newton még pontosabb kísérleteket végzett. Ebből a célból egy speciális eszközt – a *Newton-csővet* (*Newton-féle ejtőcsövet*) – készített. Kísérletei során bebizonyosodott: a vákuumban az ólomsörét, a fadugó és a madártoll is egyszerre esett le (a), a levegőben viszont a toll jelentős mértékben lemaradt (b)



A testnek a kizárólag nehézségi erő hatására történő mozgását **szabadesésnek** nevezzük.

Szabadesés esetén a testre ható nehézségi erőt egyik erő sem egyenlíti ki, ezért Newton második törvényének értelmében a test gyorsulva mozog. Ezt a gyorsulást nevezik a **szabadesés gyorsulásának**, és $\vec{g}$ betűvel jelölik:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_n}{m}$$

A nehézségi erőhöz hasonlóan a szabadesés gyorsulása is mindig lefelé irányul ($\vec{g} \uparrow \vec{F}_n$), függetlenül a test mozgásirányától. A $g = F_n/m$ képletből:

$$F_n = mg$$

Tehát a nehézségi erő nagysága két képlet segítségével határozható meg:

$$F_n = mg; \quad F_n = G \frac{m \cdot M_F}{(R_F + h)^2}$$

Összehasonlítva az egyenletek jobb oldalait, megkapjuk a **szabadesés gyorsulásának** a meghatározására szolgáló képletet:

$$g = G \frac{M_F}{(R_F + h)^2}$$

Az utóbbi képletet elemezve több következtetés is levonható.

1. A **szabadesés gyorsulása nem függ a test tömegétől** (ezt a tényt Galilei bizonyította).

2. A **szabadesés gyorsulása csökken a test Föld feletti h magasságának növekedésével**, emellett jelentős változás észlelhető, ha a h több tíz vagy több száz km-t tesz ki ($h = 100$ km magasságban a nehézségi gyorsulása csak $0,3 \text{ m/s}^2$ -tel csökken).

3. Ha a test a Föld felszínén ($h = 0$) vagy annak közelében helyezkedik el ($h \ll R_F$), akkor a szabadesés gyorsulása a következő képlettel számítható ki:

$$g = G \frac{M_F}{R_F^2} \approx 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Figyeljétek meg: az egyszerűség kedvéért feladatok oldásakor a szabadesés gyorsulásának az értéke: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Megjegyezzük, mivel a Föld saját tengelye körül forog és az alakja geoid (a Föld egyenlítői sugara 21 km-rel nagyobb a pólusain mért sugárnál), a szabadesés gyorsulása a hely földrajzi szélességétől is függ (33.7. ábra).



33.7. ábra. A szabadesés gyorsulásának értéke az egyenlítőnél valamivel kisebb, mint a sarkokon ($g_3 < g_1$)

A 7. osztályos fizika tananyagából tudjátok, hogy $g \approx 10 \text{ N/kg}$. Bizonyítsátok be, hogy $1 \text{ N/kg} = 1 \text{ m/s}^2$!



Összegezés

Azt a kölcsönhatást, amely a világegyetem minden testére jellemző, és ami egymás kölcsönös vonzásában nyilvánul meg, gravitációs kölcsönhatásnak nevezzük. A gravitációs kölcsönhatás a matéria sajátos fajtája – a gravitációs mező – révén valósul meg.

Az általános tömegvonzás törvénye: bármely két test között gravitációs vonzóerő hat, amely egyenesen arányos a testek tömegének szorzatával, és fordítottan arányos távolságuk négyzetével: $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, ahol $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ – gravitációs állandó.

A nehézségi erő az az erő, amellyel a Föld vonzza magához a felszínén vagy annak közelében lévő testeket. A nehézségi erő függőlegesen lefelé irányul, és támadáspontja a testek tömegközpontja, az értéke pedig a következő képletekkel határozható meg: $F_n = mg$; $F_n = G \frac{m \cdot M_F}{(R+h)^2}$.

A testeknek a kizárólag nehézségi erő hatására történő mozgását szabadesésnek nevezzük, a gyorsulást, amellyel a testek mozognak, a szabadesés gyorsulásának $\bar{g}$. Ez a gyorsulás mindig függőlegesen lefelé hat, és független a test tömegétől. A Föld felszínén $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$.



Ellenőrző kérdések

1. Milyen kölcsönhatást nevezünk gravitációs kölcsönhatásnak? Hozzatok fel példákat!
2. Fogalmazzátok meg, és írástok le az általános tömegvonzás törvényét!
3. Mi a gravitációs állandó fizikai értelme? Mennyivel egyenlő?
4. Mik a határai a tömegvonzási törvény alkalmazásának?
5. Mit nevezünk a gravitációs vonzás erejének? Milyen képlettel határozható meg, és merre irányul?
6. Milyen tényezőktől függ a szabadesés gyorsulása?



33. gyakorlat

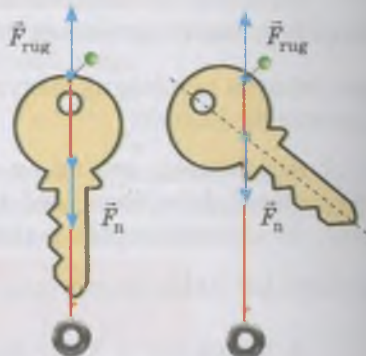
1. Határozzátok meg a test tömegét, ha a Hold felszínén 7,52 N gravitációs erő hat rá! Számítsátok ki a nehézségi erőt, ami erre a testre a Föld felszínének közelében hatna! A szabadesés gyorsulása a Holdon $1,6 \text{ m/s}^2$.

2. Felhasználható-e az általános tömegvonzás törvénye két óceánjáró közötti vonzóerő meghatározásához (lásd az ábrát)?
3. Hogyan változik meg két gömb között a kölcsönhatási erő, ha az egyiket egy kétszer nagyobb tömegűre cseréljük?
4. Cavendish megmérte a gravitációs állandót, és meghatározta a Föld tömegét, majd büszkén jelentette ki: „Megmértem a Föld tömegét”. Határozzátok meg a Föld tömegét, ismerve a sugarát ($R_F \approx 6400$ km), a szabadesés gyorsulását a felszínén és a gravitációs állandót!
5. Határozzátok meg a szabadesés gyorsulását három földugárnyi ($3 R_F$) magasságban!
6. Határozzátok meg a gravitációs gyorsulást annak a bolygónak a felszínén, amelynek tömege kétszer nagyobb a Föld tömegénél, a sugara pedig kétszerese a Föld sugarának!
7. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával ismerkedjétek meg a szabadesés gyorsulásával a Naprendszer többi bolygójának a felszínén! Melyik bolygón lesz kisebb a súlyotok? Nagyobb lesz-e eközben a tömegetek?
8. A test mozgásának egyenlete: $x = -5t + 5t^2$. Milyen a test kezdősebessége és kezdeti gyorsulása? Mennyi idő múlva változtatja meg a test mozgási irányát?



Kísérleti feladat

Ha a test nem szabályos mértani alakzat, akkor tömegközpontja meghatározható, ha a testet bármely két szélső pontján egymás után felfüggesztjük (lásd a rajzot). Vágjatok ki kartonlapból két tetszőleges alakú testet, és határozzátok meg a tömegközpontjukat! Helyezzétek a testeket a tömegközpontjuknál fogva egy hegyes tűre vagy golyóstoll végére! Győződjétek meg róla, hogy a test egyensúlyban van! Írjátok le a kísérlet menetét!



Fizika és technika Ukrajnában

Az **Odesszai Nemzeti Műszaki Egyetemet** 1918-ban alapították, napjainkra Ukrajna egyik vezető műszaki oktatási intézményévé vált.

Az egyetem hírnevét neves tudósok öregbítették, akiknek az élete szorosan kötődik az odesszai felsőoktatási intézményhez, és akik közül sokan nemzetközileg is elismertté váltak.

Működésének első évtizedeiben olyan nevek kötődnek hozzá, mint a Nobel-díjas I. Tamm, L. Mandelstam, M. Papalekszi, A. Amelin, M. Aganyin akadémikusok, M. Kuznyecov, K. Zavrijev, Cs. Klark, I. Timcsenko professzorok és mások.

Az odesszai egyetemen számos elismert mérnök, konstruktőr, tudós és feltaláló tanult és dolgozott, köztük V. Atroszenko, G. Boreszkov, A. Ennan, O. Nudelman, O. Dascsenko, L. Gutenmaher, G. Szuszlov, V. Azsogin, L. Panov, B. Priszter, A. Uszov, O. Jakimov.

A műszaki egyetem fő szakirányai a gépgyártás, energetika, vegyi technológiák, számítógépes integrált vezérlőrendszerek, rádióelektronika, elektromechanika, információs technológiák, telekommunikáció.

2010 óta az egyetem rektora *Hennagyij Olekszandrovics Oborszkij*, a műszaki tudományok doktora, professzor, a dinamika és a technológiai rendszerek megbízhatóságának elismert szakembere.

34. §. A TEST MOZGÁSA NEHÉZSÉGI ERŐ HATÁSÁRA

A függőlegesen fel- vagy ledobott labda mozgáspályája egyenes. Nekifutásból az ember beugrik a vízbe, eközben testének mozgáspályája a parabola szára lesz. Az ágyúból a vízszinteshez képest bizonyos szögben kilőtt lövedék ugyancsak a parabola egy részét írja le. Mindezeknek a testeknek a mozgása a nehézségi erő hatására megy végbe, azaz szabadeséssel van dolgunk. Akkor miért különböznek annyira ezek a mozgások? Az ok: különbözőek a kezdeti feltételek (34.1. ábra).

1 Elvégezzünk több egyszerűsítést

A test valódi mozgásának jellege a Föld gravitációs terében meglehetősen bonyolult, leírása túllép az iskolai program keretein. Ezért feladatok megoldásakor több egyszerűsítést kell elvégeznünk:

1) a Föld felszínének meghatározott pontjához kötött VR-t inerciálisnak tekintjük;

2) a testek mozgását a Föld felszínének közelében és attól (a sugarához képest) nem nagy távolságban vizsgáljuk. Ekkor a földfelszín görbületét és a szabadesés gyorsulás változását figyelmen kívül hagyhatjuk; másképp fogalmazva, a Földet laposnak, a szabadesés gyorsulását pedig állandónak tekintjük:

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2};$$

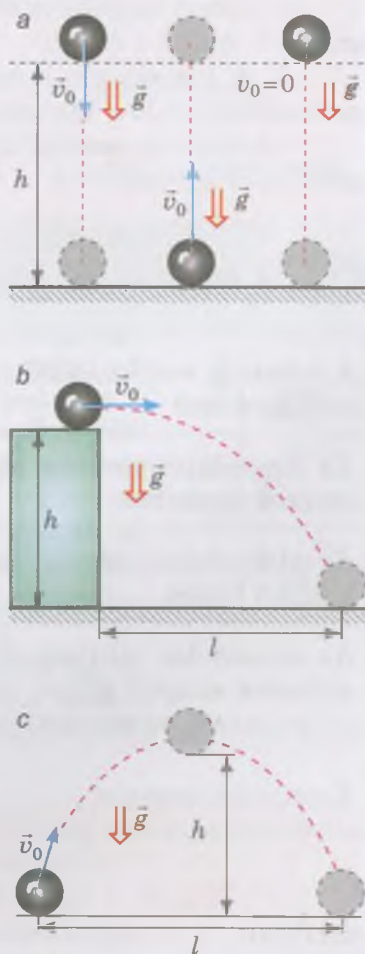
3) elhanyagoljuk a légellenállást.

Figyeljétek meg: ha csak az első két egyszerűsítést fogadjuk el, a kapott eredmény nagyon közel áll a valósághoz; az utolsó egyszerűsítés pedig csak abban az esetben nem torzítja komolyan az eredményt, ha a *testek nehezek, nem nagy méretűek, mozgási sebességük pedig elég kicsi*. Pontosan ilyen testeket fogunk vizsgálni a következőkben.

2 Megvizsgáljuk a függőlegesen eldobott test mozgását

A függőlegesen lefelé, függőlegesen felfelé, vagy kezdősebesség nélkül eső, kis méretű, nehéz testek mozgását vizsgálva azt tapasztaljuk, az ilyen testek mozgáspályája – egyenes egy szakasza (34.1. a ábra). Azonban tudjuk, hogy ezek a testek állandó gyorsulással mozognak.

A függőlegesen lefelé vagy felfelé dobott test mozgása – egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgás, amelynek a gyorsulása egyenlő a szabadesés gyorsulásával: $\vec{a} = \vec{g}$.



34.1. ábra. A test nehézségi erő hatására történő mozgásának a pályája sebességének az irányától függ: a függőlegesen eldobott test mozgáspályája egyenes vonal (a); a vízszintesen (b) vagy a vízszinthez képest valamilyen szögben (c) eldobott testé pedig parabola

Hogy matematikailag leírassuk a függőlegesen felfelé vagy lefelé dobott test mozgását (a test szabadesése), felhasználjuk az egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgásnak a sebesség, elmozdulás és koordináta időfüggőségét jellemző képleteit.

Felírjuk a szabadesést leíró képleteket „technikai” változtatásokkal.

1. A test függőleges mozgásának leírásakor a sebesség-, gyorsulás- és elmozdulás-vektorokat hagyományosan az OY tengelyre képezzük, ezért a mozgás képletében az x helyett y -t írunk.

2. A test függőleges elmozdulását általában h betűvel (magasság) jelölik, ezért s helyett h -t írunk.

3. A kizárólag a nehézségi erő hatására mozgó összes test esetében a gyorsulás egyenlő a szabadesés gyorsulásával, ezért az a -t g -re cseréljük.

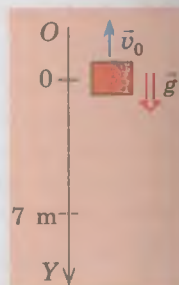
Az említett cseréket figyelembe véve megkapjuk a szabadon eső test mozgását leíró egyenleteket:

A képlet megnevezése	Egyenletesen gyorsuló mozgás az OX tengely mentén	Szabadesés az OY tengely mentén
A sebesség vetülete időfüggőségének egyenlete	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g_y t$
Az elmozdulás vetülete időfüggőségének egyenlete	$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$s_y = h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$
Az elmozdulás mértani értelmét kifejező képlet	$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$	$s_y = h_y = \frac{v_y + v_{0y}}{2} \cdot t$
Az elmozdulás vetületének kiszámítására szolgáló képlet, ha ismeretlen a test mozgásának ideje	$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$	$s_y = h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$
Koordináta-egyenlet	$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x}{2} t^2$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y}{2} t^2$

1. feladat. A léggömb 2 m/s sebességgel egyenletesen emelkedik. 7 m magasságban a föld felett kiesett belőle egy kisméretű nehéz test. Mennyi idő alatt esik le a földre a test? Mennyi lesz a test sebessége esés közben? Az esést szabadesésnek tekintjük..

A fizikai probléma elemzése. Magyarázó rajzot készítünk. Az OY tengelyt függőlegesen lefelé irányítjuk. A koordináta-tengely kezdőpontja egybeesik a test esésének kezdőpontjával.

A test egyenletesen emelkedő léggömből esett le, ezért az esés kezdetének pillanatában a test sebessége megegyezett a léggömb sebességével, és függőlegesen felfelé irányult.



Adva van:

$v_0 = 2 \text{ m/s}$

$h = 7 \text{ m}$

$g = 10 \text{ m/s}^2$

Meghatározzuk:

$t = ?$

$v = ?$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Az esés idejét az elmozdulás egyenletéből határozzuk meg:

$$h_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$$

Konkretizáljuk az egyenletet (a vetületekről áttérünk a modulusokra). A rajz alapján: $h_y = h = 7 \text{ m}$; $v_{0y} = -v_0 = -2 \text{ m/s}$; $g_y = g = 10 \text{ m/s}^2$. Ezeket az adatokat behelyettesítjük az elmozdulás képletébe: $7 = -2t + 5t^2 \Rightarrow 5t^2 - 2t - 7 = 0$.Megoldva az egyenletet meghatározzuk a t -t:

$$D = 4 + 4 \cdot 5 \cdot 7 = 144; \quad t_1 = \frac{2+12}{10} = 1,4 \text{ (s)}; \quad t_2 = \frac{2-12}{10} = -1 \text{ (s)} - \text{külső gyök.}$$

A mozgás sebessége az esés pillanatában: $v = v_{0y} + g_y t$.Figyelembe véve, hogy $v_{0y} = -v_0 = -2 \text{ m/s}$; $g_y = g = 10 \text{ m/s}^2$, a következőt kapjuk: $v_y = -2 + 10t$.Mivel az esés ideje $t = 1,4 \text{ s}$, ezért $v_y = -2 + 10 \cdot 1,4 = 12 \text{ (m/s)}$.Felelet: $t = 1,4 \text{ s}$; $v = 12 \text{ m/s}$.

2. feladat. A függőleges egyenesen elhelyezkedő, egymástól 105 m távolságra lévő A és B pontokból (lásd az ábrát) két testet dobnak el azonos, 10 m/s sebességgel. Az 1. testet az A pontból függőlegesen lefelé dobják, majd 1 s múlva a B pontból függőlegesen felfelé eldobják a 2. testet. Az A ponttól mekkora távolságra találkozik a két test?

A fizikai probléma elemzése. Mindkét test egyenes vonalú gyorsuló mozgást végez $\vec{a} = \vec{g}$. A találkozás pillanatában koordinátáik azonosak: $y_1 = y_2$. Tehát a feladat megoldásához felírjuk mindkét test koordinátájának az egyenletét.

Megállapodunk, hogy a koordináták kezdőpontja egybeesik a 2. test helyzetével ($y_{02} = 0$), akkor az 1. test kezdeti koordinátája 105 m ($y_{01} = 105 \text{ m}$). A 2. test mozgásideje 1 s-mal kevesebb, mint a 1. testé, vagyis $t_2 = t_1 - 1 \text{ s}$.

Matematikai modell felállítása, megoldás. Felírjuk a koordináták egyenletének általános alakját, majd konkretizáljuk mindkét test esetében:

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y}{2}t^2$$

$$\text{1. test} \quad y_{01} = 105 \text{ m}; \quad v_{01y} = -v_{01} = -10 \text{ m/s};$$

$g_y = g = -10 \text{ m/s}^2$ (a kezdeti sebesség és gyorsulás iránya ellentétes az OY tengely irányával). Tehát:

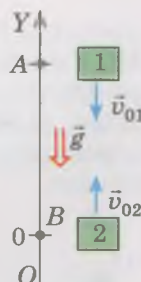
$$y_1 = 105 - 10t_1 - 5t_1^2$$

$$\text{2. test} \quad y_{02} = 0; \quad v_{02y} = v_{02} = 10 \text{ m/s}; \quad g_y = -g = -10 \text{ m/s}^2 \text{ (a sebesség egyirányú az OY tengellyel, a gyorsulás az OY tengely irányával ellentétes). Tehát:}$$

$$y_2 = 0 + 10t_2 - 5t_2^2$$

Figyelembe véve, hogy $y_1 = y_2$, és $t_2 = t_1 - 1$, a következőt kapjuk:

$$105 - 10t_1 - 5t_1^2 = 10(t_1 - 1) - 5(t_1 - 1)^2$$

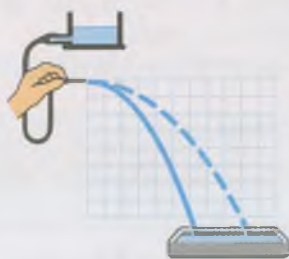
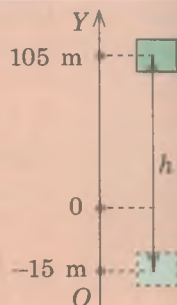


? Bizonyítsátok be, hogy a zárójelek felbontása és az egynemű tagok csoportosítása után a $30t_1 = 120$ egyenletet kapjuk.

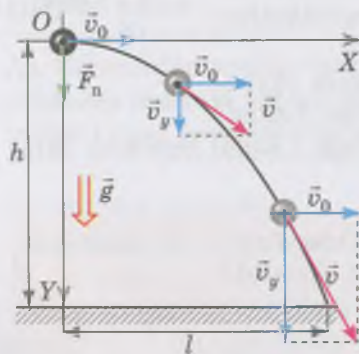
Tehát $t_1 = 4$ s – a találkozás ideje, vagyis az 1. test 4 s múlva az $y_1 = 105 - 10 \cdot 4 - 5 \cdot 4^2 = -15$ (m) koordinátájú pontba kerül.

Ezek alapján, a testek a $h = 105 + 15 = 120$ (m) távolságra találkoznak az A ponttól (lásd az ábrát).

Felelet: $h = 120$ m.



34.2. ábra. A vízszintesen irányított vízszugár parabola formájú, az alakja a vízszugár részecskéinek kezdősebességétől függ



34.3. ábra. A vízszintesen eldobott test mozgása kétféle mozgásból tevődik össze: az OX tengely menti egyenletesből, melynek sebessége $\vec{v}_0$; az OY tengely menti, kezdősebesség nélküli egyenletesen gyorsulóból, melynek gyorsulása $\vec{g}$

3 Megvizsgáljuk a vízszintesen eldobott test mozgását

Ha gumicső segítségével vízszugarat hozunk létre, és azt vízszintesen irányítjuk, akkor megfigyelhetjük, hogy a víz részecskéinek mozgáspályája – parabola (34.2. ábra). Parabola lesz a vízszintesen eldobott pingponglabda vagy kő pályája is.

Megvizsgáljuk a vízszintesen eldobott test mozgáspályáját mint két mozgás összeadódásának eredményét (34.3. ábra):

1) *egyenletes* – az OX tengely mentén, mivel a tengely mentén a testre egyetlen erő sem hat (a nehézségi erő vetülete az OX tengelyre nulla);

2) *egyenletesen gyorsuló* ($\vec{g}$ gyorsulással) – az OY tengely mentén, mivel az OY mentén a testre hat a nehézségi erő.

Az OX tengely mentén a test egyenletesen mozog, ezért a test v_x sebessége változatlan és egyenlő a v_0 kezdősebességgel, a test t idő alatt történt l repülési távolsága a v_0 kezdeti sebességnek és a t időnek a szorzatával egyenlő:

$$v_x = v_0 ;$$

$$l = v_0 t$$

Az OY tengely mentén a test szabadon esik, ezért sebességét és esési magasságát a következő képletekkel határozhatjuk meg:

$$v_y = v_{0y} + g_y t ; \quad h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

A 34.3. ábrából láthatjuk: $v_{0y} = 0$; $g_y = g$; $h_y = h$, ezért

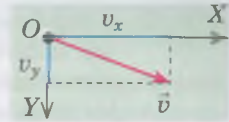
$$v_y = gt ;$$

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

Pitagorasz tételének a felhasználásával kiszámítjuk a test sebességének modulusát a mozgáspálya bármelyik pontjában: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ (34.4. ábra).

Mivel $v_x = v_0$, és $v_y = gt$, tehát:

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$



34.4. ábra. A test sebessége modulusának meghatározásához

3. feladat. A 20 m magas, függőleges sziklafalról vízszintesen egy követ dobtak a tengerbe. Milyen sebességgel dobták el a követ, ha a sziklától 16 m-re esett a tengerbe? Mekkora a kő sebessége a vízbe érése pillanatában? A légellenállást hagyjátok figyelmen kívül!

A fizikai probléma elemzése. A kő kezdeti sebessége vízszintes irányú. A kő szabadon esik. Tehát a test mozgása az OX tengely mentén egyenletes, az OY mentén – kezdősebesség nélküli, $\vec{g}$ gyorsulással egyenletesen gyorsuló.

Adva van::

$$h = 20 \text{ m}$$

$$l = 16 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Meghatározzuk:

$$v_0 = ?$$

$$v = ?$$

Matematikai modell felállítása, megoldás

A $h = \frac{gt^2}{2}$ képletből meghatározzuk az esési időt:

$$t^2 = \frac{2h}{g} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Ismerve a kő repülésének idejét és távolságát, kiszámíthatjuk a kezdeti sebességét és az esés közbeni gyorsulását:

$$l = v_0 t \Rightarrow v_0 = \frac{l}{t}; \quad v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, és meghatározzuk a keresett mennyiségeket:

$$[t] = \sqrt{\frac{\text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}} = \text{s}, \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10}} = 2 \text{ (s)}; \quad v_0 = \frac{16 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 8 \text{ (m/s)};$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v = \sqrt{8^2 + 10^2 \cdot 2^2} = \sqrt{64 + 400} \approx 22 \text{ (m/s)}.$$

Felelet: $v_0 = 8 \text{ m/s}$; $v \approx 22 \text{ m/s}$.

Ellenőrző kérdések

1. Milyen egyszerűsítéseket fogadunk el a test nehézségi erő hatására történő mozgásáról szóló feladatok megoldásakor? 2. Írjátok fel általános alakban a nehézségi erő hatására mozgó test mozgásegyenletét! 3. Milyen a mozgáspálya alakja, ha a testet függőlegesen feldobjuk? Ha vízszintesen? 4. Hogyan kell meghatározni a vízszintesen eldobott test repülésének hosszát? Esésének magasságát? Sebességének nagyságát a pályája tetszőleges pontjában?

34. gyakorlat

A feladatok megoldásakor a légellenállást hagyjátok figyelmen kívül!

- Az egyik testet függőlegesen felfelé, a másikat függőlegesen lefelé dobták, a harmadikat egyszerűen eleresztették. Melyik testnek nagyobb a sebessége?
- A test csak a nehézségi erő hatására mozog. A koordináta-rendszert úgy választották meg, hogy az OX tengely vízszintesen irányul, az OY tengely pedig függőlegesen felfelé. Írjátok le a test mozgásának jellegét, megfelelő ábrát készítve, ha: a) $v_{0x} > 0$, $v_{0y} = 0$; b) $v_{0x} = 0$, $v_{0y} > 0$; c) $v_{0x} = 0$, $v_{0y} < 0$.

3. A labdát a föld felszínéről 20 m/s kezdeti sebességgel függőlegesen felfelé dobták. Határozzátok meg: a) a labda sebességét és elmozdulását a mozgás kezdete után 3 s-mal; b) az emelkedés idejét és a labda maximális magasságát!
4. A 45 m magasan lévő háztetőről 20 m/s kezdeti sebességgel kilőttek egy nyílveszőt. Mennyi idő múlva esik le a nyíl a földre? Mennyi lesz a nyílvesző repülési távolsága és elmozdulása?
5. Két golyó függőlegesen egyenes mentén egymástól 10 m-re találhatók. A két golyót egyazon időben hozzák mozgásba: a felsőt függőlegesen lefelé 25 m/s kezdősebességgel eldobják, az alsót egyszerűen elengedik. Mennyi idő múlva ütköznek össze a golyók?
6. Az ábrán a golyó mozgásának 0,1 másodpercenkénti helyzete látható. Határozzátok meg a golyó szabadesésének a gyorsulását, ha egy kocka oldala 5 cm!
7. A tető szélén függő jégcsapról levált egy vízcsepp. Mekkora utat tesz meg a vízcsepp az elszakadásától számított negyedik másodperc alatt?
8. A 34. §. 2. feladata adatainak felhasználásával határozzátok meg a test által a találkozás pillanatáig megtett utat!



9. Feleltessétek meg az erőket és a meghatározásukhoz szükséges képleteket!

1 Nehézségi erő 2 Archimédieszi erő 3 Súrlódási erő 4 Rugalmassági erő
A $F = mg$ B $F = kx$ C $F = \mu N$ D $F = pS$ E $F = \rho gV$

Kísérleti feladat

Helyeztetek az asztal szélére kisebb nehéz testet, és lökjétek meg! Próbáljátok meghatározni a test sebességét kizárólag vonalzó segítségével! Írjátok le, hogyan végeztétek el a kísérletet!

Fizika és technika Ukrajnában



Abram Fedorovics Joffe (1880–1960) – neves szovjet ukrán fizikus, akadémikus, tudományos szervező, aki a *szovjet fizika atyjaként*, *Joffe papaként* került be a történelembe.

Joffe fő tudományos sikereit a kristályok elektromos, fotoelektromos és mechanikai tulajdonságainak kutatásával érte el. Ő állította fel elsőként azt a hipotézist, hogy a félvezetők biztosíthatják a sugárzás energiájának gazdaságos átalakítását elektromos energiává (ezen az elven fejlődik ma a napenergetika). A tudós *Robert Millikannel* egy időben határozta meg az elektron töltését. Kezdeményezte fizika-műszaki egyetemek

alapítását Harkivban és Dnyipropetrovzszkban, világhírű tudományos iskolát hozott létre.

Joffe vezetése alatt dolgoztak olyan későbbi Nobel-díjasok, mint P. Kapica, M. Szemjonov, L. Landau, I. Tamm, valamint számos neves tudós – A. Alihanov, L. Arcimovics, M. Bronstein, J. Zeldovics, I. Kikoin, B. Konsztantyinov, I. Kurcsatov, J. Hariton –, akik munkájukkal óriási mértékben járultak hozzá a világ tudományának fejlődéséhez.

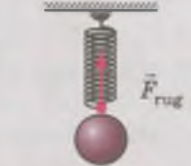
1960-ban a Leningrádi (ma Szentpétervári) Fizika-műszaki Egyetem Joffe nevét vette fel, a tudós tiszteletére a Holdon krátert neveztek el, valamint róla kapta a nevét a Naprendszer 5222. számú kisbolygója.

35. §. TEST MOZGÁSA TÖBB ERŐ HATÁSÁRA

A paragrafus tanulmányozása során megismerkedtek a feladatok megoldásának szakaszaival a dinamika témaköréből, áttekintitek néhány kulcsfeladat megoldásának példáját. A paragrafus anyagát gondosan dolgozzátok fel, mivel hasonló feladatokkal a fizika tananyagának további tanulmányozása során is fogtok találkozni.

1 Felidézzük az erőket

A paragrafus témájára való tekintettel felidézünk néhány erőt, amelyekkel a 7. osztályos fizika tananyagában ismerkedhettetek meg, azok képleteit, valamint hatásuk irányát.

Nehézségi erő $\vec{F}_n$	Csúszó súrlódási erő $\vec{F}_{css}$	Rugalmassági erő $\vec{F}_{rug}$	Archimédeszi erő $\vec{F}_A$
erő, amellyel a Föld vonzza magához a felületén vagy annak közelében lévő testeket	egyik test másik test felszínén történő csúszásakor létrejövő erő	testek deformálódása következtében létrejövő erő	felhajtóerő, amely a folyadékba vagy gázba mártott testre hat
$\vec{F}_n = mg$	$\vec{F}_{css} = \mu N$	$\vec{F}_{rug} = kx$	$\vec{F}_A = \rho_{foly(gáz)} g V_{mer}$
függőlegesen lefelé irányul, és támadáspontja a test tömegközéppontjába irányul	a test mozgásával ellentétes irányú, és az érintkezési felület mentén hat	a hosszabbodással ellentétes irányú, és a zsinór vagy rugó mentén hat	függőlegesen felfelé irányul, és a bemártott test közepére hat
			

2 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

A dinamika témakörébe tartozó feladatok megoldásának algoritmus

- Figyelmesen olvassátok el a feladat feltételét! Tisztázzátok, milyen erők hatnak a testre, milyen jellegű a mozgása (gyorsuló vagy egyenletes, egyenes vonalú)!
- Röviden írjátok fel a feladat feltételeit! Szükség esetén a mértékegységeket alakítsátok át a SI rendszer egységeivé!
- Készítsetek magyarázó rajzot, tüntessétek fel rajta a testre ható erőket, és a test gyorsulásának irányát!

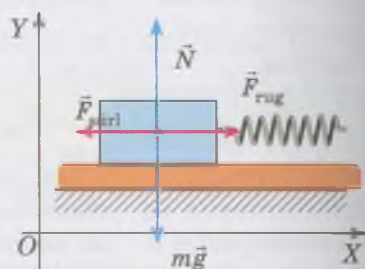
- Válasszátok ki az inerciális vonatkoztatási rendszert! A koordinátatengelyek irányát úgy ajánlatos megválasztani, hogy lehetőleg minél több erő irányuljon a tengelyek mentén (ez nem változtatja meg a megoldás eredményét, de jelentősen leegyszerűsíti azt).
- Írjátok fel Newton második törvényének egyenletét vektoros alakban és a koordinátatengelyekre eső vetületek alakjában! Írjátok le az erők kiszámítására szolgáló képleteket! A kapott egyenletrendszert oldjátok meg az ismeretlen mennyiségre nézve! Ha a feladatban további feltételek is szerepelnek, használjátok fel azokat is!
- Ellenőrizzék a mértékegységet, és határozzátok meg a keresett mennyiség számértékét! Elemezzék az eredményt, és írjátok feleletet!

A feladatok oldása során a vonatkoztatási rendszert a Föld felszínéhez viszonyított mozdulatlan ponttal kötiük össze (vagyis a test mozog, de a koordinátatengelyek mozdulatlanok maradnak); a testet anyagi pontnak tekintjük, ezért az erőket egy pontra irányítva fogjuk ábrázolni.

1. feladat. A 200 g tömegű fahasábot 40 N/m merevségű rugóval vonatják vízszintes felületen. Határozzátok meg a rugó meghosszabbodását, ha a súrlódási együttható 0,25!

A fizikai probléma elemzése. A rugó meghosszabbodásának meghatározásához ismerünkkel a rugalmassági erőt, amelyet Newton második törvénye alapján határozhatunk meg. Figyelembe kell venni, hogy a hasábot egyenletesen húzzák, ezért a gyorsulása nulla.

Magyarázó rajzot készítünk, amelyen feltüntetjük a testre ható erőket és a koordinátatengelyek irányát.



Adva:

$$m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$$

$$k = 40 \text{ N/m}$$

$$\mu = 0,25$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Meghatározzuk:

$x = ?$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Felírjuk Newton második törvényét vektoros alakban:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{súrl}} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{rug}} = 0.$$

Meghatározzuk az erők vetületeit az OX és OY tengelyekre, felírjuk a rugalmassági és csúszó súrlódási erők meghatározásának képleteit:

$$\begin{cases} \text{OX: } -F_{\text{súrl}} + F_{\text{rug}} = 0 \quad (\text{mivel } mg_x = 0, N_x = 0), \\ \text{OY: } N - mg = 0 \quad (\text{mivel } F_{\text{súrl}y} = 0, F_{\text{rug}y} = 0), \\ F_{\text{súrl}} = \mu N, \\ F_{\text{rug}} = kx. \end{cases}$$

Megoldjuk az egyenletrendszert, és meghatározzuk az x értékét:

$$N = mg \Rightarrow F_{\text{súrl}} = \mu mg; F_{\text{rug}} = F_{\text{súrl}} \Rightarrow kx = \mu mg \Rightarrow x = \frac{\mu mg}{k}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, és kiszámítjuk a keresett mennyiség értékét

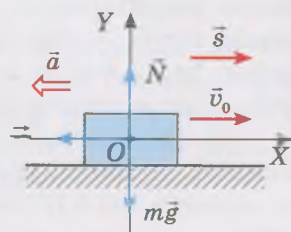
$$\text{két } [x] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{N/m}} = \frac{\text{N}}{\text{N/m}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = \text{m}; \quad x = \frac{0,25 \cdot 0,2 \cdot 10}{40} = 0,0125 \text{ (m)}.$$

Felelet: $x = 12,5 \text{ mm}$.

2. feladat. Számítsátok ki az egyenes vízszintes útszakaszon 54 km/h sebességgel közlekedő gépkocsi fékútjának hosszát és fékezési idejét. A gumi csúszási súrlódási együtthatója a betonon 0,75.

A fizikai probléma elemzése. Hogy meghatározhassuk a gépkocsi fékútjának hosszát és fékezési idejét, tudnunk kell a gyorsulását. Ezt Newton második törvénye alapján határozzuk meg.

Magyarázó rajzot készítünk, amelyen feltüntetjük a gépkocsira ható erőket, a koordinátatengelyek irányát, kezdeti sebességet, elmozdulást és gyorsulást (a gépkocsi megáll, ezért a végsebessége nulla, a gyorsulás iránya pedig ellentétes a mozgásának irányával).



Adva van:

$$v_0 = 54 \text{ km/h} =$$

$$= 15 \text{ m/s}$$

$$\mu = 0,75$$

$$v = 0$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Meghatározzuk:

$$s = ?$$

$$t = ?$$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Newton második törvénye alapján:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{súrl}} + \vec{N} = m\vec{a}.$$

Meghatározzuk az erők vetületét az OX és OY tengelyeken, felírjuk a csúszó súrlódási erő meghatározásának képletét:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{OX: } -F_{\text{súrl}} = -ma \quad (\text{mivel } mg_x = 0, N_x = 0), \\ \text{OY: } N - mg = 0 \quad (\text{mivel } F_{\text{súrl}y} = 0, a_y = 0), \\ F_{\text{súrl}} = \mu N. \end{array} \right.$$

Megoldva az egyenletrendszert, meghatározzuk az a értékét: $N = mg \Rightarrow F_{\text{súrl}} = \mu mg \Rightarrow \mu mg = ma \Rightarrow a = \mu g$.

A fékút hosszát és a mozgás idejét a következő képletekkel számítjuk ki:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}; \quad v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Figyelembe véve, hogy $v_x = 0$; $v_{0x} = v_0$; $a_x = -a$; $s_x = s$, a következőt kapjuk:

$$s = \frac{v_0^2}{2a}; \quad 0 = v_0 - at. \text{ Tehát, } v_0 = at \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}. \text{ Mivel } a = \mu g, \text{ a végleges képletünk}$$

$$\text{a következő lesz: } s = \frac{v_0^2}{2\mu g}; \quad t = \frac{v_0}{\mu g}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, meghatározzuk a keresett mennyiségek értékét:

$$[s] = \frac{\text{m}^2/\text{s}^2}{\text{m}/\text{s}^2} = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}} = \text{m}, \quad s = \frac{15^2}{15} = 15 \text{ (s)}; \quad [t] = \frac{\text{m/s}}{\text{m/s}^2} = \frac{\text{m} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{s}} = \text{s}, \quad t = \frac{15}{7,5} = 2 \text{ (s)}.$$

Az eredmények elemzése. A kapott eredmény reális, mivel a gépkocsi fékútja valóban nagyon hosszú. Emlékezzetek erre, és soha ne sértsétek meg a közlekedési szabályokat!

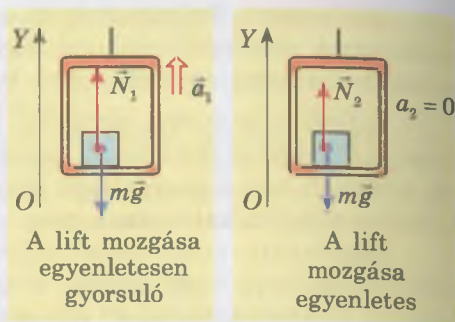
Felelet: $s = 15 \text{ m}$; $t = 2 \text{ s}$.

3. feladat. A liftbe beszállt egy 70 kg tömegű ember. A lift $0,2 \text{ m/s}^2$ gyorsulással kezd emelkedni, majd állandó sebességgel folytatja az útját. Mennyivel változik az ember súlya e mozgás idején?

A fizikai probléma elemzése. A test súlya a támasztékra, azaz a liftre ható erő. A liftre ható összes erőt bonyolult lenne megállapítani. De Newton harmadik törvénye alapján $P = N$ (amilyen erővel hat a test a támasztékra, olyan erővel hat a támaszték is a testre).

Tehát meg kell határoznunk a támaszték normális reakcióerejét, amely az emberre hat a lift bármilyen mozgása során.

Magyarázó rajzot készítünk, amelyen feltüntetjük az emberre ható erőket, a gyorsulás és az OY tengely irányát.



Adva:

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$a_1 = 0,2 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = 0$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Meghatározzuk:

$$P_1 - P_2 = ?$$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Mindegyik esetre felírjuk Newton második törvényét, és meghatározzuk az erők és a gyorsulás vetületét az OY tengelyre.

1. A mozgás egyenletesen gyorsuló: $\vec{N}_1 + m\vec{g} = m\vec{a}_1$;

OY: $N_1 - mg = ma_1 \Rightarrow N_1 = ma_1 + mg = m(a_1 + g)$.

Tehát $P_1 = m(a_1 + g)$.

2. A mozgás egyenletes: $\vec{N}_2 + m\vec{g} = 0$;

OY: $N_2 - mg = 0 \Rightarrow N_2 = mg$. Tehát $P_2 = mg$.

Meghatározzuk a keresett mennyiségek értékét:

$$P_1 = 70(0,2 + 10) = 714 \text{ (N)}; P_2 = 70 \cdot 10 = 700 \text{ (N)}; P_1 - P_2 = 14 \text{ N.}$$

Felelet: $P_1 - P_2 = 14 \text{ N}$.

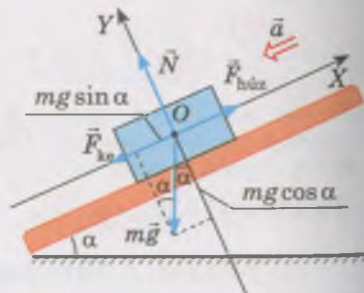
4. feladat. A 4 t tömegű gépkocsi emelkedőn haladva lassuló mozgást végez. Számítsátok ki a gépkocsi húzóerejét, ha a lejtő hajlásszöge $0,02$, a közegellenállási tényező pedig $0,04$. A gépkocsi gyorsulása állandó, $0,15 \text{ m/s}^2$.

Figyeljétek meg! A hajlásszög az útest vízszintessel bezárt α szögének szinusza. Ha a dőlésszög kicsi (kevesebb, mint $0,1$), akkor $\cos \alpha \approx 1$. A μ közegellenállási tényező a súrlódás minden fajtájával számol: a gördülő súrlódással, a csúszó súrlódással a tengelyekben. A közegellenállási erő a test mozgásával ellentett irányú, és ezzel a képlettel számítható ki: $F_{ke} = \mu N$, ahol N – a támaszték normális reakcióereje.

A fizikai probléma elemzése. A testre négy erő hat: az $m\vec{g}$, nehézségi erő, a támaszték $\vec{N}$ normális reakcióereje, az $\vec{F}_{húz}$ húzóerő és az $\vec{F}_{ke}$ közegellenállási erő.

A test csökkenti a sebességét, ezért mozgásának gyorsulása a mozgásával szemben hat.

Magyarázó rajzot készítünk, amin feltüntetjük a testre ható erőket, a mozgás gyorsulásának és a koordinátatengelyeknek az irányát.



Adva van:

$$m = 4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$\sin \alpha = 0,02$$

$$\mu = 0,04$$

$$a = 0,15 \text{ m/s}^2$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Meghatározzuk:

$$F_{\text{súrl}} = ?$$

Matematikai modell felállítása, megoldás.

Newton második törvényét vektoros formában írjuk fel:

$$\vec{F}_{\text{súrl}} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{rug}} = m\vec{a}.$$

Az egyenletet a koordinátatengelyekre vetítjük (az $m\vec{g}$ erő nem fekszik a koordinátatengelyen, ezért vetületének a meghatározásához a végpontjaiból merőlegeseket bocsátunk az OX és OY tengelyre: $mg_x = -mg \sin \alpha$; $mg_y = -mg \cos \alpha$) és felírjuk az F_{ke} -t meghatározó képletet:

$$\begin{cases} OX: F_{\text{húz}} - F_{\text{ke}} - mg \sin \alpha = -ma, \\ OY: N - mg \cos \alpha = 0, \\ F_{\text{ke}} = \mu N; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{\text{húz}} = F_{\text{ke}} + mg \sin \alpha - ma, \\ N = mg \cos \alpha, \\ F_{\text{ke}} = \mu mg \cos \alpha. \end{cases}$$

Behelyettesítjük az F_{ke} kifejezését az első képletbe, és meghatározzuk az $F_{\text{húz}}$ -t:

$$F_{\text{húz}} = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha - ma = m(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha - a).$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, és kiszámítjuk a keresett mennyiség értékét:

$$[F_{\text{húz}}] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}; F_{\text{húz}} = 4 \cdot 10^3 \cdot (0,04 \cdot 10 + 10 \cdot 0,02 - 0,15) = 1,8 \cdot 10^3 \text{ (N)};$$

Felelet: $F_{\text{húz}} = 1,8 \text{ kN}$.

Összegezés helyett

Megismerkedtetek a testeknek az erők hatására történő mozgásáról szóló néhány feladattal. Természetesen a tankönyv keretein belül lehetetlen minden típusú feladat áttekintése, de ez felesleges is. Az a fontos, hogy rendelkeztek a megoldás algoritmusával és alkalmazásának a példáival. A többi rajtatók múlik.

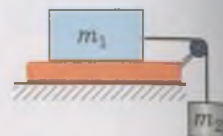
Tehát bármely dinamikai feladat megoldásakor mindenekeelőtt készítsetek magyarázó rajzot, tüntessétek fel az erőket, írájátok fel Newton második törvényének egyenletét, válasszátok ki a vonatkoztatási rendszert, keressétek meg a vetületeket. Természetesen tudni kell azt is, milyen irányban hatnak az erők, mikor jönnek létre, és milyen képletekkel határozhatók meg. A továbbiakban, még ha nem is látjátok át azonnal teljesen a feladat megoldásának menetét, nem lesz semmi gond. Mindenképpen találtok egy olyan mennyiséget, amelynek az ismerete segít megtalálni a megoldás menetét. Úgy is fogalmazhatunk: „Ha nem tudod, hogyan kell megoldani a feladatot, láss hozzá a megoldásához”. Nem kell félni egy hibás lépéstől: nem nyer, aki nem tud veszíteni. Mindenki képes megtanulni a fizikai feladatok megoldását, csak neki kell látni.



35. gyakorlat

1. Az űrhajó a startkor 40 m/s^2 gyorsulással függőlegesen felfelé halad. Milyen erővel hat a 70 kg tömegű űrhajós az ülésre?
2. A fahasábot 1 N erő kifejtésével egyenletesen húzzák a vízszintes felületen. Határozzátok meg a csúszási súrlódási együtthatót, ha a hasáb tömege 200 g !
3. A rugóhoz rögzített 300 g tömegű testet 2 m/s^2 gyorsulással eresztik lefelé. Határozzátok meg a rugó merevségét, ha meghosszabbodása 5 cm !

4. A 10 kg tömegű és 1 dm^3 térfogatú testet zsinór segítségével húzzák kifelé a vízből. Határozzátok meg a zsinór feszítőerejét, ha a test 2 m/s^2 gyorsulással mozog! A víz ellenállását hagyjátok figyelmen kívül!
5. A 60 kg tömegű sielő a lesiklás befejezése után 40 s-mal állt meg. Határozzátok meg a sielőre ható súrlódási erőt és a csúszási súrlódási együtthatót, ha sebessége a lejtő végén 10 m/s volt!
6. A 3 t tömegű gépkocsi lefelé halad a lejtőn, 3000 N húzóerőt kifejtve. Milyen gyorsulással mozog a gépkocsi, ha a közegellenállási tényező 0,04, a lejtő hajlásszöge pedig 0,03?
7. Az $m_1 = 1 \text{ kg}$ tömegű test vízszintes felületen csúszik egy $m_2 = 250 \text{ g}$ tömegű test hatására (lásd az ábrát). Az adott testrendszer $1,5 \text{ m/s}^2$ gyorsulással mozog. Határozzátok meg a test és a felület közötti súrlódási tényezőt!



36. §. TESTEK KÖLCSÖNHATÁSA. IMPULZUS. AZ IMPULZUSMEGMARADÁS TÖRVÉNYE

Az impulzus fogalmának története

A XIV. században *Jean Buridan* (1300–1358) francia filozófus és mérnök kiterjesztette a filozófiából ismert *impetus* fogalmat (törekvés, késztetés) a testek mozgását előidéző okok magyarázatára. Azt írta: „A követ hajító ember a kővel együtt a kezét is mozgatja, nyíllövés alkalmával a nyíl húrja szintén együtt mozog a nyílvevővel, tolva azt maga előtt... Amíg az, ami tolja a testet, kölcsönhatásban van vele, a test folyamatosan kapja az *impetus*-t, ezért sebessége folyamatosan növekszik... Elszakadás után a test az *impetus*-nak köszönhetően mozog tovább, amely a közeg ellenállásának a hatására fokozatosan gyengül, és a test sebessége szintén csökken.”



A 7. osztályos fizika tananyagából megismerkedtek a mechanikai energia megmaradásának törvényével, a 8. osztályban az elektromos töltés megmaradásának törvényével. Ebben a paragrafusban egy további olyan fizikai mennyiséggel ismerkedhettek meg, amelynek szintén van megmaradási tulajdonsága (vagyis nem változik meg a testek kölcsönhatása közben).

1 Megtudjuk, milyen feltételekkel tekinthető egy rendszer zártnak

Néhány, egymással kölcsönhatásban lévő test *testrendszer*t alkot. A testek egymás közötti kölcsönhatását jellemző erőket a *rendszer belső erőinek* nevezzük.

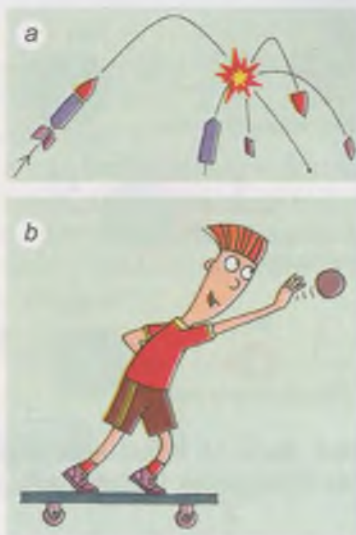
A *zárt testrendszer* olyan, amelyben a testekre nem hatnak külső erők, és a rendszer bármilyen változása csakis belső erők hatására történik.

Földünkön nem találhatók zárt rendszerek: minden testre hat a nehézségi erő, bármilyen mozgást súrlódási erő kísért. A gyakorlatban ezért a testrendszert csak akkor tekintjük zártnak, ha a *rendszerre ható külső erők kiegyenlítik egymást vagy jelentősen kisebbek a rendszerben ható belső erőknél*.

Például a tűzijátéktöltet felrobbanásakor (36.1. a ábra) a „szilánkokra” ható külső (nehézségi és ellenállási) erők nagyságrendekkel kisebbek azoknál az erőknél, amelyekkel

a „repszardarabok” taszítják egymást, ezért a „repszardarabok” alkotta rendszert zártnak tekinthetjük. Viszont a robbanás után a nehézségi erőt és a levegő ellenállását már nem hagyhatjuk figyelmen kívül, tehát a rendszer már nem lesz zárt.

Ha egy könnyen mozgó kiskocsin az ember súlyt lök (36.1. *b* ábra), akkor a kiskocsin lévő ember-súly testrendszer zártnak tekinthető, mivel a nehézségi erőt a támaszték reakcióereje ellensúlyozza, a kocsí gördülő súrlódási ereje pedig elhanyagolható. Ha az ember a földön állva próbál ellökni magától egy súlyt, akkor az ember-súly rendszer nem tekinthető zártnak, mivel a súrlódási erő összevethető az ember és súly közötti kölcsönhatás erejével.



36.1. ábra. Ha a rendszerre ható külső erőket a rendszerben ható belső erők semlegesítik vagy jóval kisebbek azoknál, a rendszert zártnak tekintjük

2 Meghatározzuk a test impulzusát

Felidézzük a gyorsulás meghatározására szolgáló képletet: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, majd kicsit más alakban írjuk fel Newton második törvényét:

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{t}, \text{ vagy:}$$

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

Az utolsó egyenlőség jobb oldalán valamilyen $m\vec{v}$ vektormennyiség változása látható. Ezt a mennyiséget a test *impulzusának* vagy *mozgásmennyiségnek* nevezzük.

A test impulzusa olyan fizikai vektormennyiség, mely a test tömegének és sebességének a szorzatával egyenlő:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

A test impulzusa

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$\vec{p}$ – a test impulzusa

m – a test tömege

$\vec{v}$ – a test sebessége

Az *impulzus mértékegysége a SI rendszerben a kilogramm-méter per másodperc*:

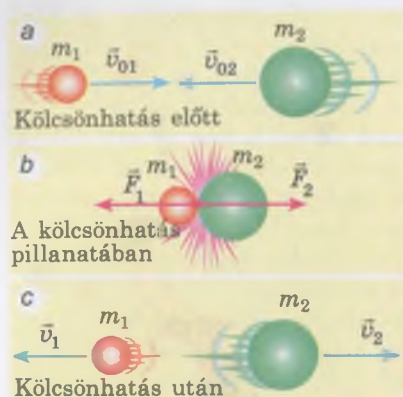
$$[p] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Newton törvényeinek a segítségével bebizonyítjuk: ha a testek zárt rendszert alkotnak, akkor impulzusuk összege a kölcsönhatásuk során nem változik.

3 Bebizonyítjuk az impulzusmegmaradás törvényét

Megvizsgáljuk két, m_1 és m_2 tömegű, zárt rendszert alkotó, v_{01} és v_{02} sebességgel mozgó test kölcsönhatását (36.2. ábra).

A t ideig tartó kölcsönhatás eredményeként mindkét test megváltoztatja sebességét, amelyeknek az értéke $\vec{v}_1$ és $\vec{v}_2$ lett. Mivel zárt rendszerről van szó,



36.2. ábra. Az impulzusmegmaradás törvényének bemutatása



36.3. ábra. Biliárdgolyók mozgása ütközés után (a); légkalapács visz-szaütése (b) – mindegyik mozgás létrejötte az impulzusmegmaradás törvényének következménye

ezért a sebesség változásáért a testek között ható $\vec{F}_1$ és $\vec{F}_2$ belső erők a felelősek. Newton harmadik törvénye szerint ezek az erők abszolút értéküket tekintve azonosak, irányuk azonban ellentétes: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Felírjuk Newton második törvényét mindegyik test esetében:

$$\vec{F}_1 t = m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01}; \quad \vec{F}_2 t = m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}.$$

Mivel $\vec{F}_1 t = -\vec{F}_2 t$, ezért:

$$m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01} = -(m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}).$$

Az egyenlet átalakítása után a következőt kapjuk:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2, \text{ vagy}$$

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Láthatjuk, hogy kölcsönhatás esetén az egyes testek impulzusa megváltozott, de a rendszer impulzusösszege változatlan maradt, vagyis megmaradt.

Az impulzusmegmaradás törvénye:

Zárt rendszerben a testek impulzusainak vektorösszege kölcsönhatás előtt megegyezik a testek kölcsönhatás utáni impulzusainak vektorösszegével.

Az impulzusmegmaradás törvénye tetszőleges számú testet tartalmazó zárt rendszerre érvényes – ez a fizika egyik általános alaptörvénye. Ezért általános esetben az *impulzusmegmaradás törvénye* a következőképpen írható fel:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} + \dots + m_n \vec{v}_{0n} =$$

$$= m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n,$$

ahol n – a rendszert alkotó testek száma.

Az impulzusmegmaradás törvényével állandóan találkozunk a természetben, a technikában, otthonunkban (36.3. ábra).

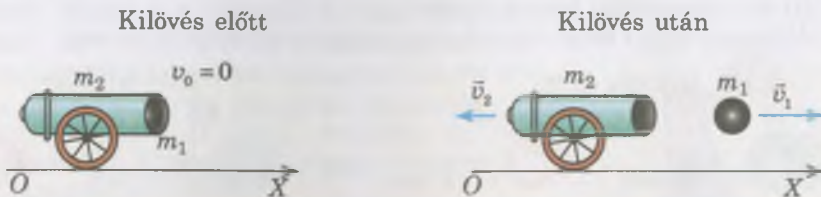
Figyeljétek meg: az impulzusmegmaradás törvénye csak zárt rendszerekre érvényes, ezért mielőtt a feladatok megoldásához felhasználnánk azt, határozzuk meg, tényleg zárt rendszerrel állunk-e szemben!

4 Gyakoroljuk a feladatok megoldását!

Feladat. A puha vízszintes talajon elhelyezett ágyúból vízszintesen 100 m/s sebességgel repül ki a lövedék. Mekkora lesz a kilövés után az ágyú sebessége, ha a lövedék tömege 20 kg, az ágyúé pedig 2 t?

A fizikai probléma elemzése. Az ágyú–lövedék rendszert zártnak tekintjük, mivel a súrlódási erő nagyságrendekkel kisebb a kilövéskor létrejövő erőknél. Kiválasztunk egy, a Föld felszínével összekötött vonatkoztatási pontot.

Magyarázó rajzot készítünk, melyen feltüntetjük a sebességek irányát a kölcsönhatás előtt és után, valamint az OX tengely irányát:



Adva van:

$$v_1 = 100 \text{ m/s}$$

$$m_1 = 20 \text{ kg}$$

$$m_2 = 2 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$v_{01} = v_{02} = 0$$

Meghatározzuk:

$$v_2 = ?$$

A matematikai modell felállítása, megoldás.

Felírjuk az impulzusmegmaradás törvényét vektoralakban:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

A rajz alapján leképezzük a kapott egyenletet az OX tengelyre: $0 = m_1 v_1 - m_2 v_2$. Innen kifejezzük a v_2 :

$$m_2 v_2 = m_1 v_1 \Rightarrow v_2 = \frac{m_1 v_1}{m_2}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységet, kiszámítjuk a keresett mennyiség értékét:

$$[v_2] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}}{\text{kg}} = \text{m/s}; \quad v_2 = \frac{20 \cdot 100}{2 \cdot 10^3} = 1 \text{ (m/s)}.$$

Felelet: $v_2 = 1 \text{ m/s}$.



Összegezés

A test impulzusa $\vec{p}$ olyan fizikai vektormennyiség, amely a test m tömegének és a $\vec{v}$ sebességnek a szorzatával egyenlő: $\vec{p} = m\vec{v}$.

A rendszert zártnak tekinthetjük, ha a rájuk ható külső erőket kiegyenlítik a belső erők vagy azok jelentősen kisebbek. Zárt testrendszerben érvényesül az impulzusmegmaradás törvénye: kölcsönhatás előtt a testek impulzusainak geometriai összege megegyezik a testek kölcsönhatása utáni impulzusok geometriai összegével: $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} + \dots + m_n \vec{v}_{0n} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$, ahol n – a rendszert alkotó testek száma.



Ellenőrző kérdések

1. Milyen rendszert tekinthetünk zártnak? Mondjatok példákat! 2. Mit nevezünk a test impulzusának, mi a mértékegysége a SI rendszerben? 3. Fogalmazzatok meg az impulzusmegmaradás törvényét! 4. Bizonyítsátok be két testből álló rendszerre az impulzusmegmaradás törvényét!

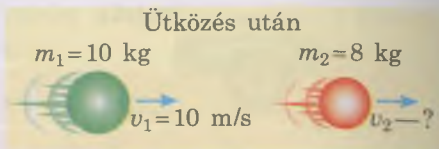
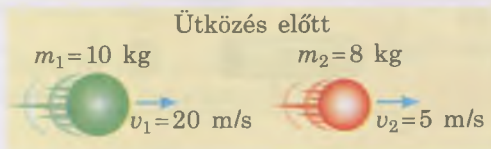


36. gyakorlat

1. A labdarúgó a pályán a 4,5 kg tömegű labdát a talajhoz viszonyítva 4 m/sec sebességgel vezeti. Határozzátok meg a labda impulzusát: a) a Föld felszínéhez viszonyítva; b) a labdát vezető játékoshoz viszonyítva; c) a labdával szembe 5 m/s sebességgel futó focistához viszonyítva!
2. A 100 g tömegű, mozgásban lévő golyó eltalálta a mozdulatlan, 150 g tömegű golyót, majd elakadt benne (1. ábra). Határozzátok meg a golyó sebességét az ütközés előtt, ha ütközés után a két golyó alkotta rendszer 10 m/s sebességgel haladt tovább!
3. Állítsatok össze feladatot a 2. ábra alapján, és oldjátok is meg!



1. ábra



2. ábra

4. A 200 kg tömegű, 2 m/s sebességgel mozgó csónakból 6 m/s sebességgel kiugrik egy 50 kg tömegű fiú. Mekkora a csónak sebessége az ugrás után, ha a fiú: a) a csónak tatjáról (hátsó részéről) vízszintesen a csónak mozgásirányával ellentétes irányba ugrik ki; b) a csónak orrából a csónak mozgásának irányába ugrik ki; c) ha a csónak orrából ugrik a csónak mozgásirányába, a vízszintessel 60°-os szöget zárva be?
5. Bizonyára többen találkoztatok már a következő szituációval: az ember felállt a csónakban, és még mielőtt a csónak elérné a partot, előrelep. Ennek következtében a csónak megindul hátrafelé (3. ábra). Magyarázzátok meg az adott jelenséget az impulzusmegmaradás törvényének szemszögéből! Határozzátok meg azt az s távolságot, amennyire a csónak visszaúszik a parttól, ha az ember tömege 70 kg, a csónak tömege 130 kg, hossza $l = 4$ m! A víz ellenállását hagyjátok figyelmen kívül!
6. Hasonlítsátok össze a 100 méteres síkfutás közbeni impulzusotokat a lőfegyverből kilőtt golyó impulzusával! A szükséges adatokat adjátok meg önállóan



3. ábra

Fizika és technika Ukrajnában



Kirilo Dmitrovics Szinelnyikov (1901–1966) – neves ukrán kísérleti fizikus, akadémikus.

Szinelnyikov úgy került be a történelembe, mint I. Kurcsatov kollégája, ismert tudósa a dielektrikumok és félvezetők fizikájának, az atommag fizikájának, a fizikai anyagismeretnek, a plazma fizikájának és az irányított nukleáris szintézisnek, a fizikai és elektronikai optikának. Az 1928–1930-as években Szinelnyikov Cambridge-ben, Rutherford laboratóriumában gyakornokoskodott.

Az 1944 és 1965 közti időszakban a tudós vezette a Harkivi Fizika-műszaki Egyetemet. Harkivban Szinelnyikov vezetésével idéztek elő elsőként lítium-atommaghasadást protonok segítségével.

Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia vezetősége Szinelnyikov-ösztöndíjat alapított, amelyet az atomfizika terén magas eredményeket szerző kutatók kaphatnak meg.



37. §. REAKTÍV MOZGÁS. A RAKÉTATECHNICA FIZIKAI ALAPJAI. AZ ŰRHAJÓZÁS SIKEREI

Minek köszönhetően mozoghatnak az emberek, gépkocsik, állatok? Miért tudnak repülni a vitorlázórepülők, madarak, lepkék? Miért úsznak a halak, hajók, tengeraltjárók? A válasz nagyon egyszerű: a felsorolt testek mindegyike azért mozog, mert valamitől elrugaszkodik: az ember, állat, gépkocsi – a földtől, a vitorlázórepülők, madarak, lepkék – a levegőtől, a halak, hajók – a víztől. De mi a helyzet az űrhajókkal, hiszen valamitől azoknak is el kell rugaszkodniuk, viszont az űrben nincs erre lehetőség. Ugyanakkor az űrhajók repülnek az űrben, manővereznek, visszatérnek a Földre. Mitől rugaszkodnak el? A következőkben kiderítjük.

1 Megismerkedünk a reaktív mozgással

Elvégzünk egy egyszerű kísérletet. Felújunk egy léggömböt, és anélkül, hogy beköt-nénk a száját, elengedjük. A lufi repülni kezd, és addig mozog, míg a nyílásán keresztül áramlik kifelé a levegő (37.1. ábra). Ebben az esetben úgynevezett *reaktív mozgással* van dolgunk.

A reaktív mozgás olyan mozgás, amely akkor jön létre, amikor a test egy része bizonyos sebességgel elhagyja a testet.

A reaktív mozgás alapja az impulzusmegmaradás törvénye. Visszatérünk a léggömbbel végzett kísérlethez. Ha a léggömb nyílását befogjuk, az nyugalomban marad, és a léggömb-levegő rendszer impulzusa nulla.

Ha a nyílást szabaddá tesszük, a levegő nagy sebességgel áramlik kifelé, és ezáltal impulzusra tesz szert: $\vec{p}_{\text{lev}} = \vec{m}_{\text{lev}} \vec{v}_{\text{lev}}$. A léggömb a levegő impulzusával ellentétes irányú impulzust kap: $\vec{p}_{\text{lufi}} = \vec{m}_{\text{lufi}} \vec{v}_{\text{lufi}}$.

Képzeld el, hogy a léggömb-levegő rendszer zárt. Az impulzusmegmaradás törvénye szerint a léggömb-levegő rendszer teljes impulzusa állandó marad és 0-val egyenlő:

$$m_{\text{lev}} \vec{v}_{\text{lev}} + m_{\text{lufi}} \vec{v}_{\text{lufi}} = 0.$$

Tehát a léggömb mozgási sebessége:

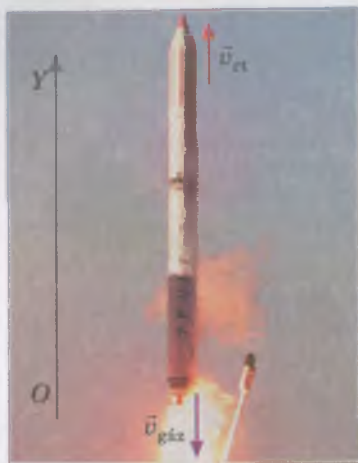
$$\vec{v}_{\text{lufi}} = - \frac{m_{\text{lev}} \vec{v}_{\text{lev}}}{m_{\text{lufi}}}.$$



37.1. ábra. A léggömb mozgása a kiáramló levegő hatására – reaktív mozgás

A modern reaktív hajtóművek prototípusának a Hérón-labdát tekintik. Ezt a szerkezetet az I. évszázadban hozta létre alexandriai *Hérón* görög matematikus és mérnök. A labdán lévő csövecskéből kiáramló vízgőz forgásba hozta a labdát.





37.2 ábra. Az ukrán gyártmányú Zenit rakéta startja

A „-” előjel arról tanúskodik, hogy a lufi a levegő irányával ellentétes irányban mozog.

Megvizsgálunk még egy példát – annak a gépfegyvernek a visszarúgását, amely másodpercenként n számú lövést ad le. A lövedék tömege m_1 , sebessége a cső elhagyásakor $\vec{v}$. A lövedékek által egy másodperc alatt kapott teljes impulzus (az impulzus változásának gyorsasága) $n \cdot m_1 \vec{v}$. A lövedékre ható $\vec{F}$ erő a lövedék impulzusváltozásának gyorsaságával egyenlő:

$$\vec{F} = n \cdot m_1 \vec{v}.$$

Newton harmadik törvénye alapján ugyanekkora, de ellentétes irányú erő hat a gépfegyverre is. Hasonlóképpen jön létre az űrhajó *reaktív ereje*, mikor a rakétatestből gáz áramlik ki.

2 Megvizsgáljuk a rakéta reaktív mozgását

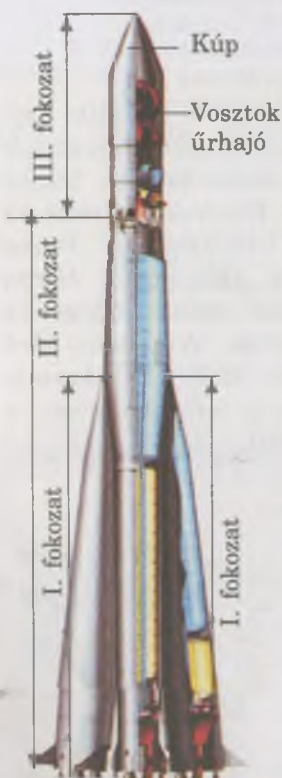
A **rakéta** – repülő eszköz, amely a térben saját tömege egy részének leválása során keletkező reaktív (visszaható) erő segítségével végez mozgást.

A rakéta leváló része az a kiáramló forró gázsugár, mely az üzemanyag elégeésekor keletkezik. Mikor a gázsugár óriási sebességgel elhagyja a fúvókát, a rakéta jelentős impulzust kap, amely a kiáramló gázsugárral ellentétes irányban hat (37.2. ábra).

❓ A rakéta hajtóműve – hőerőgép. Mi szolgál benne fűtőtestként? Munkaközegként? Hűtőberendezésként?

Képzeljünk el egy valószínűtlen esetet: a kilövés pillanatában a rakéta összes üzemanyaga egyszerre ég el. Mivel indulásig a rakéta nyugalomban van, ezért az impulzusmegmaradás törvénye a következőképpen nézne ki: $0 = m_{rt} \vec{v}_{rt} + m_{gáz} \vec{v}_{gáz}$, ahol $m_{rt} \vec{v}_{rt}$ – a rakétatest impulzusa; $m_{gáz} \vec{v}_{gáz}$ – a gáz impulzusa. Irányítsuk az OY tengelyt a rakéta mozgásirányába (lásd a 37.2. ábrát) és a vektoregyenletet erre a tengelyre képezzük le, a következőket kapjuk: $0 = m_{rt} v_{rt} - m_{gáz} v_{gáz}$, ahonnan:

$$v_{rt} = \frac{m_{gáz}}{m_{rt}} v_{gáz}.$$



37.3. ábra. A háromlépcsős Vosztok hordozórakéta

Ha feltételezzük, hogy az üzemanyag tömege 4-szer nagyobb a rakétatest tömegénél ($m_{\text{gáz}} = 4m_{\text{rt}}$), a visszaható gázsugár sebessége $v_{\text{gáz}} = 2 \text{ km/s}$ (nagyjából ilyen sebességgel áramlik ki a rakéta fúvókájából a forró gáz), akkor megkapjuk a rakétatest sebességét: $v_{\text{rt}} = 4v_{\text{gáz}} = 8 \text{ km/s}^*$.

Tehát, ha a rakéta üzemanyaga egy pillanat alatt elégne, és a rakéta mozgását semmi nem gátolná, a felvett sebessége elegendő lenne ahhoz, hogy földközi pályára álljon. A valóságban az üzemanyag fokozatosan ég el, a rakéta mozgására a légellenállás érezhető hatással van. Számítások azt mutatják, hogy a szükséges sebesség eléréséhez az üzemanyag tömege a rakéta tömegének 200-szorosa kell, hogy legyen, aminek a megvalósítása műszakilag lehetetlen.

A XX. század elején bebizonyították, hogy az egylépcsős rakéta nem képes elhagyni a Föld légterét. Ez csak többlépcsős rakétával lehetséges: az ilyen rakétáknál a kiürült üzemanyagtartály (fokozat) leválik a rakéta testéről (a súrlódás hatására elég az atmoszférában). Az egyre kisebb tömegű rakéta egyre nagyobb sebességre képes felgyorsulni. Megjegyezzük, hogy az űreszközök hordozórakétái, ahogy a legelső, úgy a ma használatosak is, többlépcsősek.

A 37.3. ábrán a háromlépcsős Vosztok hordozórakéta látható, amely négy oldalsó blokkból (I. fokozat) áll, ezek a központi blokkot (II. fokozat) fogják közre. Maga az űrhajó a III. fokozaton helyezkedik el, közvetlenül az áramvonalas kúp alakú burkolat alatt, amely repülés közben védi az atmoszféra sűrűbb rétegeiben. Minden egység saját reaktív hajtóművel rendelkezik.

1961. április 12-én a Vosztok hordozórakéta Föld körüli pályára állította a Vosztok űrhajót *Jurij Gagarinnal*, a világ első űrhajósával a fedélzetén (37.4. ábra). Ez az űrrepülés a zsitomiri születésű neves mérnök, Sz. Koroljov (1907–1966) kezdeményezésére és vezetése alatt jött létre.



37.4. ábra. Jurij Alekszejevics Gagarin (1934–1968) – szovjet űrhajós, aki a világon elsőként hajtott végre űrutazást (1961. április 12-én)

Ellenőrző kérdések



1. Mit nevezünk reaktív mozgásnak? 2. Ismertessétek a reaktív mozgás megfigyelésére szolgáló kísérleteket! 3. Írjátok le az impulzusmegmaradás törvényét arra a rakétára nézve, amelynek a feltételezés szerint az összes üzemanyaga az indulás pillanatában elég! 4. Miért használnak többlépcsős rakétát az űrhajók Föld körüli pályára juttatásához? 5. Nevezzétek meg a világ első űrhajósát, és azt a tudóst, akinek a vezetésével valósult meg az első űrutazás!

* Megjegyezzük: 8 km/s – az *első kozmikus sebesség*. A kilövés pillanatában ilyen sebességgel kell rendelkeznie a testnek, hogy a Föld mesterséges holdjává váljon.



37. gyakorlat

1. Segner-kerék (1. ábra) – *Segner János András* (1704–1777) magyar természettudós által feltalált eszköz, amelyet napjainkban a pázsitok locsolásánál is alkalmaznak. Figyeljétek meg az 1. ábrát, és magyarázzátok meg az eszköz működési elvét! Tekinthesz-e a Segner-kereket reaktív hajtóműnek? Válaszokat magyarázzátok meg!

2. A *Mátrix* című filmben is látható golyószóró tüzelési gyorsasága közel 10 000 lövés percenként; a kilőtt golyók tömege 10 g, kezdeti sebessége 600 m/s. Mekkora visszaütő ereje van az ilyen fegyvernek? Lehetséges-e kézben tartva lőni vele?

3. A 2,4 km/s sebességgel repülő űrhajóról levált a rakéta tömegének negyedét kitevő első fokozat. Milyen sebességgel kezdett mozogni az űrhajó, ha az első fokozat sebessége a leválás után a rakétához képest 900 m/s?

4. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával tudjatok meg minél többet az ukrán űrhajósokról!

5. Kiegészítő forrásanyag felhasználásával derítsétek ki, hogyan mozognak a tintahalak; milyen élőlények alkalmazzák még a reaktív mozgást; ezenkívül hol figyelhető meg reaktív mozgás a természetben? Készítsetek rövid beszámolót!



1. ábra



Kísérleti feladat

Műanyag flakon és csövecskék segítségével készítsétek Segner-kereket (2. ábra), és ellenőrizzétek a működését!



2. ábra

Fizika és technika Ukrajnában



Szerhij Pavlovics Koroljov (1906–1966) – akadémikus, világhírű szovjet ukrán tudós, az űrhajóépítés és űrhajózás úttörője, a Föld első műholdjainak és űrhajóinak a létrehozója.

Koroljov vezetése alatt dolgozták ki és hozták létre azt a teljes hordozórakéta-sorozatot, ami valódi áttörést jelentett az űrkutatásban: 1957-ben fellőtték a Föld első műholdját; a történelemben elsőként *Jurij Gagarin* hajtott végre űrrepülést a Voszток űrhajó fedélzetén 1961. április 12-én; az első, több űrhajós szállítására képes Voszход típusú űrhajót 1964. október 12-én állították földkörüli pályára; az első űrsétát *O. Leonov* űrhajós tette 1965. március 18-án. Koroljov irányítása mellett tudósok, konstruktőrök, mérnökök nagyszámú csapata nevelődött ki.

Érdekes tény, hogy Ukrajna első űrhajósa, *P. Popovics*, akinek a repülését Koroljov felügyelte 1962-ben, a világűrben elkészítette Koroljov kedvenc dalának hangfelvételét.

A tudós szűkebb hazájában, Zsitomirban található a Koroljov nevét viselő űrhajózási múzeum, a város központi terén áll Koroljov szobra.



38. §. AZ ENERGIA- ÉS IMPULZUSMEGMARADÁS TÖRVÉNYEINEK ALKALMAZÁSA MECHANIKAI JELENSÉGEKBEN

Számos gyakorlati feladat megoldása válik egyszerűbbé a megmaradási törvények – az impulzus- és energiamegmaradás és -átalakulás törvényeinek – alkalmazásával, hiszen ezeket a törvényeket akkor is felhasználhatjuk, amikor a rendszerre ható erők ismeretlenek. Tehát felidézzük, milyen mechanikai energiák léteznek, és megoldunk néhány feladatot a megmaradási törvények segítségével.

1

Felidézzük a mechanikai energiát

Az **energia** (gör. *tevékenység*) – a testek mozgásának és a matéria összes fajtája kölcsönhatásának mértékéül szolgáló fizikai mennyiség.

Az energiát E (vagy W) betűvel jelölik. *Mértékegysége a SI rendszerben a joule:*

$$[E] = 1 \text{ J} \cdot \text{m}.$$

A mechanikában *mechanikai energiával* van dolgunk.

Mechanika energia – a testek mozgását vagy egymással kölcsönhatásban lévő testek munkavégző képességét jellemző fizikai mennyiség.

A mechanikai energia fajtái

Mozgási (kinetikus) energia E_k a test mozgásához kötődő energia

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

m – a test tömege
 v – a test sebességének modulusa



Helyzeti (potenciális) energia E_p testek vagy testek részeinek kölcsönhatásához kötődő energia

E_p felemelt test esetén:

$$E_p = mgh$$

m – a test tömege
 h – a nulla szinthez viszonyított magasság



E_p rugalmasan deformált rugó (zsinór) esetén:

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

k – a rugó merevsége
 x – meghosszabbodás



A test (testrendszer) mozgási és helyzeti energiájának összege – a test (testrendszer) teljes mechanikai energiája: $E = E_k + E_p$

A 7. osztályos fizika tananyagából már tudjátok, hogy a *kizárólag rugalmassági és nehézségi erővel egymással kölcsönható testek zárt rendszerében a teljes mechanikai energia változatlan marad.*

Ebben rejlik a **mechanikai energia megmaradásának és átalakulásának a törvénye**, amely matematikailag a következő egyenlettel írható le:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p,$$

ahol $E_{k0} + E_{p0}$ – a testrendszer teljes mechanikai energiája a megfigyelés kezdetén; $E_k + E_p$ – a testrendszer teljes mechanikai energiája a megfigyelés végén.

2 Felidézzük a feladatok megoldásának algoritmusát a megmaradási törvények alkalmazása esetén

A feladatok megoldásának algoritmusa a mechanikai energia megmaradásának törvényét alkalmazva

1. Figyelmesen olvassátok el a feladat feltételeit! Tisztázzátok, hogy zárt-e a rendszer, figyelmen kívül lehet-e hagyni a támasztóerőt! Írjátok fel röviden a feladat feltételét!
2. Készítsetek magyarázó rajzot a nulla szint, a test (testrendszer) kezdeti és végső állapotának a feltüntetésével!
3. Írjátok fel a mechanikai energia megmaradásának és átalakulásának törvényét! A feladat adatainak felhasználásával és az energia meghatározására szolgáló képletek segítségével konkretizáljátok az egyenletet!
4. Oldjátok meg a kapott egyenletet! Ellenőrizzétek a mértékegységeket, és határozzátok meg a számértéket!
5. Elemezzétek az eredményt, és írjátok le a feleletet!

Mivel az energiamegmaradás törvénye jelentősen leegyszerűsíti számos gyakorlati feladat megoldását, konkrét példán vizsgáljuk meg a hasonló feladatok megoldását!

1. feladat. Bungee jumping (kötélugrás) során az ugróra rögzített gumikötél 40 m-ről 100 m-re nyúlt meg (lásd az ábrát). Mekkora a gumikötél merevsége? Az ugró tömege 72 kg, kezdősebessége nulla; a légellenállást hagyjátok figyelmen kívül.

A fizikai probléma elemzése. Mivel a légellenállást nem vesszük figyelembe, ezért a Föld–ember–kötél rendszert zártnak tekinthetjük, és a feladat megoldásához felhasználjuk az energiamegmaradás törvényét: az ugrás előtt a sportoló a felemelt test potenciális energiájával rendelkezett, amely a legalsó pontban a deformált kötél potenciális energiájába megy át.



Adva van:

$$l_0 = 40 \text{ m}$$

$$l = 100 \text{ m}$$

$$m = 72 \text{ kg}$$

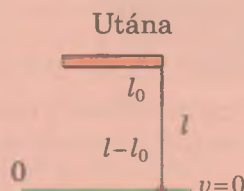
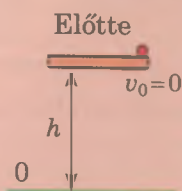
$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$v_0 = 0$$

Meghatározzuk:
 $k = ?$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Rajzot készítünk, amelyen feltüntetjük a sportoló kezdeti és végső helyzetét. Nulla szintként a legalsó helyzetét választjuk ki (a kötélnek maximális a nyúlása, a sportoló sebessége 0). Felírjuk a mechanikai energia megmaradásának törvényét.



$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p.$$

$$E_{k0} = 0 \text{ (mivel } v_0 = 0);$$

$$E_k = 0 \text{ (mivel } v = 0);$$

$$E_{p0} = mgh, \text{ ahol } h = l - l_0 \text{ a megnyúlt kötél hossza}$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}, \text{ ahol } x = l - l_0 \text{ a kötél meghosszabbodása}$$

$$\text{Tehát a következőt kaptuk: } 0 + mgl = 0 + \frac{k(l-l_0)^2}{2}. \text{ Végül: } k = \frac{2mgl}{(l-l_0)^2}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket, és meghatározzuk a keresett mennyiség értékét:

$$[k] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}}; \quad k = \frac{2 \cdot 72 \cdot 10 \cdot 100}{(100 - 40)^2} = \frac{2 \cdot 72 \cdot 1000}{3600} = 40 \text{ (N/m)}.$$

Felelet: $k = 40 \text{ N/m}$.

3 A mechanikai energia és az impulzus megmaradási törvényeinek egyidejű felhasználásával oldunk meg feladatot

Biliárdoztatok már? Megkíséreljük leírni a biliárdgolyók ütközésének egyik esetét – a **rugalmas központi ütést**, melynek során nincs mechanikai energiavesztés, a golyók sebessége az ütés előtt és az ütés után is a golyó középpontján átmenő egyenes mentén irányul.

2. feladat. Az 5 m/s sebességgel guruló biliárdgolyó összeütközik a hasonló tömegű álló golyóval (lásd az ábrát). Határozzátok meg a golyók sebességét az ütközés után! Az ütést tekintsétek központi rugalmas ütésnek!

A fizikai probléma elemzése. A két golyó alkotta rendszert zártnak tekintjük, az ütés rugalmas, ezért nincs mechanikai energiavesztés. Tehát a feladat megoldásához felhasználhatók mind a mechanikai energia, mind az impulzus megmaradásának törvényei. Nulla szintnek az asztallapot tekintjük. Ebben az esetben a golyók potenciális energiája az ütközés előtt és után is nulla, ezért a teljes mechanikai energia az ütés előtt és az ütés után is csak a golyók kinetikus energiájából tevődik össze.



Adva van:

$v_{01} = 5 \text{ m/s}$

$v_{02} = 0$

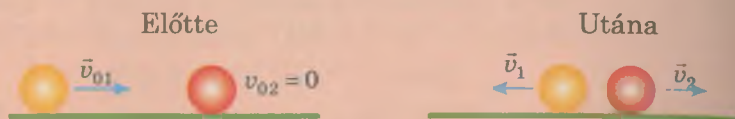
$m_2 = m_1 = m$

Meghatározzuk:

$v_1 - ? \quad v_2 - ?$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Rajzot készítünk, amelyen feltüntetjük a golyók helyzetét ütközés előtt és ütközés után.



A két golyó alkotta rendszerre felírjuk az impulzus és a mechanikai energia megmaradásának törvényét, figyelembe véve, hogy $v_{02} = 0$.

$$\begin{cases} m\vec{v}_{01} = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 \quad | : m, \\ \frac{mv_{01}^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \quad | \times 2 : m, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \vec{v}_{01} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2, \\ v_{01}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases} \quad \text{Meghatározzuk a sebességek}$$

vetületét az OX tengelyre: $\begin{cases} v_{01} = -v_1 + v_2, \\ v_{01}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$ Mivel $v_{01} = 5 \text{ m/s}$, ezért: $\begin{cases} 5 = -v_1 + v_2, \\ 25 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$

Megoldva az egyenletrendszert, megkapjuk a keresett értékeket: $v_1 = 0$; $v_2 = 5 \text{ m/s}$.

? Az utolsó egyenletrendszert oldjátok meg önállóan!

Az eredmények elemzése. Láthatjuk, hogy a golyók sebességet „cseréltek”: az 1. golyó megállt, a 2. golyó pedig felvette az 1. golyó ütközés előtti sebességét. Megjegyezzük, hogy két azonos tömegű test rugalmas központi ütés esetén sebességet „cserél”, függetlenül a kezdősebességüktől.

Felelet: $v_1 = 0$; $v_2 = 5 \text{ m/s}$.

4 A mechanikai energia és az impulzusmegmaradás törvényeinek egymás utáni felhasználásával oldunk meg feladatot

Ha érdekel benneteket, hogy milyen sebességgel repül ki a kilőtt nyílveszű vagy mekkora a légpuskából kilőtt lövedék sebessége, segítségetekre lehet egy egyszerű szerkezet, a *ballisztikus inga*, ami nem más, mint vashuzalokra függesztett nehéz test. Tisztázzuk, hogyan határozható meg a lövedék sebessége ezzel a szerkezettel.

3. feladat. A 0,5 g tömegű lövedékkel a vashuzalokra függesztett 300 g tömegű fahasábba lőttek, amelyben a lövedék megakadt. Határozzátok meg a golyó sebességét, ha az ütközés után a hasáb 1,25 cm magasra emelkedett (lásd az ábrát)!



A fizikai probléma elemzése. Miután a golyó a hasábra talált, a hasáb sebességre tett szert. A kölcsönhatás ideje nagyon rövid, ezért erre az időre a lövedék–fahasáb rendszert zártnak tekinthetjük és felhasználhatjuk az impulzusmegmaradás törvényét. De ebben az esetben az energiamegmaradás törvénye nem használható, mivel súrlódási erő van jelen.

Amikor a lövedék megállt a hasáb belsejében, ami ennek hatására elmozdult, figyelmen kívül hagyhatjuk a légellenállást, és felhasználhatjuk az energiamegmaradás törvényét a Föld–hasáb rendszer esetében. A hasáb impulzusa csökken, mivel a vashuzalok már nem egyenlítik ki a Föld hatását.

Adva van:

$$m = 0,5 \text{ g} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$M = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ kg}$$

$$h = 1,25 \text{ cm} = 0,0125 \text{ m}$$

Meghatározzuk:

$$v_0 = ?$$

Matematikai modell felállítása, megoldás

Az 1. és 2. helyzetre felírjuk az impulzus megmaradásának törvényét (lásd az ábrát), figyelembe véve, hogy az 1. helyzetben a fahasáb nyugalomban van, a 2. helyzetben viszont a lövedék és a hasáb már együtt mozog: $m\vec{v}_0 + M \cdot 0 = (m + M) \cdot \vec{v}$. A kapott egyenletet leképezzük az OX tengelyre:

$$mv_0 = (m + M) \cdot v \Rightarrow v_0 = \frac{(m + M) \cdot v}{m} \quad (1).$$

Felírjuk az energiamegmaradás törvényét a 2. és 3. helyzetre, majd konkretizáljuk azt:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k3} + E_{p3}.$$

$$E_{k2} = \frac{(m + M) \cdot v^2}{2};$$

$$E_{k3} = 0 \text{ (a hasáb megállt);}$$

$$E_{p2} = 0 \text{ (a hasáb a nulla szinten).}$$

$$E_{p3} = (M + m)gh.$$

$$\text{Tehát: } \frac{(m + M) \cdot v^2}{2} = (M + m)gh.$$

Leegyszerűsítve a $(M + m)$ kifejezéssel a következőt kapjuk: $\frac{v^2}{2} = gh$, vagy $v = \sqrt{2gh}$ (2).

Behelyettesítve a (2) kifejezést az (1) kifejezésbe, megkapjuk a test sebességének ballisztikus inga segítségével történő meghatározására szolgáló képletet:

$$v_0 = \frac{(m + M) \cdot \sqrt{2gh}}{m}.$$

Ellenőrizzük a mértékegységeket és kiszámítjuk a keresett mennyiséget:

$$[v_0] = \frac{\text{kg} \cdot \sqrt{\text{m/s}^2 \cdot \text{m}}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad v_0 = \frac{300,5 \cdot 10^{-3} \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,0125}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \approx 300 \text{ (m/s)}.$$

Felelet: $v_0 \approx 300 \text{ m/s}$.



Összegezés helyett

Csak néhány feladattípus megoldását vizsgáltuk meg. Elsőre úgy tűnik, hogy az impulzus és a mechanikai energia nem mindig marad meg. Ami az impulzust illeti, ez nem így van. Az impulzusmegmaradás törvénye – a

Világegyetem általános törvénye. Az impulzus állítólagos „megjelenése” (lásd az 1. feladatot a 38. §-ban), vagy „eltűnése” (lásd a 38. § 3. feladatában a 2. és 3. helyzetet) azzal magyarázható, hogy a Föld is kap impulzust. Éppen ezért keresünk zárt rendszert a feladatok oldásakor.

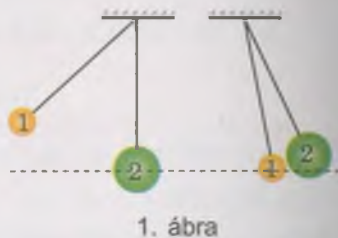
De a *mechanikai energia valóban nem mindig marad meg*. A rendszer a külső erők pozitív munkavégzése esetén kaphat további mechanikai energiát (például eldobták a labdát). A rendszer el is veszítheti mechanikai energiáját egy részét, ha a külső erők negatív munkát végeznek (például a kerékpár a súrlódási erő hatására megáll). De a *teljes energia* (a rendszer testeinek és a testeket alkotó részecskék energiájának az összege) *mindig állandó marad*. Az *energiamegmaradás törvénye* – a *Világegyetem általános törvénye*.



38. gyakorlat

A feladatok oldásakor a 2–4. feladatokban a léghellenállást hagyjátok figyelmen kívül!

1. A repülőből kidobtak egy 40 kg tömegű terhet. Miután a teher sebessége 400 m magasságban elérte a 20 m/s-ot, egyenletesen kezdett mozogni. Határozzátok meg: 1) a teher teljes mechanikai energiáját 400 m magasságban; 2) a teher teljes mechanikai energiáját a földet érés pillanatában; 3) azt az energiát, amelyre a teher mechanikai energiájának egy része alakult át!
2. A golyót 4 m magasból 8 m/s sebességgel vízszintesen eldobták. Határozzátok meg a golyó sebességét a földet érés pillanatában! A feladatot kétféleképpen oldjátok meg: 1) a golyó mozgását mint vízszintesen eldobott testnek a mozgását vizsgáljátok; 2) a mechanikai energia megmaradásának törvénye segítségével! Az adott esetben melyik módszer a kézenfekvőbb?
3. A 20 g tömegű gyurmagolyót (1) és a nála háromszor nagyobb tömegű golyót (2) cérnára függesztették. Az 1. golyót 20 cm magasra mozdították el a nyugalmi állapotából, és elengedték. Az 1. golyó összeütközött a 2. golyóval, és hozzátapadt (1. ábra). Határozzátok meg: 1) az 1. golyó sebességét ütközés előtt; 2) a golyók sebességét ütközés után; 3) a golyóknak az ütközés után elért maximális magasságát.
4. A rugós pisztolyból kilőtt 10 g tömegű lövedék közepén találta el a cérnára felfüggesztett, 30 g tömegű gyurmahasábot, majd hozzátapadt. Milyen magasságra emelkedik a hasáb, ha a lövés előtt a rugó 4 cm-re volt összenyomva, a rugó merevsége pedig 256 N/m?



Kísérleti feladat

Ballisztikus inga. Készítsetek ballisztikus ingát (2. ábra)! Vágjátok ki egy kartondoboz elülső oldalát, majd készítsetek gyurmából a doboznál jóval kisebb dobozt, és helyezzék a kartondoboz belsejébe, majd a 2. ábrán látható módon függesztétek fel!

Próbáljátok ki az eszközt, mondjuk, egy rugós gyepekpisztolyból kilőtt golyó sebességének a meghatározására! A megoldáshoz használjátok fel a 38. § 3. feladatában található képletet!



2. ábra

7. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA



Téma. A mechanikai energia megmaradási törvényének vizsgálata.

Cél: kísérlettel megbizonyosodni róla, hogy a zárt rendszer teljes mechanikai energiája változatlan marad, ha a rendszerben csak a nehézségi és a rugalmassági erő hat.

Eszközök: rögzítővel ellátott laboratóriumi állvány, dinamométer, súlykészlet, 40–50 cm hosszú vonalzó, mutatóval és a végén hurokkal ellátott 15 cm hosszú gumizsinór, ceruza, erős cérna.

Elméleti tudnivalók

A munka elvégzéséhez felhasználhatjuk az 1. ábrán látható eszközt. A vonalzón feltüntetjük a súly nélküli gumizsinór állását (0 jelzés), majd a hurokra nehezéket akasztunk, amit lefelé húzunk (1. állapot), miközben a zsinóron x_1 értékkel meghosszabbodik (2. ábra). Az 1. helyzetben a zsinór –nehezék–Föld rendszer mechanikai energiája azonos a megnyújtott zsinór potenciális energiájával:

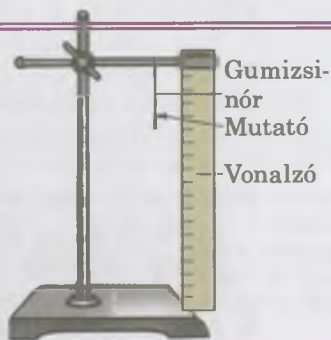
$$E_1 = \frac{kx_1^2}{2} = \frac{F_1 x_1}{2}, \quad (1)$$

ahol $F_1 = kx_1$ – a zsinór rugalmassági erejének modulusa x_1 értékű széthúzása esetén.

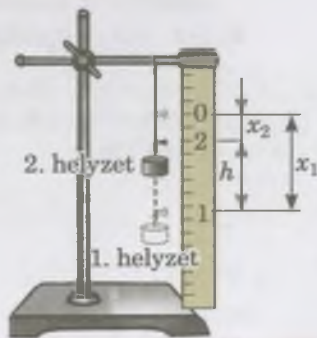
Ezután a nehezéket elengedjük, és megjegyezzük azt a pontot, ahol az eléri maximális magasságát (2. helyzet). Ebben a helyzetben a rendszer teljes mechanikai energiája a h magasságba emelt nehezék és a megnyúlt zsinór potenciális energiáinak összegével egyenlő:

$$E_2 = \frac{kx_2^2}{2} + mgh = \frac{F_2 x_2}{2} + P \cdot h, \quad (2)$$

ahol $F_2 = kx_2$ – a zsinór rugalmassági erejének modulusa x_2 értékű széthúzása esetén; $P = mg$ – a nehezék súlya.



1. ábra



2. ábra

ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

Előkészület a kísérlethez

1. A munka elvégzése előtt idézzétek fel:

- 1) a laboratóriumi munka végzése közben betartandó balesetvédelmi szabályokat;
- 2) a teljes mechanikai energia megmaradásának törvényét!

2. Elemezzétek az (1) és (2) képleteket, és gondoljátok végig, milyen méréseket kell elvégezni ahhoz, hogy meghatározható legyen a rendszer teljes mechanikai energiája az 1. és 2. helyzetekben! Állítsátok fel a kísérlet menetét!
3. Állítsátok össze az 1. ábrán látható eszközt!
4. Az alsó huroknál fogva egyenesítsétek ki a zsinórt, de ne feszítsétek meg! A vonalzón jelöljétek meg a terhelés nélküli zsinór mutatójának állását 0 pont feltüntetésével.



Kísérlet

Szigorúan tartsátok be a balesetvédelmi előírásokat (lásd a könyv belső borítóját)!

A mérések eredményeit azonnal írjátok be a táblázatba!

1. Dinamométer segítségével határozzátok meg a nehezék P súlyát!
2. Akasszátok a nehezéket a zsinór hurokára! Húzzátok le a nehezéket, és a vonalzón 1-gyel jelöljétek meg a mutató helyzetét!
3. Engedjétek el a nehezéket! A nehezék maximális magasságának helyét a vonalzón jelöljétek meg 2-vel! Vegyétek figyelembe: ha a 2 jelzés a 0 felett helyezkedik el, akkor a kísérletet ismételjétek meg, csökkentve a nehezékre ható húzóerőt, és megváltoztatva az 1 jelzés helyét!
4. Mérjétek meg a gumiban létrejövő F_1 és F_2 rugalmassági erőket, amelyek az x_1 és x_2 értékű széthúzásnak felelnek meg! Ennek érdekében vegyétek le a nehezéket, és a dinamométerrel nyújtsátok meg a zsinórt az 1 és 2 jelzésekig!
5. Megmérve a jelzések közötti távolságot, határozzátok meg a gumi-zsinór x_1 és x_2 értékű meghosszabbodását, valamint a nehezék maximális h magasságát (lásd a 2. ábrát)!
6. Az 1–5. pontokban leírtakat ismételjétek meg két nehezéssel is!

Kísérlet sor-száma	Nehezék súlya P, N	Zsinór meghosszabbodása		Rugalmassági erő		Emelkedési magasság h, m	Teljes mechanikai energia	
		x_1, m	x_2, m	F_1, N	F_2, N		E_1, J	E_2, J
1								
2								



A kísérlet eredményeinek feldolgoása

1. Mindegyik kísérlet esetén határozzátok meg:
 - 1) a rendszer teljes mechanikai energiáját az 1. állapotban;
 - 2) a rendszer teljes mechanikai energiáját a 2. állapotban!
2. Töltsétek ki teljesen a táblázatot!



A kísérlet eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet, és a kapott eredményeket! Fogalmazzatok meg következtetéseket, amelyekben: 1) összehasonlítjátok a kapott mechanikai energiaértékeket az 1. és a 2. állapotban; 2) megnevezitek az eredmények eltéréseinek lehetséges okait; 3) rámutattok azokra a fizikai mennyiségekre, amelyeknek a mérése szerintetek a legnagyobb hibát adta!

*** Csillagos feladat**

Az $\varepsilon = \left| 1 - \frac{E_1}{E_2} \right| \cdot 100\%$ képlet segítségével értékeljétek a kísérlet relatív hibáját!

+ Alkotói feladat

Vegyetek egy hosszú, erős zsinórra rögzített gömböt! A zsinórhoz kössetek gumizsinórt, és a gömböt tartva húzzátok erősen lefelé! Mérjétek meg a zsinór meghosszabbodását! Engedjétek el a gömböt! Mérjétek meg a magasságot, amelyre a gömb felemelkedett! Határozzátok meg a zsinór merevségét, és számítsátok ki ezt a magasságot elméletileg! A számítás eredményét hasonlítsátok össze a mérés eredményével!

39. §. ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK A TERMÉSZETBEN. A FIZIKAI TÖRVÉNYEK ÉS ELMÉLETEK ALKALMAZÁSÁNAK HATÁRAI. A MEGMARADÁSI TÖRVÉNYEK ALAPVETŐ JELLEGE

A Világegyetem kutatása mindig számos kérdést vetett fel a kutatók előtt, elsősorban olyanokat, hogy *Milyen a Világegyetem felépítése?, Hogyan épül fel a matéria apró tégláiból a természeti jelenségek és természeti objektumok széles skálája?, Azonos törvényeknek van-e alárendelve az összes természeti jelenség?* A fizika tanulása során megpróbáltátok megtalálni a válaszokat ezekre a kérdésekre. Most megpróbáljuk azokat általánosítani.

1 Válasz a Milyen a Világegyetem felépítése? kérdésre

A anyagi világ kutatható részét **Világegyetemnek** nevezzük.

A tudomány a Világegyetem objektumait és a rájuk jellemző jelenségeket három, minőségileg eltérő szintre osztja: mikrovilág, makrovilág, megavilág. A különböző szintek objektumai tömegükben és méretükben térnek el egymástól.

A Világegyetem strukturális szintjei

Mikrovilág	Makrovilág	Megavilág
Molekulák, atomok és összetevőik világa	Anyagok, élőlények, makrotestek világa	Bolygók, csillagok, csillaghalmazok – galaktikák – világa
Méret 10^{-18} – 10^{-10} m Tömeg kevesebb, mint 10^{-10} kg	Méret 10^{-10} – 10^7 m Tömeg 10^{-10} – 10^{20} kg	Méret 10^7 m felett Tömeg 10^{20} kg felett

! Soroljátok fel a mikrovilág, makrovilág és megavilág néhány objektumát!

Minden strukturális szintet saját fizikai elmélete írja körül, így a mikrovilág objektumainak mozgását és kölcsönhatását a *kvantummechanika*. A makrovilágban a *klasszikus mechanika* az érvényes elmélet, melynek az alapját Newton mechanikai törvényei képezik. A megavilág leírására elsősorban a *relativisztikus mechanika* alkalmas, amely Einstein relativitáselméletén alapul.



39.1. ábra. Newton klasszikus mechanikája csak a fénysebességnél jelentősen kisebb sebességű testek mozgásának a leírására alkalmas. A fénysebességgel összevethető sebességű testek (például távoli galaxisok) mozgását a *speciális relativitáselmélet* írja le



39.2. ábra. A váltóáram által létrehozott elektromágneses hullámok viselkedésére a Maxwell-féle *klasszikus elektrodinamika* adja meg a választ, de az atom fénysugárzását (látható tartományú elektromágneses hullámokat) a *kvantum elektrodinamika* magyarázza meg, amelynek része a klasszikus elektrodinamika

2 Megtudjuk, miért behatárolt a fizikai törvények és elméletek alkalmazása

A paragrafus 1. pontjának elolvasása után közületek néhányan valószínűleg meglepődtek. Például azon, hogy miért nem használhatók Newton törvényei a mikrorészecskék mozgásának a leírására? Hiszen ezek törvények! A magyarázat érdekében felidézzük a fizikai elmélet felépítését.

Ha meghatározott fizikai folyamatot vizsgálunk (megfigyelést, kísérleteket, számításokat végzünk), akkor nem kell átfognunk a folyamatot kísérő összes jelenséget, nem kell figyelembe vennünk az összes tényező hatását. Csak azokat a tényezőket választjuk ki, amelyek szerintünk jelentősen befolyásolják a folyamatot, vagyis felépítjük a folyamat *fizikai modelljét*. A modell felhasználásával lehetőségünk nyílik számtalan fizikai jelenség természetének a magyarázatára, a rájuk vonatkozó törvényeket megfogalmazására. A fizikai törvények összessége alkotja a *fizikai elméletet*.

Mivel az elmélet megalkotásához a folyamat fizikai modelljét használtuk fel, a folyamatról meglévő tudásunkat pedig behatárolta az akkor ismert tények mennyisége, ezért nem kell csodálkozni azon, ha idővel újabb tények merülnek fel, amelyek már nem férnek bele az általunk létrehozott elmélet kereteibe. Azaz kiderül, hogy az *elméletünk alkalmazása behatárolt*. Az új tények új elmélet létrehozását igénylik, amely az előző elméletet magába építi, és nem mond ellent neki (39.1., 39.2. ábrák).

3 Alapvető kölcsönhatások a Világegyetemben

Idézzétek fel a fizika és kémia tananyagát! Milyen kölcsönhatások tartják a nukleonokat a magban? Az elektronokat az atomban? Az embert a Föld mellett? A Földet a Nap mellett?

Reméljük, sikerült válaszolnotok a kérdésekre, és megneveztétek a számotokra már ismert három kölcsönhatást: az *erőset*, az *elektromágnesest* és a *gravitációs* (*tömegvonzásit*). Ezek a kölcsönhatások alapozzák meg a matéria „építőköveinek” az egyesülését atomokká, az atomokét – molekulákká, a molekulákét – anyagokká. A testek bármilyen tulajdonsága, bármilyen jelenség kölcsönhatással van kapcsolatban.

Napjainkban a tudomány *négy alapvető (fundamentális) kölcsönhatást* különböztet meg: gravitációt, elektromágnesest, erőt és gyengét.

A tudósok sok évtizede próbálkoznak egy univerzális kölcsönhatási elmélet létrehozásával. Már néhány lépést sikerült megtenniük. Például a múlt század 60-as éveinek a végén sikerült létrehozni az úgynevezett *elektromosan gyenge kölcsönhatás* elméletét, amelynek a keretében összevonták az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatást. De az összes kölcsönhatás („nagy”) összevonása még nagyon messze van.

Alapvető kölcsönhatások a természetben			
Gravitációs	Elektromágneses	Erős	Gyenge
A Világegyetem összes anyagi objektuma vonzza egymást	Töltött testek és részecskék elektromos kölcsönhatása; mozgó töltött részecskék és mágneses testek mágneses vonzása és taszítása	A mag belsejében lévő nukleonok kölcsönös, töltéstől független vonzása	Az atommagok β -osztódásáért és a részecskék lassú osztódásáért felel
Bármekkora távolságon kimutatható	Bármekkora távolságon kimutatható	10^{-15} m nagyságrendű távolságon észlelhető (a nukleonok méretén belül)	10^{-18} m nagyságrendű távolságon észlelhető
Bolygók, csillagrendszerek, galaktikák létrejötte és létezése	Atomok, molekulák, fizikai testek létrejötte és létezése; rádiójelek, idegimpulzusok létrejötte	Atommagok létezése és stabilitása	Atommagok β -bomlása
		Csillagok izzása	

4

Megismerkedünk a megmaradási törvények alapvető jellegével a természetben

A tér és idő egy sajátos küzdőtér, amelyben lejátszódik a Világegyetem összes jelensége és folyamata. Ezért érthető, hogy a tér és idő alaptulajdonságaival kapcsolatosak a Világegyetem legfontosabb törvényei – a megmaradási törvények. Ezeket a törvényeket *alaptörvényeknek* nevezik, mivel érvényesek a mikro-, makro- és megavilág összes objektumára, *bármilyen kölcsönhatás esetében teljesülnek*.

A tudósok hosszú időn át ösztönösen érezték, hogy az összes megmaradási törvény a Világegyetem bizonyos szimmetriájával kapcsolatos (39.3. ábra).

1918-ban *Emmy Amalie Noether* (1882–1935) német matematikus bebizonyította azt a tételt, amely szerint *minden fizikai rendszer folyamatos szimmetriájának egy meghatározott megmaradási törvény felel meg*. Például az energiamegmaradás törvénye az idő homogén jellegének* – az időeltolódáshoz

* A tér és idő homogén jellege azt jelenti, hogy a fizikai tulajdonságok és jelenségek azonosak bármelyik pillanatban a tér bármelyik pontjában.



39.3. ábra. Egyszerű szimmetriafajták a természetben

viszonyított szimmetriának – a következménye; az impulzusmegmaradás törvénye a tér homogén jellegének következménye – térbeli leképezésekhez viszonyított szimmetria.

A megmaradási törvények egyik következményeként előre tudható egyes folyamatokról, hogy lehetetlen a megvalósulásuk, hiszen ezek a törvények még részletes információ nélkül is lehetőséget nyújtanak általános következtetések megfogalmazására. Például tudjuk, hogy örökmozgót lehetetlen létrehozni: annak létezése ellentmond az energiamegmaradás és -átalakulás törvényeinek.

Ismeritek a megmaradás három alaptörvényét: az *energia megmaradásának és átalakulásának törvényét*, az *impulzusmegmaradás törvényét* és az *elektromos töltés megmaradásának törvényét*. Megvizsgáljuk az energiamegmaradás és -átalakulás törvényének megnyilvánulásait.

4

Megvizsgáljuk az energiamegmaradás és -átalakulás törvényének megnyilvánulásait

Az energiamegmaradás és -átalakulás törvénye arról tanúskodik, hogy az *energia nem vész el, a semmiből nem jön létre, csak egyik testtől a másiknak adódik át, más típusú energiává alakul át*.

Energiafajták a természetben

Mechanikai	Belső			Elektromágneses		
	Hő-	Kémiai	Nukleáris	Elektromos	Mágneses	Sugárzási
Mozgás és testek vagy részecskék kölcsönhatásának energiája	Kaotikus mozgás és anyagok részecskéi kölcsönhatásának energiája	Kémiai kötések energiája	Magokban „elrejtett” energia	Elektromos áram energiája	Állandó és elektromágneses energiája	Elektromágneses hullámok energiája

Megvizsgáljuk példákon az energiaátalakulás folyamatait.

1. példa. A 39.4. ábrán a *napenergia két átalakulási láncja* látható. Megvizsgáljuk a természetes folyamatot (39.4. b ábra).

A Nap felszínén termonukleáris reakció következtében létrejött atomenergia sugárzási energiává alakul át.

Amikor ez az energia növények zöld levelére kerül, a klorofil elnyeli, és a táplálék kémiai energiájává alakítja át.

A növények által raktározott kémiai energiát (táplálékot) elfogyasztva az emberi szervezet a sejtek kémiai energiájává alakítja azt át.

Az ember izmaiban tárolt kémiai energia mechanikai (mozgási) energiává alakul át.

- Próbáljátok leírni a napenergia átalakításának folyamatát a technikában (39.4. a ábra)!



39.4. ábra. Napenergia átalakítása a technikában (a) és átalakulása a természetben (b)

2. példa. Megvizsgáljuk az energia „mozgását” a vízerőmű munkája során (39.5. ábra).

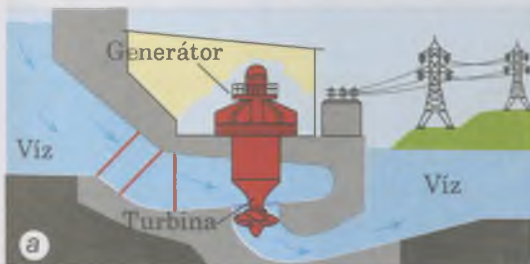
Gáttal elzárják a víz útját, ezáltal víztározó keletkezik, amelyben a víz-szint jelentősen meghaladja a gát másik oldalán lévő vízszintet, és ennek köszönhetően a víztározó vize potenciális energiára tesz szert.

A magasból alázuódulva a víz elveszíti potenciális energiáját, de eközben kinetikus energiához jut.

Az áramfejlesztő turbina lapátjaira kerülve a víz átadja nekik saját kinetikus energiáját, és ebből a turbina forgási kinetikus energiája lesz.

A turbina forgatja az elektromos generátor rotorját, amelyben a forgási energia elektromos energiává alakul át.

Az elektromos energia vezetékeken jut el a lakásokban található izzólámpához, ami azt fény- és hőenergiává alakítja át.



39.5. ábra. Vízerőmű: a – működési elve, b – látképe (DnyiproGESZ)

A folyamatok során az energia egy része belső energiává alakul át (víz, vezetékek, a turbina és a generátor csapágyainak felmelegedése).

Az említett láncolatok mindegyikében az energia egyik fajtájából másikká alakul át, miközben *a teljes energiameennyiség változatlan marad* (az energia megmarad). A különböző fajtájú energiák értékét összeadva azok összege mindig azonos lesz.



Összegezés

Az anyagi világ kutatás céljából elérhető részét Világegyetemnek nevezzük. A tudomány a Világegyetem objektumait és a rájuk jellemző jelenségeket három, minőségileg eltérő szintre osztja: mikrovilág, makrovilág, megavilág.

Minden fizikai jelenség és a Világegyetem objektumainak létezése az alapvető kölcsönhatások – gravitációs, elektromágneses, erős, gyenge – alapján magyarázható meg.

A Világegyetem térben és időben létezik, amelyek tulajdonságaival magyarázható a megmaradási alaptörvények létezése. Az olyan törvényeké, amelyeknek a Világegyetem minden folyamata alá van rendelve. Ilyen törvény például az energia megmaradásának és átalakulásának törvénye, az impulzusmegmaradás törvénye.

Minden fizikai elméletnek vannak alkalmazási határai. Újabb tudással új elmélet fogalmazódik meg, amelyiknek általában az előző elmélet is alkotóeleme.



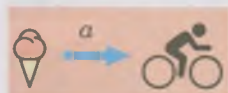
Ellenőrző kérdések

1. Soroljatok fel objektumokat a Világegyetem különböző strukturális szintjeiről!
2. Többnyire milyen elmélet írja le a mikrovilágot? A makrovilágot? A megavilágot?
3. Miért behatárolt minden fizikai elmélet alkalmazása?
4. Milyen alapvető kölcsönhatásokat ismertek? Mondjatok példákat azok megnyilvánulásaira!
5. A tér vagy az idő melyik tulajdonságával kapcsolatos az energiamegmaradás és -átalakulás törvénye? Az impulzusmegmaradás törvénye?
6. Milyen energiafajták léteznek?
7. Mondjatok példákat az energiamegmaradás és -átalakulás törvényének a megnyilvánulásaira!



39. gyakorlat

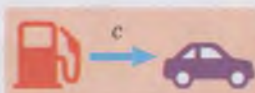
1. A hasznos háztartási tanácsok között találjuk a következőt: ha télen az erkélyen tárolják a burgonyát, akkor megfagyása ellen a tárolóedénybe tesznek egy villamos égőt, amelyet időnként bekapcsolnak. Miért van erre szükség? Sötétben hidegebb van, mint világosban?
2. Az 1. ábrán néhány energiaátalakulási módot láthattok. Milyen energia milyenné alakul át az esetek mindegyikében?
3. Milyen energiaátalakulás történik az úrhajó Föld körüli pályára bocsátása során? Lift emelkedése közben? Szög deszkába verésekor?
4. A 2. ábra adatainak segítségével határozzátok meg a gépkocsi működésének hatásfokát!



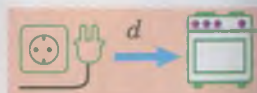
Az étel mozgási energiát ad az embernek



A Nap energiát ad a növényeknek



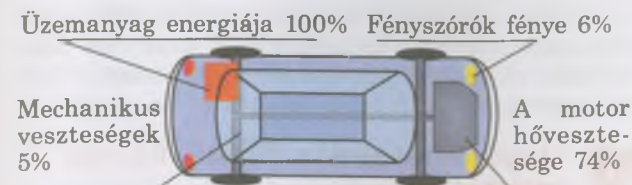
Az üzemanyag energiát ad a gépkocsinak



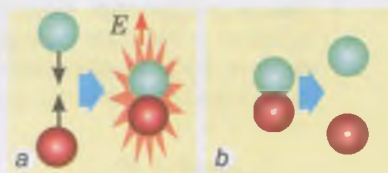
A bekapcsolt elektromos tűzhely felmelegszik

1. ábra

5. Két részecske egyesülése eredményeként egy összetettebb részecske jött létre, eközben E energia szabadult fel (3. a ábra). Az összetett részecskét felbontották, vagyis visszaállították az eredeti állapotot (3. b ábra). Felszabadult vagy elnyelődött az energia az utóbbi folyamat során?
6. A tórium radioaktív bomlási sorának felhasználásával (lásd a 23.9. ábrát) írjatok fel egy β -hasadási és egy α -hasadási reakciót! Bizonyítsátok be, hogy a reakciók során érvényesül az elektromos töltés megmaradásának törvénye!



2. ábra



3. ábra



Kísérleti feladatok

Hulahopp karika, fonal, mérőszalag és stopperóra segítségével bizonyítsátok be a mechanikai energiamegmaradás törvényét!

1. Mérjétek le a karika hosszát, és függesszétek fel az ábrán látható módon (a rögzítési pontok szabályos háromszöget alkotnak) (4. ábra)!
2. Addig tekerjétek a karikát, míg a felső részen a fonal össze nem csavarodik!
3. Mérjétek meg a h magasságot, amennyire a karika felemelkedett!
4. Engedjétek el a karikát, az forogni kezd. Amikor a forgás sebessége a maximumhoz közelít (a fonal majdnem széttekeredett), határozzátok meg a karika pontjainak a sebességét! Ehhez mérjétek meg öt teljes fordulat idejét, majd a $v = l/T$ képlet segítségével számítsátok ki a forgás T periódusát (l – a karika hossza)!
5. Határozzátok meg a karika pontjai kinetikus energiájának és a felemelt karika potenciális energiájának az arányát! Vonjátok le következtetéseiteket!



4. ábra

Fizika és technika Ukrajnában



Viktor Mihajlovics Hluskov (1923–1982) – világhírű ukrán tudós, akadémikus, meghatározó kibernetikai, matematikai és számítástechnikai művek szerzője, az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia (UNTA) Kibernetikai Intézetének alapítója és első igazgatója. Ma az intézet Hluskov nevét viseli.

A kibernetikai intézet első fejlesztései, a Kijev elektronikus számítógép és a Dnyipro univerzális vezérlőegység, méltó konkurensei voltak a hasonló amerikai gyártmányú eszközöknek. A mérnöki számításokhoz használt első számítógép a többlépcsős, mikroprocesszor vezérlésű Prominy volt, amelyet a Mir-1, Mir-2 és Mir-3 számítógépes rendszerek követtek. Idővel Hluskov elgondolása alapján hozták létre az akkori legnagyobb műveleti gyorsasággal rendelkező számítógépeket, a EC-2701-et és EC-1766-ot, amelyek másodpercenként 1 milliárd művelet végzésére voltak képesek.

Hluskov kezdeményezésére 1969-ben a Kijevi Tarasz Sevcsenko Egyetemen megnyitották a kibernetikai tanszéket. 1982-ben az UNTA megalapította a Hluskov-ösztöndíjat, amelyet a kibernetika, számítógépek és számítógépes rendszerek általános elmélete terén végzett tudományos tevékenység eredményei alapján ítélnek oda.

40. §. A FIZIKAI VILÁGKÉP VÁLTOZÁSA. A FIZIKA ÉS A TUDOMÁNYOS-MŰSZAKI FEJLŐDÉS

Már három éve tanultok fizikát, tehát sikerült megismerkednetek e tudomány legfontosabb ágaival: a mechanikával, optikával, elektromossággal; kiderítettétek, hogy mit neveznek a fizikában törvénynek, hogyan kutatják a fizikai jelenségeket. Mindig felhívtuk a figyelmeteket arra, hogyan öltöttek testet a tudósok által elért eredmények a mindennapi életünket megkönnyítő gépek és berendezések formájában. Azonban a műszaki haladásnak sajnos negatív következményei is vannak. Eljött az ideje, hogy megbeszéljük a fizikai világkép evolúcióját, és foglalkozunk a fizika és a társadalmi haladás összefüggéseivel.

1

Megismerkedünk a fizikai világkép változásával

Az embereket több ezer éve foglalkoztatja a kérdés: mi is a minket körülvevő Világegyetem? Milyen a szerkezete, milyen törvények alapján fejlődik?

Az ókori filozófusok a Földet tekintették a Világegyetem középpontjának. Úgy képzeltek, hogy a Föld lapos, és azt egy kristálygömb öleli körül (40.1. ábra).

A középkorban Galileo Galilei és Nikolausz Kopernikusz tanításai alapján megalkották a heliocentrikus világképet – a tanítást, amely szerint a Világegyetem központjában a Nap található, az összes többi test pedig, a többi között a bolygók is (ahogy a Föld is) a Nap körül forognak.

Az elmúlt 100 év során az emberek tudása a Világegyetemről jelentősen bővült. Albert Einstein *általános relativitáselmélete* a Világegyetem sok titokzatos objektumának a létezését magyarázta. Ilyenek például a fekete lyukak. Az elektromágneses hullámok sok tartományában sugárzó rádióteleszkópok segítségével kiszélesedtek az emberiség világűrbeli történő információszerzésének lehetőségei.

Az űrhajók körbeutazták a Naprendszer összes bolygóját, közelről lefényképezték azok felszínét, megfordultak a Marson, Vénuszon, Holdon és egyéb égitesteken. 1990-től van Föld körüli pályán a Hubble űrtávcső, amelynek segítségével távoli galaxisokat is sikerült felderíteni (40.2. ábra). A mega- és makrovilág objektumainak kutatásával egyetemben a tudósok a molekulák, atomok és azok alkotórészeit – a mikrovilágot – is tanulmányozzák.

Az atomok felépítéséről szóló első elképzelések nagyjából 2500 évvel ezelőtt jelentek meg.



40.1. ábra. A világ felépítéséről alkotott ókori elképzelés (metszet)



40.2. ábra. Űrteleszkóp segítségével sikerült lefényképezni a tőlünk 7000 fényévre lévő Sas-ködöt

Ezek kizárólag elképzelések voltak, és az ókori Görögország filozófusainak logikai fejtegetésein alapultak. A XIX. században már megjelentek az anyag atomos szerkezetének közvetett bizonyítékai, amelyek egyedi (de nem közvetlen) kísérleteken alapultak (40.3. ábra).

Csak a XIX. sz. végén és a XX. sz. elején váltak ismertté az *anyag atomos-nukleáris szerkezetének* vitathatatlan bizonyítékai (40.4. ábra). A múlt század végén létrehozott modern, szuper érzékeny mikroszkópok (alagút-, autoelektron-, autoion- és elektronmikroszkópok) segítségével sikerült lefényképezni egyes atomokat (40.5. ábra).

2

Megismerkedünk a fény természetéről szóló elképzelések fejlődésével

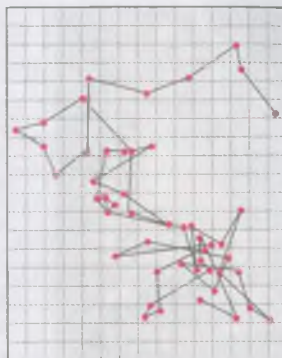
Arisztotelész ókori görög filozófustól napjainkig a tudomány az egységes fizikai világgép megalkotására törekszik. A kutatók a természet tanulmányozásának kezdeti időszakától keresik a mega-, makro- és mikrovilágot leíró egységes elméletet.

Az első összekötő kapocs a XVII–XVIII. századok fordulóján jelent meg a fény tanulmányozása során. Két kiemelkedő fizikus szinte egy időben alkotta meg a fényről szóló, merőben eltérő elméletét. *Isaac Newton* korpuszkuláris és *Christian Huygens* hullámelméletéről van szó.

Newton korpuszkuláris elmélete szerint a fény – *világító testek által kibocsátott részecskefolyam* (korpuszkulák), a fénykorpuszkulák mozgása pedig a mechanikai törvényeknek megfelelően történik. Newton a fényvisszaverést a korpuszkuláknak a felületről történő visszaverődésével magyarázta, a fénytörést pedig a korpuszkulák sebességének a megváltozásával a közeg részecskéivel történő ütközés következményeként.

Huygens 1690-ben napvilágot látott, *Értekezés a fényről* című műve a *hullámoptikáról* szóló első tudományos munkaként került a történelembe.

A fény hullámelméletét olyan neves tudósok is támogatták, mint Mihail Lomonoszov és Leonhard Euler, de mindezek ellenére a XVIII. sz. végéig Newton korpuszkuláris elmélete volt az általánosan elismert. Ez a XIX. sz. elejéig tartott, amikor megjelentek *Thomas Young* (1773–1829) angol és *Augustin-Jean Fresnel* (1788–1827) francia fizikusok munkái. A fény vizsgálata közben a tudósok kizárólag hullámokra jellemző jelenségeket észleltek: a fényelhajlást (difrakciót) és a fénysugár erősödését és gyengülését a



40.3. ábra.

Jean Baptiste Perrin (1870–1942) francia fizikus rajza a folyadék felszínén mozgó virágporszemcse pályájáról. A folyadékmolekulák ütközései által okozott Brown-féle mozgás az anyag atomos felépítésének közvetett bizonyítéka



40.4. ábra. Az α -részecskék nyoma a Wilson-féle ködkamrában



40.5. ábra. Elektron-mikroszkóp

fénynyalábok fedése (interferencia) esetén. Attól kezdve a tudományban *Huygens hullámmélete* diadalmaskodik.

A XIX. sz. 60-as éveiben *James Maxwell* megalkotta az elektromágneses tér elméletét, amelynek eredményeként felmerült az elektromágneses hullámok létezése. Számításai alapján az elektromágneses hullámok terjedési sebessége megegyezik a fény sebességével. Elméleti kutatásai alapján Maxwell arra a következtetésre jutott, hogy a fény – *elektromágneses hullám*. *Heinrich Hertz* kísérletei után már senki sem kételkedett a fény *elektromágneses természetében*.

A fény elektromágneses elmélete sok optikai jelenségre adott magyarázatot, de már a XIX. sz. végére tisztázódott, hogy ez az elmélet nem képes megmagyarázni azokat a jelenségeket, amelyek a fény és az anyagok kölcsönhatása során jönnek létre. Az olyan jelenségeket, mint a fény sugárzásának és elnyelésének folyamata, a fényeffektus, csak a XX. sz. első felében sikerült tisztázni a *fény kvantumelméletének* szemszögéből. Ezen elmélet alapján a fény sugárzása, terjedése és elnyelése nem folyamatos, hanem egységnyi mennyiségként – *kvantumokban* – történik. A fény minden kvantuma részecske tulajdonságokkal rendelkezik, a kvantumok halmaza pedig hullámhoz hasonlóan viselkedik. A fénynek ezt a kettősségét *hullám-részecske kettősségnek* (*dualizmusnak*) nevezték el.

Vagyis több száz év elteltével „egyesült” a két teljesen eltérő elmélet. Ezzel párhuzamosan egyéb összekötő kapcsok is megjelentek. Amikor a tudósok a csillagokban végbemenő fizikai folyamatokat kezdték kutatni, kiderült, hogy ezeknek a gigantikus ködöknek az „izzása” az akkori idők legkevésbé ismert objektumainak – az atommagoknak – a felépítésével és tulajdonságaival magyarázható. Csak a gigantikus részecskegyorsítók létrehozása adta meg a választ nemcsak arra a kérdésre, hogy milyen az atommag felépítése, hanem arra is, hogy miért süt a Nap.

A tudósok biztosak benne: az elemi részecskék tulajdonságainak megismerése révén a Világegyetemmel kapcsolatos számos kérdésre is megkapják a választ. Ebből a célból hozták létre a legnagyobb teljesítményű részecskegyorsítót, a *Nagy Hadronütköztetőt* (lásd a 22.1. ábrát), amelyet 2008-ban indítottak be számos ország tudósainak az erőfeszítésével.

3

Összefoglaljuk a fizika szerepét a tudományos-műszaki haladásban

A *műszaki haladás* – a tudomány és technika egységes, kölcsönös, folyamatos fejlődése.

A 9. osztályos fizikatanulmányaitok során többször felhívtuk a figyelmeteket a fizika és a technika szoros kapcsolatára. A fizikai tudományok több mint 25 évszázados fejlődése során nemcsak a világkép természetének a magyarázatára irányultak a tudósok erőfeszítései. A fizikusok (például az ókori görög tudósok, mindenekelőtt *Archimédész*) mindig is igyekeztek tudományosan megalapozni egyik vagy másik műszaki eszköz vagy módszer alkalmazását.

A XIX. században új tendencia bontakozott ki: már nemcsak a létező, mérnökök által megalkotott eszközök működésének magyarázatára (és javítására) használták fel a fizika eredményeit, hanem ezek alapján új iparágak alakultak ki. Lássunk néhány példát.

A XIX. századig az elektromosság szinte csak a szalonok közönségének szórakoztatására szolgált (40.6. ábra). A XIX. sz. derekától, miután ismertté váltak az elektromos áram továbbítását és hatásait leíró törvények (Ohm törvénye, az elektromágneses indukció törvénye), azonnal fejlődésnek indult az elektromos távíró-, majd a telefonhálózat. A rádió feltalálása és a rádiózás elterjedése azt követően vált lehetővé, hogy Maxwell megalkotta az *elektromágneses hullámok elméletét*.

A XIX. században az új fizikai törvények megalkotása eléggé véletlenszerű volt. Ennek megfelelően az ezekkel a törvényekkel kapcsolatos új technikai alkalmazások fejlesztése is lassan, komótosan történt, és ez a folyamat csak a XX. században vált rendezetté. Egész sor tervezet (amelyek közül az atombomba előállítására irányuló *Manhattan-terv* a legismertebb) kormányzati megrendelésre készült. Minden ilyen terv kivitelezése során tudományos kutatásokat végeztek, az eredményeik alapján mérnöki munkálatokat (számításokat, tervezést) végeztek.

A fizika fejlődésének jelenlegi szakaszát a termeléssel és a kereskedelemmel történő szoros együttműködés jellemzi. A mérnökök és technológusok minden új műszaki feladat megoldása során tudósokkal dolgoznak együtt. Ennek az együttműködésnek egyik példája a mobiltelefonok miniaturizálása.

A fizika természetesen hatással van más tudományok fejlődésére is. Ez elsősorban az anyag szerkezetének megismerésére irányuló erőfeszítéseknek köszönhető, valamint ezek kvantummechanikai elméleti megalapozásának. A kvantummechanikában elért eredmények alkalmazása a kémiában és a biológiában nagyban elősegítette e két tudomány fejlődését.



40.6. ábra. A vezetők és szigetelők létezésének igazolása (XVIII. századi metszet). A képen selyemszálakon függő hintában egy nő ül. A jobb oldalon álló férfi egy feltöltött rudat közelít a nő kezéhez. A másik oldalon lévő férfi a kezét nyújtja a nő másik kezéhez, eközben közöttük szikra jön létre



Összegezés

Történetének közel 2500 esztendeje alatt a fizika tudománya fokozatosan fejlesztette a természetről alkotott elképzelést, amely egyesíti az ember mega-, makro- és mikrovilágról alkotott képet. A fizikusok nagy erőfeszítéseket tettek a megszerzett ismeretek gyakorlati hasznosítása érdekében.

A XIX. századtól kezdődően a fizikusok nemcsak az ismert tények magyarázatával foglalkoztak, hanem új törvényeket felfedezve és azokra támaszkodva a technika egész ágazatait fejlesztették tovább.

Ma az jellemző, hogy a tudósok „megrendelésre” dolgoznak: a tudományos kutatásoknak közvetlen gyakorlati céljaik vannak.

A fizikusok eredményeit más tudományágak is hasznosítják, például a kémia és a biológia. A tudomány, az ipar, a mezőgazdaság a fizikából megismert műszereket és módszereket alkalmazza.

Ellenőrző kérdések

1. Milyen műszerekkel vizsgálják a megvilágot? 2. Milyen módszereket és műszereket használnak a tudósok az atomok tulajdonságainak a kutatásához?
3. Hogyan képzelik el napjainkban a fény természetét? 4. Mi a lényege a hullám-részecske kettősségnek? 5. Indokljátok meg érvekkel, miért kell ismerniük a mérnököknek Ohm törvényét!

Fizika és technika Ukrajnában



Boris Jeremijovics Verkin (1919–1990) – neves ukrán fizikus, az alacsony hőmérsékletek fizikájának tudósa, az UNTA Harkivi Fizikai-Műszaki Intézet megalapítója és első igazgatója.

Verkin tudományos munkáit a fémek mágneses tulajdonságai, a fundamentális és alkalmazott szupravezetés, az anyagszerkezetek alacsony hőmérsékleten történő viselkedése, a kriogén kristályok és folyadékok, molekuláris biofizika, a folyadékok súlytalanságbeli viselkedése kutatásának szentelte. A tudósnak jelentős szerepe volt az űrkutatásban: a részvételével hozták létre a Venyera-9, Venyera-10, Szaljut-4 űrhajók fedélzeti műszereit a Hold, Mars és más bolygók felszínén található fizikai feltételek modellezésére.

A kriogén orvostudomány számára kidolgozta a vér, szövetek, csontvelő sejteinek alacsony hőmérsékleten történő huzamos tárolási módszerét, valamint a bőrgyógyászat, nőgyógyászat, fogorvoslás, idegsebészet és az orvostudomány egyéb ágazatai részére kriogén sebészeti eszközöket és berendezéseket fejlesztett ki.

A tudományban elért eredményeiért az Alacsony Hőmérsékletek Fizikai-Műszaki Intézete felvette Borisz Verkin nevét. Az UNTA Verkin-ösztöndíjat hozott létre, amelyet az alacsony hőmérsékletek fizikája és technikája terén elért jelentős tudományos eredményekért ítélnek oda.

A világűr meghódítása

1957. október 4-én a szovjet tudósok Föld körüli pályára állították bolygónk első műholdját, ami megnyitotta az emberiség világűrkorszakát (1. ábra). Miután a műholdról levált a hordozórakéta második fokozata, a fedélzetén lévő adó sugározni kezdett, és az általa leadott rádiójel világszerte hallható volt.



1. ábra

1961. április 12-én elsőként repült ember az űrbe. Ezt az űrrepülést a Vosztok űrhajó fedélzetén *Jurij Gagarin* (1934–1968) (a 2. ábrán balról) szovjet űrhajós hajtotta végre. A Vosztok űrhajót *Szerhij Pavlovics Koroljov* (1907–1966) (a 2. ábrán jobbról) zsitomiri születésű konstruktor, a Kijevi Műszaki Egyetem egykori diákja irányításával építették meg.

1969. július 21-én Neil Armstrong (szül. 1930) és Edwin Aldrin (szül. 1930) amerikai űrhajósok a Holdra léptek (3. ábra). Az első lépést megtéve a Holdon, Armstrong a következőket mondta: *Kis lépés az embernek, de hatalmas ugrás az emberiségnek.*



2. ábra



3. ábra

Rosetta-küldetés

A küldetés célja – űrszonda landolása egy üstökösen. Az Európai Űrügynökség szakemberei által létrehozott Rosettát 2004-ben indították útnak, és tíz év alatt több százmillió kilométert tett meg, hogy egy 10 km (!) átmérőjű üstökös pályájára álljon. Mi több, az űrszonda Philae nevű leszállóegysége 2014. november 14-én sikeres landolást hajtott végre az üstökös felszínén (4. ábra). Hozzá kell tenni, hogy a Rosetta az 1969-ben *K. Csurjumov* ukrán tudós által felfedezett Csurjumov-Geraszimenko üstököst vizsgálta.



4. ábra

A Mozgás és kölcsönhatás. Megmaradási törvények CÍMŰ V. RÉSZ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. Az V. részt tanulva felidéztték a *mechanika alapfogalmait* (mechanikai mozgás, mozgáspálya, megtett út, elmozdulás, vonatkoztatási rendszer), megismerkedtek az *egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgással*, megtanulták a rá jellemző *fizikai mennyiségek* meghatározását.

EGYENES VONALÚ EGYENLETESEN GYORSULÓ MOZGÁS

mozgás, melynek során a test egyenes vonalú mozgáspályán mozog változatlan értékű és irányú gyorsulással

Fizikai mennyiségek

Gyorsulás
[a] = 1 m/s²

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

Sebesség
[v] = 1 m/s

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Elmozdulás
[s] = 1 m

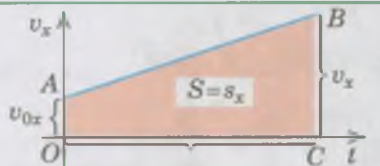
$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Koordináta
[x] = 1 m

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Az elmozdulás mér-
tani tartalma:

$$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$$



2. Megtanulták a dinamika legfontosabb törvényeit – *Newton törvényeit*, megtudták, hogyan különböztethetők meg az *inerciális és nem inerciális vonatkoztatási rendszereket*.

EGYENES VONALÚ EGYENLETESEN GYORSULÓ MOZGÁS

Newton első törvénye

Léteznek olyan vonatkoztatási rendszerek, amelyekhez képest a test megőrzi nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, ha nem hatnak rá más testek vagy a hatásaik ki-egyenlítik egymást.

Newton második törvénye

A gyorsulás, amelyre a test az erő hatására tesz szert, egyenesen arányos ezzel az erővel, és fordítottan arányos a test tömegével:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Newton harmadik törvénye

Az erők, amelyekkel a testek kölcsönösen hatnak egymásra, egy egyenes mentén irányulnak, nagyságuk egyenlő, irányuk pedig ellentétes:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

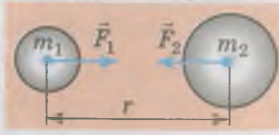
3. Elmélyítették az *általános tömegvonzásról* meglévő tudásokat, megtanulták az *általános tömegvonzás törvényét*, és megkapták a *nehézségi erő meghatározására szolgáló képletet*.

GRAVITÁCIÓS ERŐK

Általános tömegvonzás ereje

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

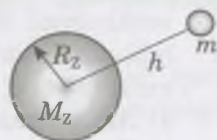
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$



Nhézségi erő

$$F = G \frac{m M_Z}{(R_Z + h)^2}$$

$$F = mg$$



4. Tisztázták, hogy a test kizárólag a nehézségi erő hatására történő mozgását *szabadesésnek* nevezzük, a gyorsulást, amellyel a test mozog a nehézségi erő hatására, a *szabadesés gyorsulásának*!

SZABADESÉS GYORSULÁSA

Képlet

$$g = G \frac{M_Z}{(R_Z + h)^2}$$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$ – a Föld felszínén

Irány

függőlegesen lefelé



Függ

- a test földfelszín feletti magasságától;
- a hely földrajzi szélességétől

Nem függ

- a test tömegétől;
- a test sebességének értékétől és irányától

5. Felidéztek az *energiamegmaradás törvényét*, és megismerkedtek az *impulzus megmaradásának törvényével*.

MEGMARADÁSI TÖRVÉNYEK A MECHANIKÁBAN

A mechanikai energia megmaradásának törvénye

A kizárólag rugalmassági és nehézségi erővel egymással kölcsönható testek zárt rendszerében a teljes mechanikai energia változatlan marad:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$$

Az impulzus megmaradásának törvénye

Zárt rendszerben a testek impulzusainak vektorösszege kölcsönhatás előtt megegyezik a testek kölcsönhatás utáni impulzusainak vektorösszegével:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

6. Általánosították tudásokat a *természet alapkölcsönhatásairól*, megismerték a *megmaradási törvények fundamentális jellegét*.

ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK

Gravitációs

Elektromágneses

Erős

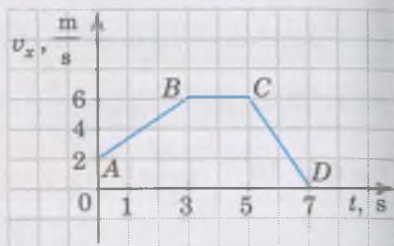
Gyenge

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK A mozgás és kölcsönhatás. Megmaradási törvények CÍMŰ V. RÉSZHEZ

Az 1–8. feladatok csak egy helyes választ tartalmaznak.

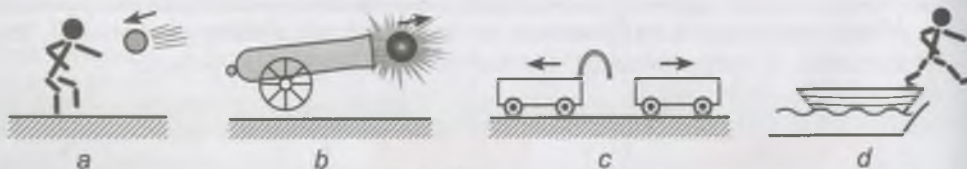
1. (1 pont) A test az OX tengely mentén mozog. Az 1. ábrán látható a sebesség vetületének időfüggése. A grafikon melyik szakasza felel meg a test egyenletes mozgásának?

- a) AB szakasz;
- b) BC szakasz;
- c) CD szakasz;
- d) AB és CD szakaszok.



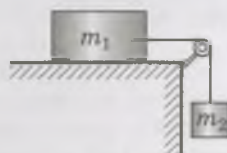
1. ábra

2. (1 pont) A felsoroltak közül melyik fizikai mennyiség skaláris?
- a) gyorsulás;
 - b) sebesség;
 - c) impulzus;
 - d) energia.
3. (1 pont) Melyik testtel kell összekötni a vonatkoztatási rendszert, hogy az inerciális legyen?
- a) a vonat gyorsulni kezd;
 - b) a kislány a hintán hintázik;
 - c) a kisfiú az úton állandó sebességgel egyenes vonalúan halad;
 - d) a kutya lassítja a mozgását.
4. (1 pont) A függőlegesen feldobott test csak a nehézségi erő hatására mozog. A test gyorsulása:
- a) a mozgás kezdetének pillanatában a legnagyobb;
 - b) azonos a mozgás bármelyik pillanatában;
 - c) a mozgáspálya legmagasabb pontjában a legkisebb;
 - d) esés közben növekszik.
5. (2 pont) Milyen a test gyorsulása, ha 2 s alatt sebessége 3-ról 6 m/s-ra növekszik?
- a) $1,5 \text{ m/s}^2$;
 - b) 3 m/s^2 ;
 - c) $4,5 \text{ m/s}^2$;
 - d) 6 m/s^2 .
6. (2 pont) A gépkocsi elindul és 5 s-on át állandó, 4 m/s^2 gyorsulással halad. Határozzátok meg a gépkocsi elmozdulását ezen idő alatt!
- a) 10 m;
 - b) 20 m;
 - c) 50 m;
 - d) 100 m.
7. (2 pont) A 2. ábrán két test kölcsönhatásának négy esete látható. Melyik esetben *nem* tekinthető a testek rendszere zártnak?

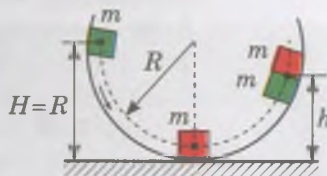


2. ábra

8. (3 pont) A 100 g tömegű test két, kölcsönösen merőleges, 6 N és 8 N értékű erő hatására mozog. Mekkora a test gyorsulása?
9. (3 pont) Az 1. ábrán látható grafikon alapján határozzátok meg a test elmozdulását a megfigyelés ideje alatt! A kiválasztott vonatkoztatási rendszerben a test az OX tengely mentén mozgott.
10. (3 pont) A testet 30 m/s sebességgel függőlegesen felfelé dobták. Mennyi idő múlva lesz a test 25 m-re a dobás pontjától? Milyen lesz a test sebessége ebben az időintervallumban?
11. (3 pont) A lift padlóján 20 kg tömegű csomag van. A lift 2 m/s^2 gyorsulással mozgásba lendül. Milyen lesz a csomag súlya? Két lehetőséget vizsgáljatok meg!
12. (4 pont) A 2,5 kg tömegű test az OX tengely mentén mozog. Mozgását a következő egyenlet írja le: $x = 15 + 3t - t^2$. Feleltessétek meg a fizikai mennyiségek és azok SI-rendszerbeli értékeit!
- | | |
|--|-------|
| 1 A testre ható erő. | A 0 |
| 2 A test impulzusa a megfigyelés kezdetén. | B 1,5 |
| 3 A test kinetikus energiája a megfigyelés után 1,5 s-mal. | C 4,5 |
| 4 A test mozgásideje megállásig. | D 5 |
| | E 7,5 |
13. (4 pont) Az 500 g tömegű hasáb a hozzákapcsolt 150 g tömegű nehezék hatására a mozgás kezdetétől 80 cm-t tett meg 2 s alatt (3. ábra). Határozzátok meg a csúszási súrlódási együtthatót!
14. (4 pont) A földfelszín felett 2,8 m magasban található pontból az 1. testet 12 m/s sebességgel függőlegesen felfelé dobták. Abban a pillanatban, amikor a test elérte emelkedése legmagasabb pontját, a föld felszínéről 10 m/s sebességgel feldobták a 2. testet. Határozzátok meg a testek találkozásának idejét és magasságát!
15. (4 pont) A 4. ábra adatainak felhasználásával határozzátok meg azt a h magasságot, amelyre a két azonos tömegű test az ütközés után felemelkedik! A henger belső felületét tekintsetek ideálisan simának!



3. ábra



4. ábra

A feleleteket a könyv végén találjátok. Jelöljétek meg a helyes válaszokat, és számoljátok össze az elért pontszámot, majd az összeget osszátok el hárommal! A kapott szám jelenti a tudásszinteteket.



A gyakorló tesztfeladatokat megtalálhatjátok az *Interaktív tanulás* című honlapon.

Projektek ajánlott témái

1. Megmaradási törvények a természetben, technikában, háztartásban.
2. Fizika a modern ember életében.
3. A fizikai kutatások mai állapota Ukrajnában és a világban.
4. Ukrajna – úrhatalom.
5. Az impulzusmegmaradás törvényének alkalmazása a technikában.

Referátumok és beszámolók témái

1. Newton törvényeinek szerepe a fizika fejlődésében.
2. Nehézségi erő a Naprendszer bolygóin és azok holdjain.
3. Létezik centrifugális erő?
4. Hogyan mozog a horizonthoz viszonyítva bizonyos szögben eldobott test, ha nem hagyhatjuk figyelmen kívül a légellenállást?
5. Reaktív mozgás a természetben.
6. Az űrhajózás története.
7. Az első ukrán űrhajós.
8. Koroljov élete és munkássága.
9. A Galileo Nemzetközi Űrprojekt.
10. Megmaradási törvények a Világegyetemben.
11. A fizikai vákuum energiája.
12. Miért nevezik a tömeget az energia mértékének?

Kísérleti feladatok témái

1. Newton második törvényének kísérleti ellenőrzése.
2. Newton harmadik törvényének kísérleti ellenőrzése.
3. Több erő hatása alatt álló test egyenes vonalú egyenletes mozgása feltételeinek vizsgálata.
4. Erők összeadódásának tanulmányozása.
5. Test repülési távolságának vizsgálata.
6. Reaktív mozgás létrehozása és megfigyelése.
7. A rugalmas és nem rugalmas ütések vizsgálata.
8. Energiamegmaradás elvén működő eszközök készítése.

FIZIKA ÉS ÖKOLÓGIA. ALTERNATÍV ENERGIAFORRÁSOK

Képzeljétek el, hogy egy hétre a civilizáció minden modern vívmánya nélkül maradtok. Nem tudtok mobiltelefonon és interneten beszélni a barátaitokkal, lakásokban nincs fűtés, áram, nem használhatjátok a közlekedési eszközöket...

A fizika és technika vívmányainak felhasználása kétségtelenül pozitív dolog. De sajnos ennek vannak hátrányai is. A technika gyors fejlődéséhez rengeteg energiára, természeti kincsre, szintetikus anyagok felhasználására, építkezésre, utak építésére van szükség. Mindez az ökológiai helyzet, azaz a természeti környezet állapotának romlásához vezet. A tanév utolsó órájának témája – a fizika és az ökológia problémái.

1 Megismerkedünk a környezetszennyezés különféle típusaival és fajtáival

Két típusú környezetszennyezés létezik: *természetes* és *antropogén* (emberi tevékenységből eredő).

● Mondjatok 2–3 példát mindkét típusú szennyezésre!

A fent említett típusokat a következő fajtákra oszthatjuk: *vegyi, biológiai, mechanikus* (1., 2. ábrák), *fizikai környezetszennyezés*. Értethető, hogy a szennyező anyagok, a sugárzás negatív hatása azok koncentrációjától, stabilitásától (tartósságától), vegyi és nukleáris aktivitásától függ.

Részletesebben az *antropogén fizikai környezetszennyezéssel*, pontosabban a *hő-, zaj-, radioaktív- és elektromágneses szennyezéssel* fogunk foglalkozni. Megjegyezzük, hogy ezekre a szennyezéstípusokra már felhívtuk a figyelmeteket a megfelelő témák tanulásakor.

2 Felidézzük a hőszennyezést

A hőszennyezés elsősorban az *üvegházhatással* kapcsolatos. Az ipar, a közlekedés, az elektromos energia előállítása és fűtés céljából az emberiség óriási mennyiségű szén, földgázt és kőolajat éget el. Közben az atmoszférába szén-dioxid (CO_2) kerül, amely tükrökként hat a Föld felől ható hősugárzásra, visszaveri azt. Ennek eredményeként az energia egy része megreked az atmoszférában, és megnöveli annak



1. ábra. Az óceánba kerülő szemét elpusztítja a természetes plankton, amely a Föld atmoszférájában lévő oxigén 50%-át állítja elő



2. ábra. A nagyvárosokban kialakuló szmog (füst, por, köd) mérgezi az emberi szervezetet, növeli a csapadékmennyiséget, akadályozza a napsugárzást



3. ábra. Műholdas radarok adatai alapján a Bellingshausen- és Amundsen-tenger (Antarktisz) jégmezőinek magassága 10 évente 740–1920 cm-rel csökken



4. ábra. A meleg vízben található zöldalgák aktívan elnyelik az oxigént



5. ábra. Gépkocsi zajszintjének mérése

hőmérsékletét. Az üvegházhatás eredményeként a Föld felszínének átlaghőmérséklete $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal emelkedett. Ez a felmelegedés nagy esőzésekkel és szárazsággal kísért globális klímaváltozást eredményezett. A globális felmelegedés az oka a jégmezők olvadásának az Arktiszon és Antarktiszon (3. ábra), a világóceán szintemelkedésének.

A hőszennyezések forrásai a hővezetékek, föld alatti gázvezetékek, hőerőművek, amelyek forró hűtővizüket a természetes víztározókba eresztik ki. A tározók hőmérsékletének emelkedése csökkenti a vízben oldott oxigén tartalmát (a hőmérséklet emelkedése csökkenti a gázok oldhatóságát), ami a vizek algásodását okozza (4. ábra). Az algák is oxigént nyelnek el.



Próbáljatok önállóan felelni arra a kérdésre, milyen következményei vannak az oxigénhiánynak a víztározókban!



Küzdünk a zajszennyezés ellen

A 20–30 dB (decibel) erősségű zaj ártalmatlan az emberre nézve. De a nagyobb erősségű zaj halláskárosodáshoz, vérnyomás-emelkedéshez vezethet, negatív hatással van a szív- és érrendszerre, idegi és pszichikai rendellenességeket válthat ki.

A legnagyobb teljesítményű és legelterjedtebb zajforrások a közlekedési eszközök, amelyek az ember tartózkodási helyén létrejövő zaj 60–80%-át hozzák létre. A gépjárművek zajszintje elérheti a 75–85 dB-t, a vasúti és légi közlekedési eszközök zajszintje pedig akár a 100 dB-t is.

Figyelembe véve, hogy az emberre nézve csak a 20–30 dB-es zaj ártalmatlan, elképzelhetjük, mekkora negatív hatás éri az országutak, vasutak, repülőterek közelében élőket.

Tehát a közlekedési zaj elleni küzdelemnek (lásd az 5., 6. ábrákat) nagy jelentősége van, és több irányban valósul meg: alacsony zajkibocsátású járművek készítése, útburkolat javítása, az országutak átgondolt építése és kialakítása (körgyűrűk, kerülőutak, zöld növényzet,

zajvédő falak), szervezési intézkedések (repülési tilalom a nagyvárosok felett, kötelező hangtompítás, hangjelzések alkalmazásának tiltása).

 A közlekedési eszközökön kívül milyen zajforrásokat ismertek még? Hogyan védhetjük meg magunkat a hatásuktól?

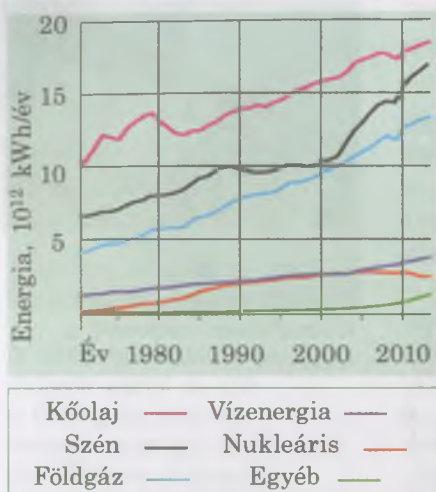


4 Felidézzük a radioaktív és elektromágneses szennyezésről tanultakat

A III. részben megismerkedhettetek az *elektromágneses*, a IV. részben pedig a *radioaktív* szennyezéssel. Felidézzük főbb forrásait, a radioaktív és az elektromágneses sugárzások következményeinek emberre gyakorolt negatív hatását, felvázoljuk az ellenük alkalmazott hatásos védekezés módszereit.

6. ábra. Országutak mentén felállított zajvédő fal, amely többszörösen csökkenti a zajszintet

	Radioaktív szennyezés	Elektromágneses szennyezés
Szennyezés forrása	Baleset az atomerőművekben. Röntgen- és γ -vizsgálat. Gyógyítás γ -sugárzással (sugárterápia). Terrigén (szárazföldi) sugárzás (kavics, keramzit, gránit; a Föld mélyéből jövő és a pincékben megrekedő radon).	Magasfeszültségű villanyvezetékek. Televízió és rádió adóállomások. Mobiltelefonok. Mikrohullámú sütők. Transzformátorállomások. Számítógépek.
Negatív hatás	Rombolja a szervezet sejtjeit. Hatással van az öröklődésre. Károsítja a DNS-t, ami rosszindulatú daganatok kialakulásához vezethet. Sugárbetegséget okoz.	Fáradtságot okoz. Idegbántalmakat idéz elő. Növeli a meddőség esélyét. Agydaganatot okozhat. Rontja az immunitást.
Védekezési eszközök	Röntgenvizsgálat évente legfeljebb egyszer végezhető! Kerülni kell a sugárszennyezett területeket! Alaposan kell szellőztetni! Keveset kell tartózkodni a gránit tartalmú utak közelében lévő zárt helyiségekben!	Csökkenteni kell a mobiltelefon használatát! Többnyire vezetékes telefont kell használni! Ne tartsátok a mobiltelefont a fejetekhez közel (használatok fülhallgatót)! Ne hordjátok a mobiltelefont a zsebetekben!



7. ábra. A világ energiafelhasználása



8. ábra. Paluel – Franciaország legnagyobb atomerőműve



9. ábra. Magánterületen felállított félvezető napelemek

5 Megismerkedünk az alternatív energiaforrásokkal

Évszázadokon át a szénhidrogén alapú tüzelőanyagok (fa, szén, tőzeg, gáz, kőolaj) voltak az ember kizárólagos energiaforrásai, miközben alig károsították a környezetet. De az utolsó száz évben elterjedt a tüzelőanyag energiáját villamos energiává átalakító hőerőgépek felhasználása. Ez mindenekelőtt a fosszilis energiaforrások kimerüléséhez, másodszorban a Föld globális klímaváltozásához vezet. Mai fejlettségi szintjén az emberiség nem tudja csökkenteni a felhasznált energia mennyiségét, sőt ez a mennyiség folyamatosan növekszik, és ahogy az korábban is volt, az energia legnagyobb részét szénhidrogén energiahordozók elégetésével termelik (7. ábra).

A technika jelenlegi fejlettsége lehetővé teszi olyan **alternatív energiaforrások** felhasználását, mint az *atomenergia, szél- és napenergia, apály és dagály energiája, a Föld geotermikus energiája*. Megvizsgálunk néhány példát.

Az európai államok között Franciaországban a legnagyobb az atomenergia felhasználási aránya: az országban megtermelt villamos energia 78%-át atomerőművek adják (8. ábra).

A világ sok országában indult rohamos fejlődésnek a *napenergia* hasznosítása. Napenergiával óriási villanytelepek és a háztartásokat ellátó kisebb napelemek is működnek. A technikában kétféle módszerrel alakítják át a napenergiát villamos energiává: közvetlenül, félvezető berendezések segítségével (9. ábra) és első stádiumként hőenergiává történő alakítással (10. ábra)

A szél szintén jelentős megújuló energiaforrás. A *szélenergia* termelése gyorsan fejlődik: jóllehet jelenleg a világ áramfelhasználásának mindössze

1%-át biztosítják szél erőművek, vannak országok, ahol ez az arány 42%. Ilyen ország Dánia (11. ábra).

Óriási és szinte kimeríthetetlen energiaforrás az *apály és dagály*. Az első apály-dagály erőművet Franciaországban építették meg 1966-ban. A teljesítménye 240 MW. Az erőmű ma is üzemel. Hasonló erőműveket a világ számos országában telepítettek.

A nagy vulkáni aktivitású területeken elterülő országokban régóta hasznosítják a *geotermikus energiát* (a Föld mélyéből feltörő forró víz, száraz és nedves gőz energiája). Ezt a fajta energiát legszélesebb körben Izlandon (12. ábra), a Fülöp-szigeteken (az országban megtermelt elektromos energia 27%-a), Mexikóban és az Egyesült Államokban hasznosítják.



Összegezés

A technika gyors fejlődése, a szintetikus anyagok széles körű felhasználása, nagy mennyiségű szénhidrogén alapú tüzelőanyag elégetése bolygónk ökológiai állapotának rohamos romlásához vezet. A környezetet legnagyobb mértékben az ember szennyezi (antropogén szennyezés). Az emberi tevékenység eredményeként az óceánokon szemétszigetek úsznak (mechanikai szennyezés), az atmoszférába és víztározókba óriási hőmennyiség kerül (hőszennyezés), növekszik a radioaktív háttérsugárzás (radioaktív szennyezés). Az ember egészségére a zaj (zajszennyezés) és az elektromágneses sugárzás (elektromágneses szennyezés) növekedése is negatívan hat.

A szén-dioxid koncentrációjának növekedése a Föld atmoszférájában bolygónk átlaghőmérsékletének 0,7 °C-os emelkedését eredményezte. A káros anyagok kibocsátásának csökkentése és a természeti kincsek megóvása érdekében az országok kormányai támogatják olyan alternatív energiaforrások felhasználását, mint a Nap és szél, apály és dagály, nukleáris és geotermikus források.



10. ábra. A világ legnagyobb tükörs naperőműve – Ivanpah (Kalifornia, USA). A Nap fényét 350 ezer, két méter magas és 3 méter széles tükör vetíti rá a három, egyenként 140 méteres torony egyikére. A napenergia felforralja a toronyban tárolt vizet, az így keletkező gőz pedig egy turbinát forgat, így termelve elektromos áramot



11. ábra. A Dánia partjai mentén felállított szélgenerátorok teljes egészében ellátják az ország északi régiójának energiaszükségletét, sőt a megtermelt energia egy részét eladják a szomszédos országoknak



12. ábra. Izland fővárosának, Reykjavíknak a hőellátását teljes egészében a várostól 7 km-re lévő geotermikus erőmű biztosítja

A MÉRTÉKEGYSÉGEK TÖBBSZÖRÖSEINEK ÉS TÖRT RÉSZEINEK ELŐTAGKÉPZÉSE

Előtag	Jele	Szorzó	Előtag	Jele	Szorzó
tera-	T	10^{12}	centi-	c	10^{-2}
giga-	G	10^9	milli-	m	10^{-3}
mega-	M	10^6	mikro-	μ	10^{-6}
kilo-	k	10^3	nano-	n	10^{-9}
hekto-	h	10^2	piko-	p	10^{-12}
deci-	d	10^{-1}	femto-	f	10^{-15}

GYAKORLATOK ÉS FELADATOK FELELETEI

I. rész. Mágneses tér

1. feladat. 1. Balra – déli, jobbra – északi. 2. Két pólusa. 4. *Segítségül:* azok a vezetők, amelyekben egyirányú áram halad, vonzzák egymást.

2. feladat. 1. Az a ábrán: 1) homogén, 2) A és B – felfelé, 3) egyenlő az A és B pontokban; a b ábrán: 1) homogén, 2) A és B – felénk, 3) azonos az A és B pontokban; a c ábrán: 1) nem homogén; 2) A – balra fel, B – balról jobbra. 3. 1) Igen; 2) B – balra fel, C – balra le; 3) a C pontban; 4) az S -től az N -ig.

3. feladat. 1. A B -től az A -ig. 2. 1) az óramutató járásával ellentétes irányban; 2) tőlünk; 3) a – azonos, b – az A pontban. 3. Déli; igen. 4. Leereszkedik. 5. Balról „+”, jobbról „-”.

4. feladat. 1. a) felfelé; b) balról jobbra; c) balról jobbra; d) $F_A = 0$. 2. 1,08 N; 0. 3. a) alul – északi; b) balra – pozitív. 4. a) 1,2 m; b) 30 mN. 6. a) balról jobbra, b) 0,25.

5. feladat. 1. Keménymágneses. 2. a) paramágnesek tulajdonságai; b) ferromágnesek tulajdonságai. 3. Kis mértékben csökkent. 5. Erős mágneses térbe helyezni.

6. feladat. 1. Mágneses marad az áram kikapcsolása után is; energiára van szükség az újramágneseződéshez. 2. Balról – északi pólus. 3. A B és C -ig. 4. Megnövekszik.

7. feladat. 1. Az óramutató járásának irányában. 2. A voltmérő ellenállása óriási. 3. A berendezés tönkremegy.

8. feladat. 1. Ha változik az áram a külső tekercsben. 2. 1) a) eltaszítódik a mágneztől; b) vonzódik; c) taszítódik; 2) Az áram iránya az elülső falon: a) le; b) fel; c) fel. Mágneses indukció iránya: a) balról jobbra; b) jobbról balra; c) jobbról balra; 3) A gyűrű mozdulatlan marad. 3. A tekercs elülső falán: 1) le; 2) fel; 3) le; 4) fel.

Az I. rész önellenőrző feladatainak megoldásai

1. a. 2. c. 3. 1–C, 2–B, 3–A, 4–E. 4. a, c. 5. c. 6. b. 7. a. 8. A fémtárgyak kiszűrésére. 9. Jobbról „+”. 10. Jobbról „+”. 11. Felül – észak. 12. Vas – igen; réz – nem. 13. Alul – északi; gyengül. 14. A tekercs középső falán lefelé. 15. 0,7 N.

II. rész. Fényjelenségek

- 9. feladat.** 1. 1–D, 2–C, 3–B. 2. a) Hold; b) számítógép monitorja; c) sugárállatka. 3. 8 p 20 s. 4. b, c. 5. $9,46 \cdot 10^{12}$ km.
- 10. feladat.** 3. 1–D, 2–C, 3–B. 4. 67 cm. 9. $c = 10$ cm, $b = 8,7$ cm.
- 11. feladat.** 1. 3 m. 4. 40° . 5. 60 cm; 80 cm. 6. 8 km/h; 4 m-re. 7. 18° .
- 12. feladat.** 2. $1,24 \cdot 10^8$ m/s; $2,26 \cdot 10^8$ m/s; $3 \cdot 10^8$ m/s. 3. 40° . 5. 4 μ s. 7. 1) 2. közeg; 2) 1,5; 3) $1,7 \cdot 10^8$ m/s; 4) 1,2; 2.
- 13. feladat.** 1. Fekete; zöld. 2. Kék; mind a kéken kívül. 3. Lila. 4. Piros.
- 14. feladat.** 1. Az első lencse szóró, a második gyűjtő. 2. Első. 3. 62,5 cm, szóró. 6. Gyűjtő. 7. $S_1A_1 = 1,2$ cm; $OF = 3,75$ cm.
- 15. feladat.** 2. 40 cm. 3. –3 dpt, szóró. 5. 1) 5 dpt; 2) 10 cm. 7. 25 dpt.
- 16. feladat.** 1. 40 cm, közellátás. 2. 12,5 cm. 5. –1 dpt.

A II. rész önellenőrző feladatainak megoldásai

1. a. 2. b. 3. d. 4. b. 5. c. 6. c. 7. a. 8. c. 9. 4 m/s. 10. 20° . 11. 1,4. 12. 1 m. 13. 1–A, 2–C, 3–D. 14. Gyűjtő, 50 cm, +2 dpt. 15. A hal és az ember szemlencséjének adatai majdnem azonosak, viszont a hal szemébe a fény a víz alatt kerül, ezért kevésbé törik meg. 16. 5 cm.

III. rész. Mechanikai és elektromágneses hullámok

- 17. feladat.** 1. a) 2,5 cm; b) 4 cm. 2. 20 m/s. 3. Nem. 4. Nem jönnek létre rugalmassági erők. 5. 45 km. 6. a) balra; b) jobbra. 7. a ábra: 1) 40 cm, 0,067 s, 1,6 m; 2) A és C – felfelé, B – nem mozdul; 3) 450. b ábra: 1) 20 cm, 0,05 s, 2 m; 2) A – felfelé, B – lefelé, C – nem mozdul; 3) 600. 8. 3,2 m/s.
- 18. feladat.** 1. Igen. 2. A lepke szárnymozgásának frekvenciája kevesebb, mint 20 s^{-1} . 3. 8,5 cm; 37,5 cm; 1,25 m. 5. 3 km. 6. 1700. 7. 2,6 s. 10. 72 μ s.
- 19. feladat.** 1. 1) b; 2) a, b. 2. Huzal: $\lambda = 6000$ km, $v = 3 \cdot 10^8$ m/s; rádióadó: $v = 3 \cdot 10^9$ Hz; $v = 3 \cdot 10^8$ m/s; sugárzó: $v = 2 \cdot 10^{14}$ Hz; $v = 3 \cdot 10^8$ m/s. 3. a) 750 nm, 400 nm; b) 457 nm, 240 nm. 5. $0,5 \text{ s}^{-1}$, 2 s.
- 20. feladat.** 1. 4), 2), 1), 3). 2. 1–E, 2–C, 3–D, 4–A. 3. $5,3 \cdot 10^{14}$ Hz. 4. 100 μ m; infravörös. 6. 0,4 s.
- 21. feladat.** 1. 3 km. 2. 0,5 m.

A III. rész önellenőrző feladatainak megoldásai

1. b. 2. d. 3. a. 4. b. 5. d. 6. c. 7. a. 8. b. 9. 300 m. 10. 1–C, 2–B, 3–D. 11. Felfelé. 12. 2 s. 13. A hang tónusa magasabb lesz. 14. 4 m; 17,6 m. 15. 2,4 s; 0,42 Hz; 48 m. 16. 4 m; 50 MHz.

IV. rész. Az atom és atommag fizikája. Az atomenergetika fizikai alapjai

- 22. feladat.** 1. $Z = 18$, $N = 22$. 2. A neutronok számával. 3. 5; 11. 4. Sb. 5. $2 \cdot 10^4$ N.
- 23. feladat.** 1. a) β - és γ -sugárzás; b) γ -sugárzás. 2. $12 \cdot 10^{18}$ Hz. 4. A $^{228}_{88}\text{Ac}$ magra. 5. $6,8 \cdot 10^{-27}$ kg; $7,7 \cdot 10^{-13}$ J. 7. $12,04 \cdot 10^{23}$.
- 24. feladat.** 1. Urán-235; Radon-220. 2. $\approx 7,2 \cdot 10^{17}$. 3. 8-szor. 4. 0,6 s. 5. $3,7 \cdot 10^{20}$ Bq.
- 25. feladat.** 2. $7,2 \cdot 10 \mu\text{Gy}$. 3. 16,6 Sv. 4. 90 μSv .
- 26. feladat.** 1. 234 MJ; 2,34 kg. 2. 82 GJ. 3. $\approx 17\%$.
- 27. feladat.** 1. 32%. 2. $69 \cdot 10^6$ kWh. 3. 432 TJ. 4. ≈ 16 kg.

A IV. rész önellenőrző feladatainak megoldásai

1. b. 2. b. 3. d. 4. a. 5. b. 6. b. 7. d. 8. b. 9. 1–E, 2–D, 3–C, 4–B. 10. c. 11. $^{214}_{84}\text{Po}$. 12. $2 \cdot 10^9$. 13. 1644. 14. 10,4 mGy (biztonságos). 15. $^{225}_{88}\text{Ra}$. 16. 8,4 kg.

V. rész. Mozgás és kölcsönhatás. Megmaradási törvények

№28. feladat. 1. Igen. 2. $1,5 \text{ m/s}^2$. 3. 1 m/s ; 0 ; -1 m/s . 4. 0 . 5. 20 s . 6. a) 2 m/s , 1 m/s^2 , nem; b) -20 m/s , 5 m/s^2 , 4 s ; c) 10 m/s , -3 m/s^2 , $\approx 3,3 \text{ s}$. 7. 1) $v_x = -4 + 2t$; 2) $v_x = 8 - 4t$. 8. 1) $v_x = 2 + 1,5t$; $v_x = -3 + t$; 3) $v_x = 1$; $v_x = 5 - 2t$. 9. 4 s a megfigyelésig. 10. 30 m .

29. feladat. 1. 35 m . 2. 100 m . 3. $1,8 \text{ s}$; $\approx 4,4 \text{ m/s}^2$. 4. 1) b) $x_{01} = 8 \text{ m}$, $x_{02} = -2 \text{ m}$; c) $v_{01x} = -2 \text{ m/s}$, $v_{02x} = -5 \text{ m/s}$; 2) $a_{1x} = 2 \text{ m/s}^2$, $a_{2x} = 4 \text{ m/s}^2$; 2) 5 s , 23 m ; 3) $v_{1x} = -2 + 2t$, $v_{2x} = -5 + 4t$; $s_{1x} = -2t + t^2$, $s_{2x} = -5t + 2t^2$. 5. $l = 40 \text{ m}$, $s = 0$; $x = -20 + 20t - 5t^2$. 6. 40 s . 7. Igen, ha a mozgólépcsőn lefelé mozgunk $2,5 \text{ m/s}$ sebességgel; igen.

30. feladat. 1. A székre $\vec{F}_n$, $\vec{P}$, $\vec{N}$, az emberre $\vec{F}_n$, $\vec{N}$; a hatások kiegyenlítődnek. 2. Vízé, evezőké, Földé. 3. Igen; igen; nem. 4. 2) 0 ; 18 m/s ; 3) 2 m/s^2 , 2 m/s^2 . 6. a) 2 N ; b) 0 .

31. feladat. 1. $2,5 \text{ kN}$. 2. A mozgás irányába; a mozgással ellentétes irányba. 3. 5 m/s^2 , keletre. 4. $2,5 \text{ t}$. 5. 3 m/s^2 . 7. Mindkettő; kislány.

32. feladat. 1. 10 N . 2. Egyformán. 3. $0,5 \text{ m/s}^2$. 4. Nem, $F_{\text{fesz}} = 200 \text{ N}$; igen, $F_{\text{fesz}} = 400 \text{ N}$.

33. feladat. 1. $4,7 \text{ kg}$; 47 N . 2. Nem. 3. Kétszeresére növekszik. 4. $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. 5. $0,625 \text{ m/s}^2$. 6. $4,9 \text{ m/s}^2$. 7. 5 m/s , 10 m/s^2 ; $0,5 \text{ s}$.

34. feladat. 1. A gyorsulások azonosak. 2. Mindegyik test azonos $\vec{g}$ gyorsulással mozog. a) mozgáspálya – parabola szára; b) a test függőlegesen felfelé mozog, majd az ellenkezőjére változtatja az irányát; c) a test függőlegesen lefelé mozog. 3. a) 10 m/s , 15 m ; b) 2 s , 20 m . 4. 3 s , 60 m , 75 m . 5. $0,4 \text{ s}$. 6. 10 m/s^2 ; 7. 35 m . 8. 1 test – 120 m ; 2 test – 25 m .

9. 1 – A, 2 – E, 3 – C, 4 – B.

35. feladat. 1. $3,5 \text{ kN}$. 2. $0,5$. 3. 48 N/m . 4. 110 N , ha a gyorsulás felfelé irányul, 70 N – ha lefelé. 5. 15 N , $0,025$. 6. $0,9 \text{ m/s}^2$. 7. $\approx 0,06$.

36. feladat. 1. $18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$; 0 ; $40,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. 2. 25 m/s . 4. 4 m/s ; 1 m/s ; $1,75 \text{ m/s}$. 5. $1,4 \text{ m}$.

37. feladat. 1. Igen. 2. 1 kN . 3. $2,7 \text{ km/s}$.

38. feladat. 1. 1) 168 kJ ; 2) 8 kJ ; 3) 160 kJ . 2. 12 m/s . 3. 1) 2 m/s ; 2) $0,5 \text{ m/s}$; 3) $1,25 \text{ cm}$. 4. $12,8 \text{ cm}$.

39. feladat. 1. Az izzólámpában az elektromos energia 5%-a fényenergiává alakul, 95% – belső energiává. 4. 15 %. 5. Ugyanakkora mennyiségű energia nyelődött el.

Az V. rész önellenőrző feladatainak megoldásai

1. b. 2. d. 3. c. 4. b. 5. a. 6. c. 7. a. 8. 100 m/s^2 . 9. 30 m . 10. $t_1 = 2 \text{ s}$, $t_2 = 1 \text{ s}$; 20 m/s . 11. 240 N , 160 N . 12. 1 – D, 2 – E, 3 – A, 4 – B. 13. $\approx 0,25$. 14. 1 s ; 5 m . 15. $h = R/4$.

TÁRGYMUTATÓ

A Adaptáció 101
Akkomodáció 100
Ampère hipotézise 26
Atomreaktor 170

Á Árnyék 62
Ábrázolás
– lencsében 94, 95
– síktükörben 69

B Becquerel 158

C Cellakapcsolat 135
Curie 158

Curie-pont 6, 26

D Diamágnesek 24

Diszperzió 86

Dózismérő 166

E Echolokáció 122
Elektrodinamikus hangszóró 3–7
Elektromágnes 29
Elektromágneses generátor 42
Elektromágneses
hullámok spektruma 131
Elektromágneses indukció 41
Elmozdulás 187, 192
Energia 235
– mechanikai 235
Erő
– Ampère-féle 19
– nehézségi 211

F Felezési idő 157
Fényforrás 56
– pontszerű 58
Ferromágnesek 25

- Fókusz távolság 91
Fűtőanyagciklus 174
- G** Gray 163
- Gy** Gyorsulás 187
– szabadesés 213
- H** Hangerő 120
Hullám egyenlete 115
Hullám
– elektromágneses 127
– hang 118
– mechanikai 112
– hosszanti 113
– keresztirányú 113
Hullámhossz 115
- I** Indukált áram 41
Inerciális vonatkoztatási rendszer 200
Infrahang 121
Ionizációs sugárzás adagja
– ekvivalens 164
– elnyelt 163
Izotópok 149
- K** Kísérlet
– Ampère-é 7
– Oerstedé 7
– Rutherfordé 7
– Faraday-é 39
Kollektor 35
Kölcsönhatás
– gravitációs 209, 245
– erős 149, 245
– gyenge 245
– elektromágneses 245
Közeg optikai sűrűsége 76
- L** Lencse optikai ereje 91
Lencse 89
– gyűjtő 90, 94
– szóró 90, 95
- M** Mágnes állandó 6
Mágnes pólusa 6
Mágneses indukció 10, 20
Mágneses indukcióvonalak 11
Mozgás
– mechanikai 186
– reaktív 231
– egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló 188
- N** Nukleáris erők 149
Nukleáris láncreakció 169
Nuklid 149
- P** Paramágnes 25
Pillanatnyi sebesség 189
- R** Radioaktivitás 152, 154
Rádióhullámok 132
Rádiólokáció 136
Radionuklid aktivitása 158
- S** Sievert 164
Sugárzás
– alfa (α) 153
– béta (β) 153
– gamma (γ) 133, 153
– infravörös 132
– röntgen 133
– ultraibolya 133
- Sz** Szabadesés 212
Szabály
– jobbkezes 20
– dugóhúzó 16
Szám
– nukleon (tömeg) 148
– proton (töltés) 148
Szem 100
- T** Tehetetlenség 199
Tér
– gravitációs 209
– elektromágneses 126
– földi 12
– mágneses 8
– homogén 12
Termonukleáris szintézis 171
Tesla 10, 20
Test impulzusa 227
Törésmutató 77
Törvény
– fényvisszaverődés 68
– általános tömegvonzás 210
– fénytörés 76
– energiamegmaradás 247
– impulzusmegmaradás 228
– mechanikai energia megmaradása 236
– tehetetlenségi 199
– Newtoné
– első 201
– második 203
– harmadik 206
– fény egyenes vonalú terjedéséé 62
- U** Ultrahang 121
- V** Vékony lencse képlete 96
Világégyetem 243
Villanymotor 35
Visszhang 121

TARTALOM

Előszó	3
--------------	---

I. rész. Mágneses tér

1. §. Mágneses jelenségek. Oersted kísérlete. Mágneses tér	6
2. §. Mágneses indukció. Mágneses indukcióvonalak. A Föld mágneses tere	10
3. §. Az áram mágneses tere. dugóhúzó-szabály.	15
4. §. Az Ampère-féle erő	19
5. §. Az anyagok mágneses tulajdonságai. Ampère hipotézise	24
6. §. Elektromágnesek és alkalmazásuk	28
1. sz. laboratóriumi munka	32
7. §. Villanymotor. Elektromos mérőműszerek. Hangszóró	34
8. §. Faraday kísérletei. Az elektromágneses indukció jelensége. Indukált elektromos áram	39
2. sz. laboratóriumi munka	45
Az I. rész összefoglalása	48
Önellenőrző feladatok az I. részhez	50
Enciklopédikus oldal	52
Projektek ajánlott témái. Referátumok és beszámolók témái.	
Kísérleti feladatok témái	54

II. rész. Fényjelenségek

9. §. Fényjelenségek. Fényforrások és fényérzékelők. A fény terjedési sebessége.	56
10. §. Fénysugár és fénynyaláb. A fény egyenes vonalú terjedésének törvénye. Nap- és holdfogyatkozás	61
11. §. Fényvisszaverődés. A fényvisszaverődés törvényei. Síktükör	67
3. sz. laboratóriumi munka	73
12. §. Fénytörés két közeg határfelületén. A fénytörés törvényei.	75
4. sz. laboratóriumi munka	83
13. §. A fény diszperziója. A fény spektrális összetétele. Színek	85
14. §. Lencsék. A lencse törőértéke	89
15. §. A lencsék képalkotása. Egyes optikai berendezések. a vékony lencse képlete	93
5. sz. laboratóriumi munka	99
16. §. A szem mint optikai rendszer. Látás és nézés. Szemüvegek. Látáshibák és javításuk	100
A II. rész összefoglalása	104
Önellenőrző feladatok a II. részhez	106
Enciklopédikus oldal	108
Projektek ajánlott témái. Referátumok és beszámolók témái.	
Kísérleti feladatok témái	110

III. rész. Mechanikai és elektromágneses hullámok

17. §. A mechanikai hullámok kialakulása és terjedése. A hullámot jellemző fizikai mennyiségek	112
18. §. Hanghullámok. Infrahang és ultrahang	118
6. sz. laboratóriumi munka	124
19. §. Elektromágneses tér és elektromágneses hullámok	126
20. §. Az elektromágneses hullámok spektruma	130
21. §. A modern drótnélküli kommunikációs eszközök fizikai alapjai. rádiólokáció	135

Enciklopédikus oldal	139
A III. rész összefoglalása	140
Önellenőrző feladatok a III. részhez	142
Projektek ajánlott témái. Referátumok és beszámolók témái.	
Kísérleti feladatok témái	144

IV. rész. Az atom és atommag fizikája.

Az atomenergetika fizikai alapjai

22. §. Az atom mai modellje. Az atommag proton-neutron modellje. Magerók. Izotópok	146
23. §. Radioaktivitás. Radioaktív sugárzás	151
24. §. Radioaktív anyagok aktivitása. Radioaktív izotópok alkalmazása	157
25. §. A radioaktív sugárzás ionizációs hatása. Természetes háttérsugárzás. Dózismérők	163
26. §. Láncreakció. Atomreaktor	168
27. §. Atomenergetika Ukrajnában. Az atomenergetika ökológiai problémái	174
A IV. rész összefoglalása	178
Önellenőrző feladatok a IV. részhez	180
Enciklopédikus oldal	182
Projektek ajánlott témái. Referátumok és beszámolók témái.	184

V. rész. Mozgás és kölcsönhatás.

Megmaradási törvények

28. §. Egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás. Az egyenes vonaltól egyenletesen gyorsuló mozgás sebessége	186
29. §. Elmozdulás egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetében. Koordináta-egyenlet	192
30. §. Inerciális vonatkoztatási rendszerek. Newton első törvénye	199
31. §. Newton második törvénye	203
32. §. Newton harmadik törvénye	206
33. §. Az általános tömegvonzás törvénye. Nehézségi erő. A szabadesés gyorsulása	209
34. §. A test mozgása nehézségi erő hatására	205
35. §. Test mozgása több erő hatására	221
36. §. Testek kölcsönhatása. Impulzus. Az impulzusmegmaradás törvénye	226
37. §. Reaktív mozgás. A rakéatechnika fizikai alapjai. Az űrhajózás sikerei	231
38. §. Az energia- és impulzusmegmaradás törvényeinek alkalmazása mechanikai jelenségekben	235
7. sz. laboratóriumi munka	241
39. §. Alapvető kölcsönhatások a természetben. A fizikai törvények és elméletek alkalmazásának határai. A megmaradási törvények alapvető jellege	243
40. §. A fizikai világkép változása. A fizika és a tudományos-műszaki fejlődés	250
Enciklopédikus oldal	255
Az V. rész összefoglalása	256
Önellenőrző feladatok az V. részhez	258
Projektek ajánlott témái. Referátumok és beszámolók témái.	
Kísérleti feladatok témái	260
Fizika és ökológia. Alternatív energiaforrások	261
A mértékegységek többszöröseinek és tört részeinek előtagképzés	266
Gyakorlatok és feladatok feleletei	266
Tárgymutató	268

Bejegyzések a tankönyv használatáról

Sor- szám	A tanuló neve	Tanév	A tankönyv állapota	
			a tanév elején	a tanév végén
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

Навчальне видання

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

ФІЗИКА

Підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів
з навчанням угорською мовою

За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Переклад з української мови
 Перекладач *Буркуш Арпад Арпадович*
 Угорською мовою

Редактор *Є. Є. Гулачі*
 Художнє оформлення *В. І. Труфен*
 Коректор *Г. М. Тирканич*

В оформленні підручника використані зображення,
розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Формат 70x100/16.

Ум. друк. арк. 22,10. Обл.-вид. арк. 28,73.

Тираж 1834 пр. Зам. № 45 П

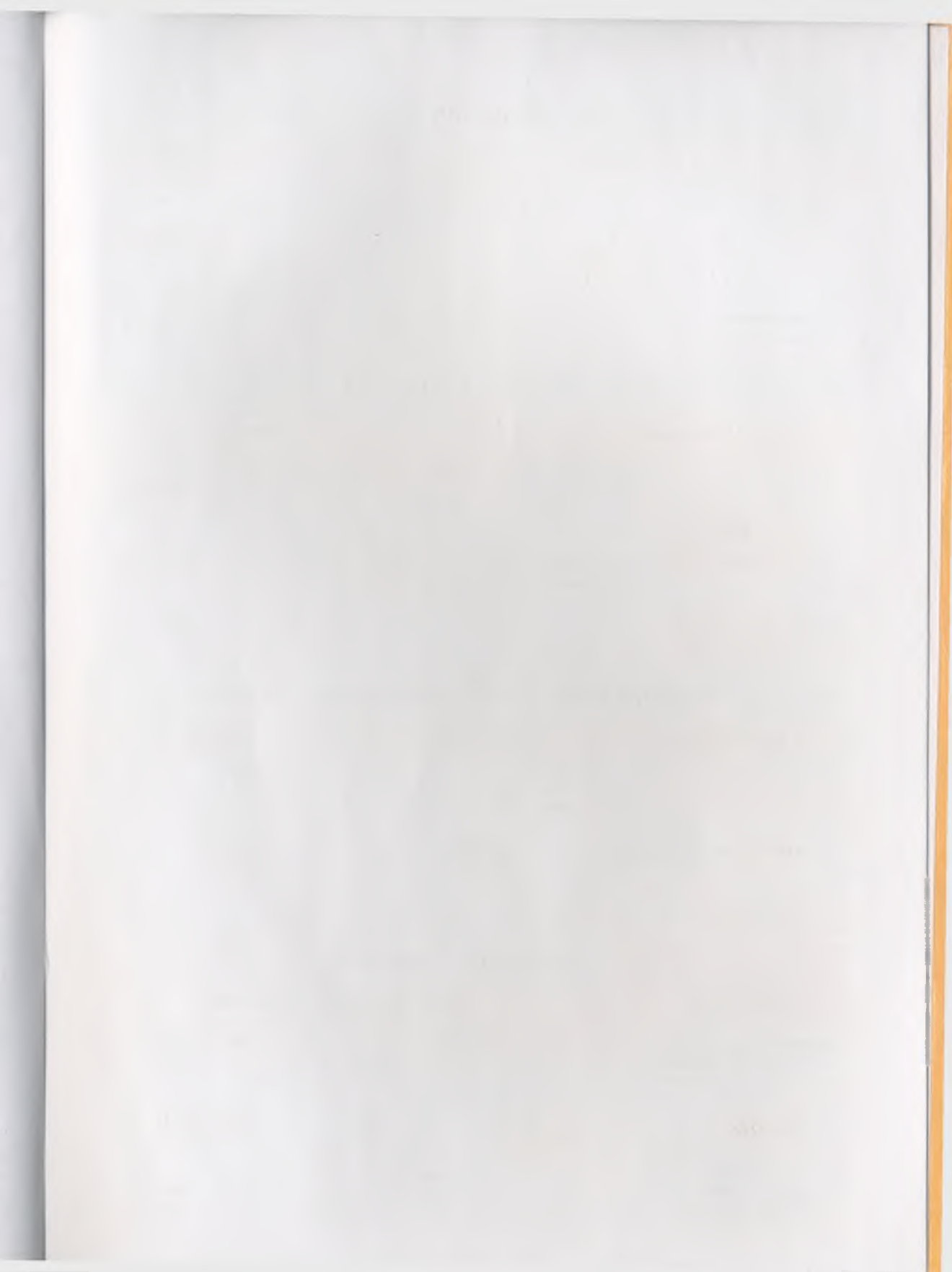
Державне підприємство „Всеукраїнське спеціалізоване видавництво „Світ”
 79008 м. Львів, вул. Галицька, 21

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
 www.svit.gov.ua, e-mail: office@svit.gov.ua, svit_vydav@ukr.net

Друк ТДВ „Патент”

88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011



MÁGNESES TÉR

Mágneses indukció

Mágneses indukció, T

Maximális Ampère-féle erő, N

$$B = \frac{F_{A \max}}{Il}$$

Áramerősség
a vezetőkben, A

A vezető aktív részének
hossza, m

Ampère-féle erő

Ampère-féle erő, N

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

A mágneses indukció-
vektor iránya és a ve-
zetőben folyó áram
iránya közötti szög

OPTIKAI JELENSÉGEK

Törésmutató

Beesési szög

Fénysebesség az
1. közegben, m/s

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

Relatív
törésmutató

Törési
szög

Fénysebesség
a 2. közegben,
m/s

Lencsék

Vékony lencse képlete

Fókusz távolság, m

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Kép távolsá-
ga a lencsé-
től, m

Tárgy
távolsága a
lencsétől, m

A lencse
törőereje

$$D = \frac{1}{F}$$

A lencse
törőereje, dpt

MECHANIKAI ÉS ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK

A hullám képlete

Hullám terjedési sebessé-
ge, m/s

$$v = \lambda \nu$$

Hullám-
frekvencia,
Hz

Hullámhossz, m

Echolokáció

Hang
terjedési
sebessége, m/s

Jel haladá-
si ideje, s

$$s = \frac{vt}{2}$$

Távolság a tárgytól, m

Rádiolokáció

Fény terjedési
sebessége
vákuumban, m/s

Impulzus
haladási
ideje, s

$$s = \frac{ct}{2}$$

Távolság a tárgytól, m

RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS

Aktivitás

Aktivitás, Bq

Radioaktív
bomlási
állandó, s⁻¹

$$A = \lambda N$$

Radionuklid
magok száma adott
pillanatban

Ionizáló sugárzás adagja

elnyelt

Elnyelt adag, Gy

$$D = \frac{W}{m}$$

Tömeg, kg

Sugárzás
energiája, J

ekvivalens

Ekvivalens adag, Sv

$$H = K \cdot D$$

Minőségi
tényező

Elnyelt adag,
Gy

KINEMATIKA

Egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgás

Gyorsulás, m/s^2 $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ Sebesség-változás ideje, s	Kezdő-sebesség, m/s $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ Végsebesség, m/s	Elmozdulás vetülete, m $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$ $s_x = \frac{v_x^2 + v_{0x}^2}{2a_x}$ $s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$	Koordináta, m $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$ Kezdő-koordináta, m	Szabadesés $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ Szabadesés gyorsulása, $9,8 \text{ m/s}^2$ $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y}{2}t^2$
--	---	---	--	--

DINAMIKA, STATIKA

Newton második törvénye

Gyorsulás, m/s^2

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Tömeg, kg

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

Eredő erő, N

Gravitációs erők

Tömegvonzás, N

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Testek tömege, kg

Testek közötti távolság, m

Gravitációs állandó, $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

Nehézségi erő, N

$$F = mg$$

Test tömege, kg

A Föld tömege, kg

$$F = G \frac{m M_F}{(R_F + h)^2}$$

A Föld sugara, m

Magasság, m

TEST IMPULZUSA, MECHANIKAI ENERGIA

Test impulzusa

Test impulzusa, $kg \cdot \frac{m}{s}$

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Test tömege, kg

Mozgás sebessége, m/s

Mechanikai energia

Tömeg, kg

Mozgás sebessége, m/s

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Kinetikus energia, J

Relatív nulla szint magassága, m

$$E_p = mgh$$

Felemelt test potenciális energiája, J

Merevség, N/m

Megnyúlás, m

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

Rugalmasan deformálódott rugó (zsinór) potenciális energiája, J

Impulzus-megmaradás törvénye

Impulzusok összege a kölcsönhatás előtt

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} + \dots + \vec{p}_{0n} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$$

Impulzusok összege a kölcsönhatás után

Mechanikai energia megmaradásának törvénye

Rendszer teljes mechanikai energiája a kölcsönhatás előtt

$$E_{01} + E_{02} + E_{0n} = E_1 + E_2 + E_n$$

Rendszer teljes mechanikai energiája a kölcsönhatás után

BALESETVÉDELMI SZABÁLYOK A FIZIKAI SZAKTANTEREMBEN

1 — Általános rendelkezések

- 1.1. A fizikai szaktanterem használatakor a tanulók kötelesek betartani a balesetvédelmi szabályokat és a tanintézmény belső szabályzatát!
- 1.2. A tanulók a fizikai szaktanteremben kizárólag a tanár vagy a laboráns jelenlétében tartózkodhatnak!
- 1.3. A foglalkozások idején történő bármilyen balesetről a diákoknak azonnal értesíteniük kell a tanárt!
- 1.4. A műszerek, berendezések meghibásodásáról a diákoknak azonnal értesíteniük kell a tanárt!

2 — Biztonsági követelmények rendkívüli helyzetekben

- 2.1. Sérülés (sebesülés, égés) vagy rosszullet esetén azonnal értesítsétek a tanárt!
- 2.2. Tűz, égés esetén azonnal szóljatok a tanárnak!
- 2.3. Evakuálás esetén pontosan hajtsátok végre a tanár utasításait!

3 — Biztonsági követelmények a munka kezdete előtt

- 3.1. Tisztázzátok a kísérlet végzésének menetét és a biztonsági szabályokat!
- 3.2. A munkaasztalokról távolítsatok el minden felesleges tárgyat!
- 3.3. Ellenőrizzétek a kísérlethez szükséges műszerek, összekötő huzalok és egyéb eszközök meglétét és megbízhatóságát!
- 3.4. A kísérletet kizárólag a tanár engedélyével kezdjétek el!
- 3.5. Csak a tananyag vagy a tanár által kitűzött gyakorlatot végezzétek!

4 — Biztonsági szabályok munkavégzés közben

- 4.1. Csak a saját munkaasztalotknál tartózkodjatok!
- 4.2. Legyetek figyelmesek és fegyelmezettek, tartsátok be a tanár utasításait!
- 4.3. A kísérleti felszereléseket, anyagokat, eszközöket úgy helyezzétek el az asztalon, hogy ne dőlhessenek fel, és ne eshessenek le!
- 4.4. A kísérlet végzése közben ne terheljétek túl a mérőműszereket!
- 4.5. Figyeljétek az eszközök, berendezések biztonságos rögzítésére! Ne nyúljatok kézzel a forgó alkatrészekhez, és ne hajoljatok azok fölé!
- 4.6. Az elektromossággal kapcsolatos kísérletekhez kizárólag ép, szigetelt és gyorscsatlakozóval rendelkező huzalokat használjatok!

- 4.7. Elektromos készülékek használatakor ne próbáljátok önállóan elhárítani az esetleges hibákat! A tanár engedélye nélkül ne kapcsoljátok be az elektromos eszközöket, műszereket!
- 4.8. Elektromos áramkörök összeállításakor a huzalok ne keresztezzék egymást, és kizárólag zárt, szigetelt kapcsolókat használjátok! Tilos szigetelés nélküli vagy sérült szigetelésű huzalok használata!
- 4.9. Az áramforrást az áramkör összeállítása után iktassátok be! Az áramkört ellenőrzés után, a tanár engedélyével kapcsoljátok az áramforráshoz! Az áramkörben a feszültség jelenlétét kizárólag mérő- vagy jelzőműszerrel ellenőrizzék!
- 4.10. Ne nyúljatok feszültség alatt lévő, bekapcsolt műszerekhez, berendezésekhez! Ne végezzetek változtatást az áramkörben, amíg nem kapcsolátok ki az áramforrást!
- 4.11. Kizárólag szigetelt szerszámokat használjátok!
- 4.12. Ne hagyjátok el a munkahelyeteket a tanár engedélye nélkül!
- 4.13. Ha hibát fedeztetek fel az elektromos berendezésekben, azonnal kapcsoljátok ki azokat, és jelentsétek a problémát a tanárnak!
- 4.14. Az áramforráshoz történő csatlakozáshoz mindig villásdugót használjátok!

5

Biztonsági szabályok a munka elvégzése után

- 5.1. A munka elvégzése után rakjatok rendet a munkaasztalon, de ehhez kérjétek a tanár engedélyét!
- 5.2. A munka végeztével kapcsoljátok ki az áramforrást, és csak utána bontsátok szét az áramkört!

MIT KELL TUDNUNK

A fizikai jelenségekről

- 1) a jelenségek lefolyásának feltételei és külső jelei;
- 2) a jelenségek közötti kapcsolatot;
- 3) a jelenségek fizikai jellemzői;
- 4) a jelenségek gyakorlati felhasználhatósága, káros következményeinek kiküszöbölése

Az eszközökről és műszerekről

- 1) mire szolgál;
- 2) felépítése;
- 3) működési elve;
- 4) mire, és hogyan alkalmazható;
- 5) előnyei és hiányosságai

A fizikai törvényről

- 1) milyen fizikai jelenségek közötti összefüggést fogalmaz meg a törvény;
- 2) matematikai alakja;
- 3) milyen kutatási eredmények vezettek a törvény felfedezéséhez vagy annak megbizonyításához;
- 4) hogyan alkalmazható

A fizikai mennyiségekről

- 1) mi a jele;
- 2) milyen tulajdonságot jellemez;
- 3) meghatározása (definíciója);
- 4) képlete és kapcsolata a többi fizikai mennyiséggel;
- 5) mértékegysége;
- 6) mérésének módjai