

# FIZIKA

# 11

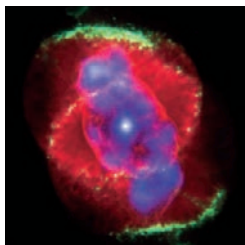
REZGÉSEK ÉS HULLÁMOK  
MODERN FIZIKA



# f

A TERMÉSZETRŐL TIZENÉVESEKNEK

A TERMÉSZETRŐL TIZENÉVESEKNEK



# FIZIKA

*Rezgések és hullámok*  
*Modern fizika* **11**

17., VÁLTOZATLAN KIADÁS

MOZAIK KIADÓ – SZEGED, 2019



I. fejezet  
**MECHANIKAI REZGÉSEK  
ÉS HULLÁMOK**



II. fejezet  
**ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK,  
HULLÁMOPTIKA**



III. fejezet  
**MODERN FIZIKA**



IV. fejezet  
**MAGFIZIKA,  
CSILLAGÁSZAT**







# Tartalom

## MECHANIKAI REZGÉSEK ÉS HULLÁMOK

Emlékeztető .....	10
<b>1. Rezgőmozgás</b> .....	<b>14</b>
1.1. A rezgőmozgás fogalma. A rezgőmozgást jellemző mennyiségek .....	14
1.2. A harmonikus rezgőmozgás dinamikai feltétele. A rezgésidő. Az energiaviszonyok .....	21
1.3. A fonálinga .....	24
1.4. A rezgést befolyásoló külső hatások és következményeik .....	28
<b>2. Mechanikai hullámok</b> .....	<b>31</b>
2.1. A hullám fogalma .....	31
2.2. Hullámok viselkedése új közeg határán .....	36
2.3. Hullámok találkozása. Interferencia .....	40
2.4. A hanghullámok és jellemzőik .....	45
<b>Összefoglalás</b> .....	<b>53</b>

## ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK. OPTIKA

<b>1. Elektromágneses hullámok</b> .....	<b>56</b>
1.1. Elektromágneses rezgések előállítására .....	56
1.2. Elektromágneses hullámok keletkezése és tulajdonságai .....	60
<b>2. Optika</b> .....	<b>67</b>
2.1. Fényhullámok terjedése vákuumban és anyagi közegekben .....	67
2.2. Egyszerű optikai eszközök: tükörök és lencsék (Emlékeztető) .....	73
2.3. Optikai eszközök leképezési törvénye .....	77
2.4. Összetett optikai rendszerek (Kiegészítő anyag) .....	80
2.5. Fényhullámok interferenciája, elhajlása .....	84
2.6. A fény mint transzverzális hullám .....	88
2.7. Színfelbontás, színeképek .....	90
<b>Összefoglalás</b> .....	<b>95</b>

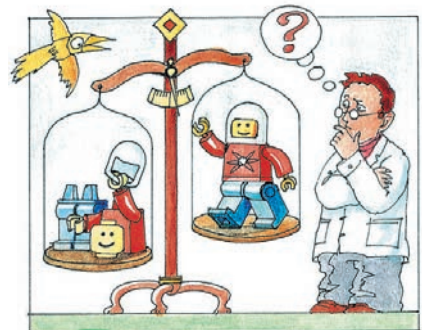
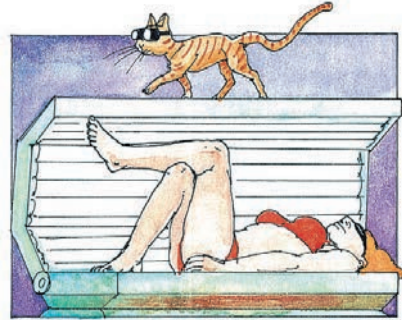
# Tartalom

## MODERN FIZIKA

<b>1. A modern fizika születése</b> .....	<b>98</b>
1.1. Bevezetés .....	98
1.2. A fényelektromos jelenség .....	102
1.3. A foton részecske tulajdonságai .....	106
1.4. Az elektron hullámtermészete .....	109
<b>2. Az atommodellek</b> .....	<b>114</b>
2.1. Emlékeztető .....	114
2.2. Klasszikus atommodellek .....	116
2.3. Az atomok vonalás színepe. Bohr atommodellje .....	120
2.4. Az atomok hullámmodellje .....	123
<b>Összefoglalás</b> .....	<b>127</b>

## MAGFIZIKA. CSILLAGÁSZAT

<b>1. Az atommag szerkezete</b> .....	<b>130</b>
1.1. Az atommag fizikai jellemzői .....	130
1.2. Nukleáris kölcsönhatás, kötési energia .....	132
<b>2. A radioaktivitás</b> .....	<b>136</b>
2.1. A természetes radioaktív sugárzások .....	136
2.2. A radioaktív bomlás törvénye .....	140
2.3. Sugárzást mérő eszközök. A radioaktív sugárzások biológiai hatása (Kiegészítő anyag) .....	144
2.4. A radioaktív sugárzások gyakorlati alkalmazásai (Kiegészítő anyag) .....	148
<b>3. A maghasadás és a magfúzió</b> .....	<b>151</b>
3.1. Az uránatommagok hasadása .....	151
3.2. Villamos energia termelése atomerőművekben. Az erőművek biztonsága és környezeti hatásaik (Kiegészítő anyag) .....	155
3.3. A könnyű atommagok fúziója .....	160
<b>4. Csillagászat</b> .....	<b>163</b>
4.1. Csillagok születése és fejlődése .....	163
4.2. A világegyetem szerkezete és fejlődése .....	166
4.3. A világűr kutatása, távlatok .....	168
<b>Összefoglalás</b> .....	<b>172</b>
<b>MEGOLDÁSOK</b> .....	<b>175</b>





## A TANKÖNYV HASZNÁLATÁT SEGÍTŐ JELZÉSEK

Sárga mezőbe a legfontosabb szabályokat, törvényeket, illetve a mennyiségi fogalmak meghatározását és kiszámítási módját tettük.

**Vastag betűkkel** a fontos megállapításokat és az új fogalmak nevét írtuk.

Bal oldali piros sávval hívjuk fel a figyelmet a kisebb betűkkel írt kísérletekre, amelyek megismerése és megértése nélkül nem lehet feldolgozni a tananyagot.

Az egyes fejezeteket elmélyítő, kisebb terjedelmű kiegészítő anyagot a bal oldali szürke sávról és a kisebb méretű betűkről ismerhetjük fel.

Az oldalszámmal és az adott oldali sorszám-mal (pl. 10.1.) ellátott ábrák a szövegben leírtak könnyebb és jobb megértését segítik elő. Ezért célszerű együtt kezelni a szöveget és a hozzá tartozó ábrákat.

A *Fizikátörténeti áttekintésben* az idegen nevek kiejtése is megtalálható.

**M** A *Megjegyzések* olyan gondolatok, amelyek nem tartoznak közvetlenül a tananyag logikai rendjébe, de fontos kiegészítői, értelmezői, elmélyítői annak.

**G** A *Gondolkodtató kérdések* valójában számolás nélkül megoldható feladatok.

**F** A *Feladatok* megoldásával elmélyíthetjük, jobban megérthetjük és alkalmazhatjuk az elméleti tananyagot.

**O** Az *Olvasmányok* a természet, a technika, valamint a fizikátörténet érdekességeivel foglalkoznak. Betekintést adnak néhány természetkutató szellemi óriás életébe és munkásságába.

*„Soha ne úgy gondold tanulmányaidra,  
mint kötelességre,  
hanem mint irigylésre méltó lehetőségre,  
megismerni a szépség felszabadító erejét  
a szellem birodalmában saját kedvedre  
és a közösség hasznára,  
amelyhez későbbi munkád tartozik.”*

Albert Einstein

## Kedves diákok!

Tankönyvünk a fizika tudományának legújabb és egyben legizgalmasabb fejezeteivel foglalkozik.

A „kézzelfogható” mechanikai rezgések és hullámok jelenségeiből kiindulva eljutunk a rejtélyes, szemmel nem látható elektromágneses hullámok világába, ahol a hullámok hordozó közeg nélkül szállítanak óriási mennyiségű információt egyik kontinensről a másikra.

Megtudhatjuk, hogy miként született meg a modern fizika, hogyan fejlődött ki az atom- és magfizika, melyek a szó szoros értelmében is megrengették a XX. század szellemi és anyagi világát.

Tanulmányaink során rádöbbenhetünk mindennapi szemléletünk korlátaira, amikor a makro- és mikrovilág furcsa, de igaz törvényszerűségeit próbáljuk magunknak elképzelni.

A tankönyv utolsó fejezete az atommagok és a csillagok világába vezet bennünket. Feltárul előttünk az atomenergia rejtélye, és megérthetjük, miként szolgálhatják az emberiség energiaellátását az atomerőművek.

Végezetül áttekintjük világegyetemünk szerveződének szintjeit, megismerkedünk a csillagok kozmikus születésével és halálával, univerzumunk keletkezésével, lehetséges jövőjével.

Mindezen izgalmas kérdések jobb megértését szolgálják a tankönyv újszerű ábrái, fotói, tréfás rajzai, a kiegészítő olvasmányok és a segítő megjegyzések.

Mint a tankönyvek általában, a Fizika 11. sem nyújthat teljességet. Feldolgozásához – a tanári magyarázaton kívül – a tudományos folyóiratokból, könyvekből és az internetről gyűjthetünk további információt.

A(z) (mindennapokban is) alkalmazható tudás elsajátításához türelmes, kitarító munkát, és igazi szellemi sikerélményt kívánunk

a tankönyv Szerzői.



I. fejezet

MECHANIKAI  
REZGÉSEK  
ÉS HULLÁMOK



## 1.2. A harmonikus rezgőmozgás dinamikai feltétele.

### A rezgésidő. Az energiaviszonyok

a) A harmonikus rezgőmozgás dinamikai feltétele felírható a  $\Sigma \vec{F}_i = \vec{F}_e = m \cdot \vec{a}$  alapján. Alkalmazzuk ezt a harmonikus rezgőmozgásra, és vegyük figyelembe, hogy  $\vec{a} = -\omega^2 \cdot \vec{y}$ :

$$\vec{F}_e = -m \cdot \omega^2 \cdot \vec{y}.$$

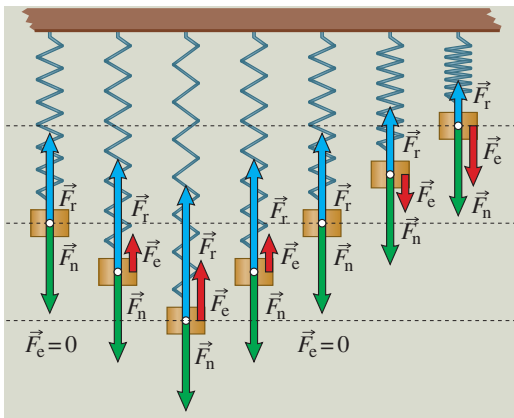
Mivel a harmonikus rezgőmozgásnál  $m$ , valamint  $\omega$  állandó, a testre ható erők eredőjének nagysága egyenesen arányos a kitéréssel és iránya ellentétes azzal.

**Ha a testre ható erők eredőjének nagysága egyenesen arányos a kitéréssel és iránya ellentétes azzal, akkor a test harmonikus rezgőmozgást végez.**

Ez a harmonikus rezgőmozgás létrejöttének **dinamikai feltétele**.

Ez a képletből levont megállapítás belátható a következő gondolatsorral is. (21.1. ábra)

Mint tudjuk, egyensúlyi helyzetben a testet érő erők eredője nulla ( $F_e = 0$ ). Így a rugón függő testet érő nehézségi erő ( $F_n = m \cdot g$ ) és rugalmas erő ( $F_r = -D \cdot y$ ) eredőjének nagysága is nulla. A harmonikus rezgőmozgás közben az egyensúlyi helyzettel eltávolodott testnél a rá ható erők közül csak a rugóerő változik meg. Így az eredő erőt az egyensúlyi rugóerő megváltozásaként is megkaphatjuk.



21.1. Az eredő erő a rugalmas erőnek megfelelően változik, mivel a nehézségi erő változatlan

b) A rezgésidő kiszámításának módját megadó képlethez a következőképpen juthatunk el.

A rugóra erősített és vízszintes pályán harmonikus rezgőmozgást végző testnél a

$$\Sigma \vec{F}_i = \vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ alapján: } -D \cdot x = -m \cdot \omega^2 \cdot x.$$

Ebből felismerhető, hogy:

$$D = m \cdot \omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}.$$

Figyelembe véve az  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  összefüggést,

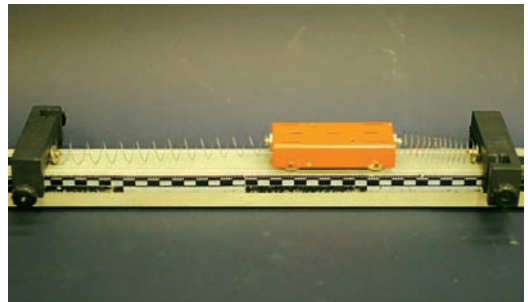
$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{D}{m}}, \text{ amelyből kifejezhető a rezgésidő:}$$

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}}.$$

Mint látjuk, a rezgésidő és a frekvencia független a rezgés amplitúdójától, csak a rezgő test tömegétől és a rugóállandótól, tehát csak a rezgő rendszer sajátosságaitól függ.

c) A rezgő rendszer mechanikai energiáját ( $E = E_m + E_r + E_h$ ) legegyszerűbben a vízszintes irányú rezgésnél határozhatjuk meg. Ilyen rezgés közben ugyanis a helyzeti energia nem változik. Ha a helyzeti energia nullszintjét a rezgés síkjába helyezük, akkor  $E_h = 0$ , tehát az energia-változásoknál csak a rugó rugalmas energiáját és a test mozgási energiáját kell figyelembe venni.

Ahhoz, hogy egy rugóra erősített test harmonikus rezgőmozgást végezzen, a rugót meg kell



21.2. Milyen mechanikai energiája van a vízszintes pályán mozgó kocsinak?



feszíteni, tehát munkát kell rajta végezni. Ennek eredményeként a rugó rugalmas energiája a szélső helyzetben:

$$E_{r_{\max}} = \frac{1}{2} D \cdot A^2,$$

ahol  $A$  az amplitúdó,  $D$  a rugóállandó.

Ebben a helyzetben a test pillanatnyi sebessége 0, tehát nincs mozgási energiája ( $E_m = 0$ ), így itt a rezgő rendszer mechanikai energiája:

$$E = E_r = \frac{1}{2} D \cdot A^2.$$

A test sebessége, és így mozgási energiája akkor a legnagyobb, amikor a test a nulla kitérésű egyensúlyi helyen fut át. Itt a rugó feszítetlen, tehát a rugalmas energiája nulla ( $E_r = 0$ ). Ilyenkor a rezgő rendszer mechanikai energiája:

$$E = E_m = \frac{1}{2} m \cdot v_{\max}^2.$$

Ha a rezgést fékező hatásoktól (pl. súrlódás, közegellenállás stb.) eltekinthetünk, vízszintes irányú rezgés közben a rugó és a hozzáerősített test zárt rendszernek tekinthető. A zárt rendszerekre igaz az energiamegmaradás törvénye. A test rezgése közben a rugó rugalmas energiája és a test mozgási energiája tehát csak egymás „rovására” változhat. Ezért a **harmonikus rezgőmozgást végző rendszer mechanikai energiája** (ha a rezgés vízszintes irányú) **a rugalmas energia és a mozgási energia összege; ez állandó, és egyenlő a legnagyobb rugalmas, illetve a legnagyobb mozgási energiával.**

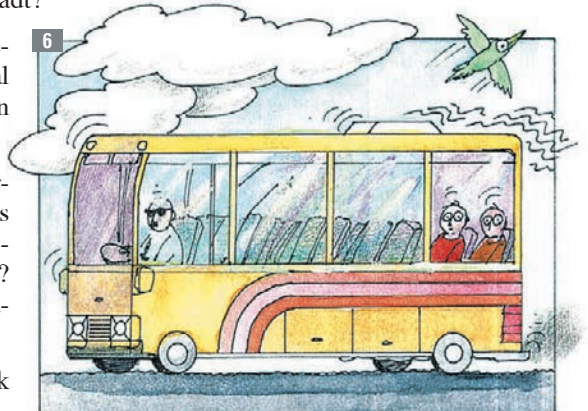
$$E = \frac{1}{2} D \cdot x^2 + \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \text{állandó},$$

$$E = \frac{1}{2} D \cdot A^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_{\max}^2.$$



## GONDOLKODTATÓ KÉRDÉSEK

1. Ábrázoljuk és hasonlítsuk össze a labda pattogása és a rugón rezgő test mozgása közben érvényesülő eredő erő-kitérés függvényét! Erőhatás szempontjából indokoljuk meg, hogy miért nem lehet harmonikus rezgőmozgás a labda pattogása!
2. Miért rezeg kisebb rezgésszámmal ugyanazon a rugón a nagyobb tömegű test? Mit tudunk az ilyen test rezgésidejéről? Ne a képletek alapján érveljünk!
3. Miért rezeg a nagyobb rugóállandójú rugón kisebb rezgésidővel ugyanaz a test? Mit tudunk a rezgésszámról?
4. Keressünk egyszerű, szemléletes magyarázatot arra, hogy a rezgésidő független a rezgés amplitúdójától!
5. A rezgő test tömegét négyszeresére, majd kilencszeresére növeltük. Mit tudunk a rezgésidőről és a rezgésszámról, ha a rugó ugyanaz maradt?
6. Rázós úton legjobban az autóbusz hátsó ülései zötyögnek le-fel. Ez a rezgés kevés utassal szaporán „pattogós”, ha az autóbusz tele van utasokkal, akkor „komótosabb”. Miért?
7. Milyen eszközöket vigyenek magukkal az űrhajósok, hogy a súlytalanság állapotában is megmérhessék a tömegüket? A felvitt eszközökkel hogyan végezhetik el a mérést? Az űrhajón alkalmazott módszer használható-e a Föld felszínén?
8. Mi a különbség a rezgésszám és a rezgések száma között?



9. Egy rugót két egyenlő hosszúságú darabra vágta. Először az egyikre, majd másodszor a két egymás mellé (párhuzamosan) kötött rugódarabra erősítették fel ugyanazt a testet. Hasonlítsuk össze a két különböző rugón rezgő test esetében mérhető rezgésidőket és rezgésszámokat! (Először a rugóállandók ( $D_1$ ;  $D_{1,2}$ ) nagyságát célszerű meghatározni, az eredeti rugó rugóállandójához ( $D$ ) viszonyítva!)
10. Rajzoljuk le a vízszintes irányú harmonikus rezgőmozgást végző test *rugalmasenergia-kitérés*, majd a *mozgásienergia-kitérés*, végül a rezgő rendszer *mechanikaienergia-kitérés* függvényének görbét! A matematikában szokásos módon jellemezzük a rezgő rendszer rugalmas és mozgási energiáját megadó energia-kitérés függvényeket! Elemezzük a három görbe kapcsolatát! Mekkora kitérésnél lesz egyenlő a rugalmas energia a mozgási energiával?

## f FELADATOK

1. Egy rugó 0,1 m-es megnyújtásához 2 N nagyságú erőhatás kell. A felfüggesztett rugó egyik végére egy  $m = 0,05$  kg tömegű testet erősítettek. Mennyi ennek a rendszernek a rezgésidője, a rezgésszáma és a körfrekvenciája?
2. Mekkora tömegű test rezeg  $T = 7,5$  s rezgésidővel a  $D = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  rugóállandójú rugón? Lehet-e ez a rezgő test egy olyan űrhajós, aki a súlytalanság állapotában van? Ha igen, legalább hány darab rugó kell az űrhajós rezgőmozgásához?
3. Mekkora a rugóállandója annak a rugónak, amelyen a 20 kg tömegű testnek 0,5 Hz a rezgésszáma? Mekkora a test legnagyobb sebessége, legnagyobb gyorsulása, és mekkora a legnagyobb rugalmas erő, ha a rezgés amplitúdója 8 cm?
4. Egy függőleges helyzetű  $150 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  rugóállandójú rugón a rugó alsó végére erősített test 0,1 m megnyúlást okozott. A testet függőleges irányban elmozdítva egyensúlyi helyzetéből a rendszer harmonikus rezgőmozgást végez. Mekkora a rendszer rezgésidője?
5. Az  $m = 0,5$  kg tömegű test vízszintes irányban 0,5 Hz rezgésszámú és 10 cm amplitúdójú harmonikus rezgőmozgást végez. Mekkora a rezgő rendszer mechanikai energiája?
6. Egy  $m = 1,2$  kg tömegű test 10 cm amplitúdóval és 0,5 Hz rezgésszámmal harmonikus rezgőmozgást végez. Mennyi munkával kellett nyugalmi helyzetéből kitéríteni ezt a testet, hogy ilyen rezgés jöjjön létre?
7. Egy csúzli gumiszárait 60 N erővel 20 cm-rel nyújtották meg. Milyen magasra lehet vele függőlegesen fellőni egy 50 g tömegű kavicsot?
8. Az egyik végén rögzített rugó egy kiskocsi pályája felett vízszintesen helyezkedik el. A rugóállandó  $200 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , a kiskocsi tömege 0,2 kg. A rugó végének  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  sebességgel ütköző kiskocsi az ütközés pillanatában hozzákapcsolódik a rugóhoz. Milyen mozgást végez a kapcsolódás után a kiskocsi, ha a súrlódástól eltekintünk? Mekkora a kocsi legnagyobb sebessége, és mennyivel nyomja össze a kocsit a rugót?



# II. fejezet

## ELEKTRO- MÁGNESES HULLÁMOK. OPTIKA





# 1. Elektromágneses hullámok

## 1.1. Elektromágneses rezgések előállítása

### EMLÉKEZTETŐ

Elektromos töltéssel rendelkező testek a környezetükben **elektromos mezőt** hoznak létre. Az elektromos mezőt **térerősségvektorral** ( $\vec{E}$ ) jellemezzük és elektromos **erővonalakkal** szemléltetjük.

A feltöltött **síkkondenzátor** fémlemezei között homogén elektromos mező alakul ki. Itt a térerősség nagysága és iránya állandó, az erővonalak párhuzamosak és egyenlő sűrűségűek.

**Az elektromos mezőnek energiája van**, amelyet feltöltött kondenzátornál az

$$E_{\text{elektromos}} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

összefüggéssel határozhatunk meg.  $U$  jelenti a kondenzátor lemezei közötti feszültséget,  $C$  pedig a kondenzátor kapacitását.

Mozgó elektromos töltések, árammal átjárt vezető körül **mágneses mező** jön létre, amelyet a **mágneses indukcióvektorral** ( $\vec{B}$ ) jellemezzük és mágneses **indukcióvonalakkal** szemléltetünk.

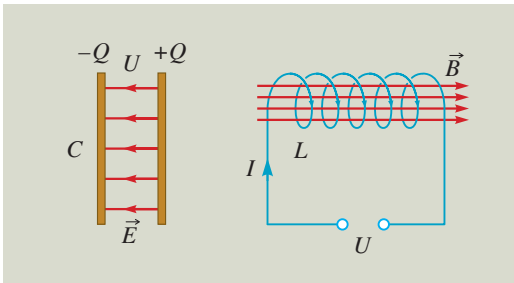
Áramjárta hosszú, egyenes tekercs belsejében homogén mágneses mező alakul ki.

**A mágneses mezőnek is van energiája**, ennek nagysága egy áramjárta tekercsnél:

$$E_{\text{mágneses}} = \frac{1}{2} L \cdot I^2,$$

ahol  $I$  az áramerősséget jelenti,  $L$  pedig a tekercs induktivitását.

Ha mágneses mezőben úgy mozgatunk egy vezetőt, hogy az metszi az indukcióvonalakat,



**56.1.** A homogén elektromos és mágneses mezők. Milyenek az elektromos erővonalak és a mágneses indukcióvonalak a homogén mezők környezetében?

akkor a mágneses mező hatására elmozdulnak a vezető töltései, a vezető végei között feszültség indukálódik. Ez a **mozgási elektromágneses indukció**, amely pl. a lakásokban használatos szinuszos váltakozó feszültség előállításának is alapja.

Elektromos feszültséget **nyugalmi elektromágneses indukcióval** is létrehozhatunk. Ennek lényege, hogy változó mágneses mező körül elektromos mező keletkezik.

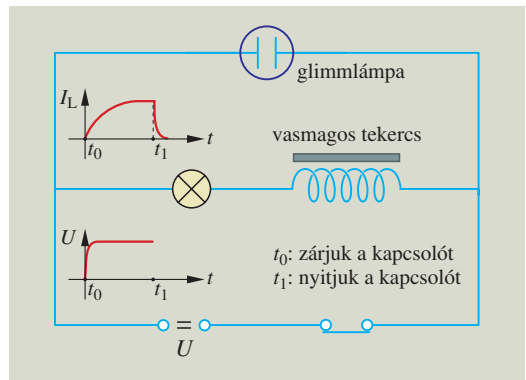
Ha az  $N$  menetszámú tekercsben  $\Delta t$  idő alatt a tekercs fluxusa (a tekercsben haladó indukcióvonalak száma)  $\Delta\Phi$ -vel váltakozik, akkor a tekercs végpontjai között az indukált feszültség nagysága:

$$U = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

### Ez Faraday törvénye.

A mozgási és nyugalmi indukciónál is teljesül **Lenz törvénye**: az indukált feszültség, indukált áram hatása olyan, hogy akadályozza az indukáló folyamatot.

Jól megfigyelhető Lenz törvénye a **be- és kikapcsolási önindukciós jelenségeknél**. Ha egy tekercsre áramforrást kapcsolunk, a tekercsen keletkező önindukciós feszültség késlelteti az áram kialakulását. Az áramforrás kikapcsolásakor létrejövő önindukciós feszültség pedig késlelteti az áram megszűnését. (56.2. ábra)

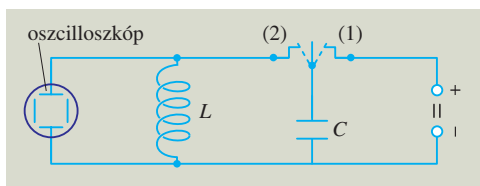


**56.2.** Be- és kikapcsolási indukció. Miért csak kikapcsoláskor villan fel a glimmlámpa?

**ELEKTROMOS REZGŐKÖR**

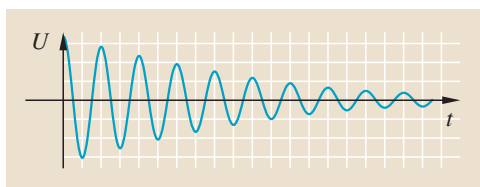
Vizsgáljuk meg, hogy mi történik, ha egy feltöltött kondenzátor lemezeit egy tekercsen keresztül rövidre zárjuk!

Állítsuk össze a következő áramkört!



Zárjuk a váltókapcsolót először az (1) jelű érintkező felé! Ekkor a kondenzátor feltöltődik az áramforrás feszültségére.

Billentsük át a kapcsolót a (2) állásba! Az oszcilloszkóp a feszültség időbeli változásáról a következő képet mutatja:

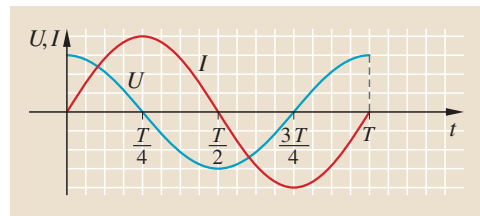


Eszerint a kondenzátor kisülése időben gyengülő váltakozó feszültséget eredményez.

Hogyan magyarázható ez a jelenség?

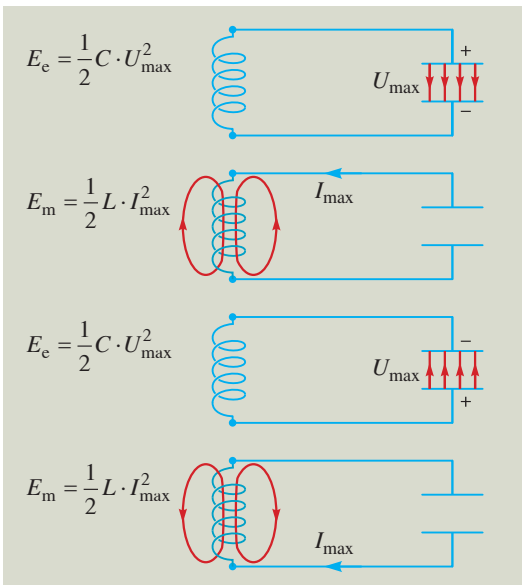
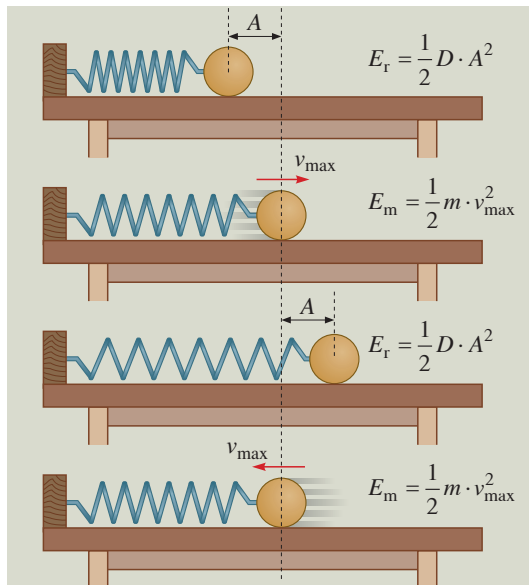
A feltöltött kondenzátort mint áramforrás áramot indít a tekercsen, de az késik a feszültséghez képest (bekapcsolási önindukció). Az áram akkor éri el maximumát, amikor a feszültség már zérusra csökkent. A feszültség megszűnése után az áram megszűnése is késik (kikapcsolási önindukció). A változatlan irányban folyó áram a kondenzátort ellenkező polarításúra tölti fel. Ezután a kondenzátor ismét kisül (ellenkező irányban) és így tovább.

A feszültség és áramerősség grafikonja egy periódusidőre (a csökkenést elhanyagolva):



A grafikonokból megállapítható, hogy amikor csökken a feszültség (és így a kondenzátor elektromos mezőjének energiája), akkor nő az áramerősség (és így a tekercs mágneses mezőjének energiája), és fordítva.

**Egy kondenzátorból és tekercsből álló zárt vezetőkörben a feltöltött kondenzátor elektromos mezőjének energiája átalakul a tekercs mágneses mezőjének energiájává, és viszont.**



**57.1.** A mechanikai és az elektromágneses rezgés összehasonlításakor mi felel meg a rugó energiájának, a test egyensúlyi helyzetétől mért kitérésének, mozgási energiájának és sebességének?

A kondenzátorból és tekercsből álló áramkört **elektromos rezgőkörnek\***, az ebben folyó váltakozó áramot **elektromágneses rezgésnek\*** nevezzük.

A rezgések csillapodását az energiavesztés okozza. Mechanikai rezgéseknél a súrlódás, a közegellenállás, az elektromágneses rezgéseknél az elektromos ellenállás és a mezők szóródása a veszteség oka.

Vizsgáljuk meg, mitől függ a kondenzátorból és tekercsből álló elektromos rezgőkör rezgésének  $f$  sajátfrekvenciája, illetve  $T$  periódusideje!

Ha a rezgőkör kondenzátorát nagyobb kapacitásra cseréljük vagy növeljük a tekercs inductivitását (például vasmagot tolunk a tekercsbe), az oszcilloszkóp képernyőjén a rezgés grafikonja széthúzódik, azaz megnő a periódusidő.

Kísérlettel igazolható, hogy a **periódusidő**, ill. a **frekvencia** az alábbiak szerint függ a tekercs inductivitásától és a kondenzátor kapacitásától:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}, \quad f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}.$$

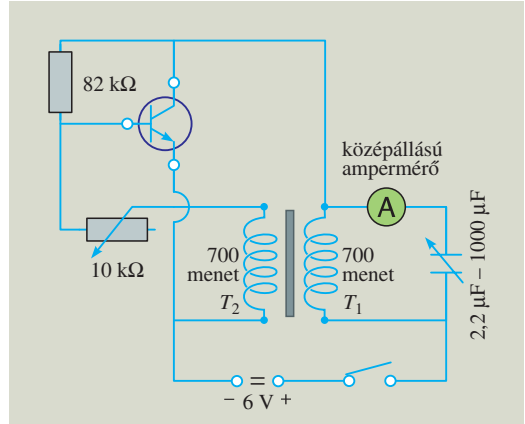
Az elektromos rezgőkör rezgésidőjére vonatkozó összefüggést William Thomson angol fizikus (a kelvin-skála bevezetője) ismerte fel. Az ő tiszteletére nevezték el **Thomson-formulának\*\***.

Az elektromos rezgőkör nagy jelentősége abban rejlik, hogy forgó alkatrészek nélkül tetszőlegesen nagy frekvenciájú szinuszos váltakozó feszültséget, illetve áramot állíthatunk elő. Csupán a kondenzátor kapacitását és a tekercs inductivitását kell megfelelően megválasztani. Az elektromágneses rezgések energiavesztésének pótlásával a rezgések csillapodása is megszüntethető.

A csillapítatlan rezgések egy lehetséges előállításí módját mutatja a kapcsolási rajz. (58.1. ábra)

A  $T_1$  rezgőköri tekercsben folyó áram hatására hasonló módon változó áram indukálódik a  $T_2$  visszacsatoló tekercsben. A tranzisztor ezt az áramot felerősíti, és így megfelelő ütemben pótolja a rezgőkör energiavesztését.

1000  $\mu\text{F}$  kapacitású kondenzátor esetén az egyenáramú középállású ampermérő mutatója is követni tudja a rezgőkörben folyó áram változását. A kondenzátor kapacitásának és a  $T_1$  tekercs inductivitásának csökkentésével a frekvencia növekszik. Hangfrekvenciás rezgések jelzésére az ampermérő helyett fejhallgatót kell alkalmaznunk.



58.1. Csillapítatlan rezgéseket előállító kapcsolás. Honnan pótolja a rezgőkör az energiavesztésedet?

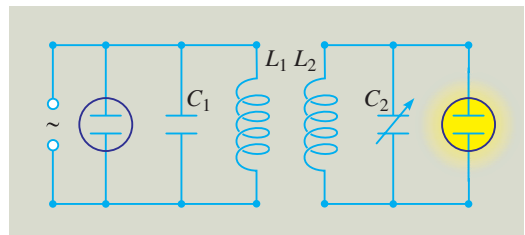
Az elektromos rezgőkör – mint minden rezgőképes rendszer – **kényszerrezgéseket** is végezhet.

Nagyfrekvenciás csillapítatlan rezgéseket előállító rezgőkör tekercse mellé helyezünk el egy tekercset és forgókondenzátort tartalmazó egyszerű rezgőkört! (58.2. ábra) Mindkét rezgőkörbe kapcsoljunk a rezgések kimutatására szolgáló eszközt (pl. egy-egy glimmlámpát)!

A második rezgőkör forgókondenzátorának kapacitását változtatva elérhetjük, hogy ebben a rezgőkörben is állandó rezgések jönnek létre. A kondenzátor kapacitásának növelése során a rezgés erősödik, majd a rezonanciagörbe menetének megfelelően fokozatosan gyengül. A legerősebb rezgést akkor kapjuk, ha a kényszerítő rezgőkör frekvenciája megegyezik a kényszerrezgést végző rezgőkör sajátfrekvenciájával. Ennek feltétele:

$$L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2.$$

**A jelenséget elektromágneses rezonanciának\*\* nevezzük.**



58.2. Rezgőkörök rezonanciájának előállítása



## GONDOLKODTATÓ KÉRDÉSEK

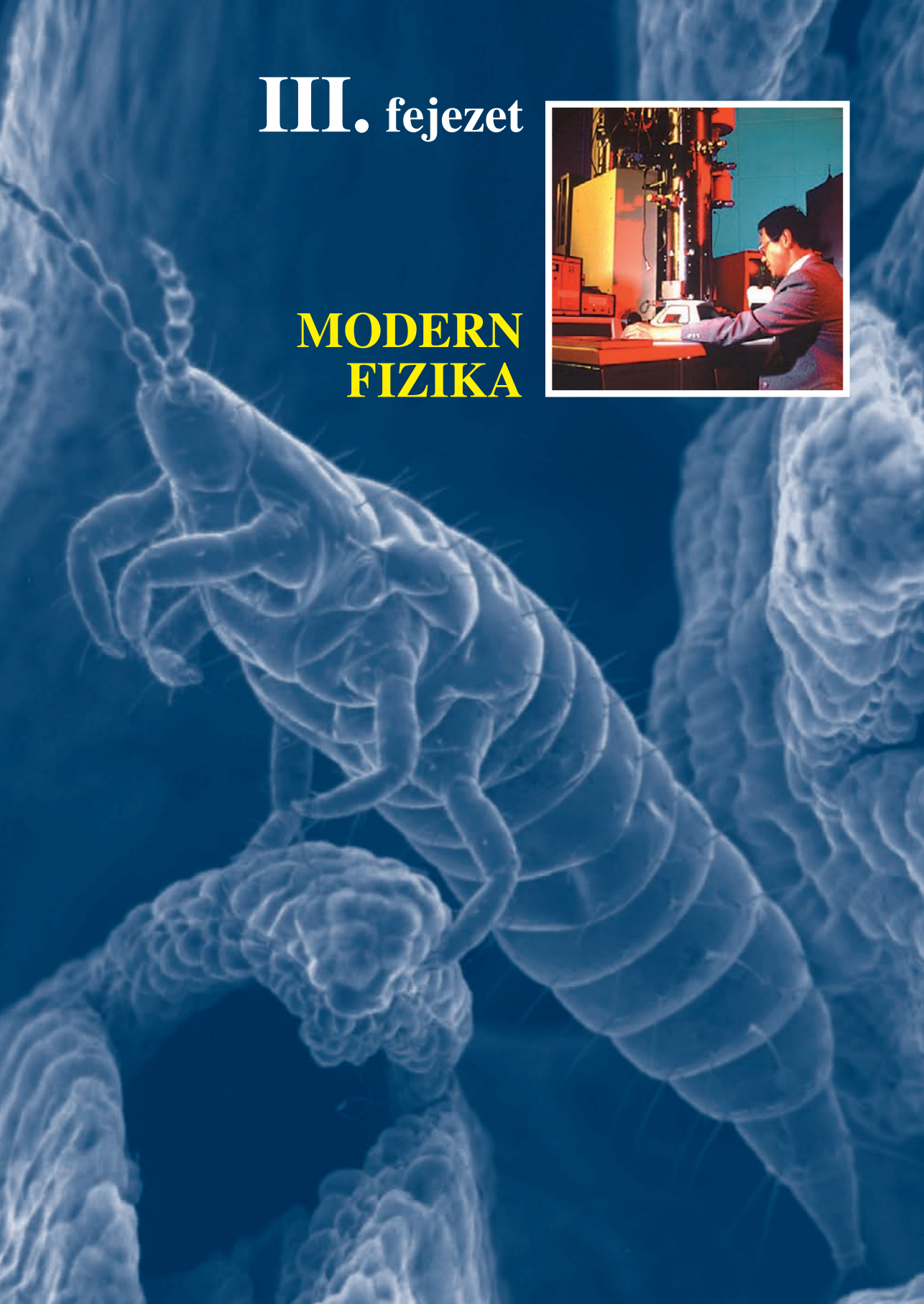
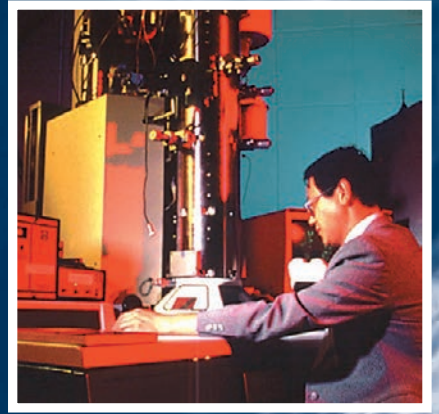
- Hogyan változik egy elektromos rezgőkör sajátfrekvenciája, ha
  - a rezgőköri tekercsbe vasmagot helyezünk?
  - a rezgőköri tekercs menetszámát megduplázzuk?
  - a kondenzátor lemezeinek távolságát kétszeresre növeljük?
  - a kondenzátorra kapcsolt kezdeti feszültséget megnöveljük?
- Az 58.2 ábra rezonanciakísérleténél megfigyelhető, hogy minél jobban világít a második rezgőkörben a glimmlámpa, annál gyengébben világít az elsőben. Adjunk magyarázatot!

## FELADATOK

- Egy rezgőkör 0,01 H induktivitású tekercset és 470 nF kapacitású kondenzátort tartalmaz. Mennyi a rezgőkör sajátrezgésének frekvenciája és periódusideje?
- Milyen induktivitású tekercset kell választanunk egy 470 nF-os kondenzátorhoz, ha rezgőkörrel szeretnénk előállítani
  - a hálózati 50 Hz frekvenciájú váltakozó feszültséget?
  - a 440 Hz frekvenciájú normál „A” hangot?
- Egy kapcsolóval zárható rezgőkör 10 nF kapacitású kondenzátorát 12 V feszültségre töltjük. A rezgőköri tekercs induktivitása 0,2 H.
  - Mennyi a kondenzátor legnagyobb energiája?
  - Mennyi a tekercs legnagyobb energiája?
  - Ábrázoljuk egy periódusidőre, a kapcsoló zárásától számítva, a tekercsen lévő feszültséget és az áramerősséget! (A rezgés csillapodását erre az időtartamra elhanyagolhatjuk.)

**III. fejezet**

**MODERN  
FIZIKA**



## 1.2. A fényelektromos jelenség

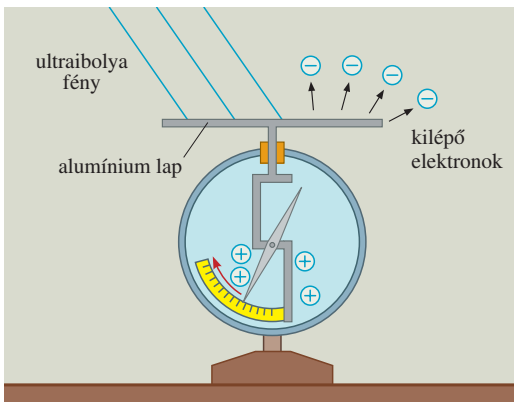
A kvantumhipotézis felvetésével és eredményes alkalmazásával Planck meglepetést okozott a fizikusok körében. Gondolatmenetét kortársai azonban inkább csak matematikai ügyeskedésnek tekintették. Az új gondolkodásmód átütő sikerét az hozta meg, hogy segítségével egy másik XIX. sz. végi probléma, a fotoeffektus ellentmondásaira is magyarázatot lehetett adni.

A fotoeffektus jelenségét a német **Wilhelm Hallwachs** (1859–1922) és tőle függetlenül az orosz **Alexandr Szoletov** (1839–1896) fedezte fel 1888-ban.

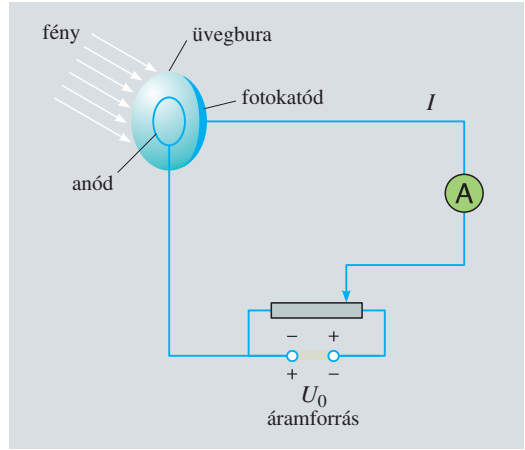
A jelenségről mi is könnyen meggyőződhetünk. (102.1. ábra) Adjunk negatív töltést egy házilag is elkészíthető elektroszkóphoz kapcsolt csiszolt alumíniumlapnak. Ha ezután kvarclámpa fényével világítjuk meg a fémlapot, az elektroszkóp elveszíti a töltését. Ebből arra következtethetünk, hogy a megvilágítás hatására a fémlapból elektronok lépnek ki.

A fémekből izzítással (termikus emisszió), elektronok bombázásával (hidegemisszió) vagy megvilágítással (fotoemiszió) lehet szabad elektronokat kiléptetni. A fény hatására történő elektronkiléptetést **fényelektromos jelenségnek** vagy **fotoeffektusnak**\* nevezük.

A fotoeffektus mennyiségi összefüggéseit Philipp Lenard (1862–1947) Pozsonyban született német származású fizikus vizsgálta először. Mérési eredményeit kiértékelve a fény hullámelméletének ellentmondó eredményre jutott.



102.1. Miért lesz UV fény hatására pozitív töltése a mutatóknak?

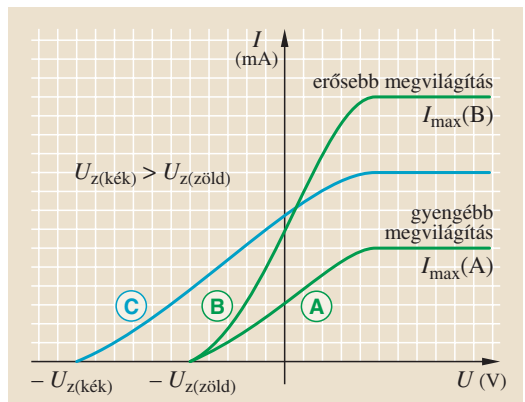


102.2. A fotocella kapcsolási rajza. Az áramforrás milyen polaritásánál van biztosan fotoáram, ha megvilágítjuk a fotocellát?

A fényelektromos jelenség mennyiségi vizsgálatára fotocellával végezhetünk kísérleteket.

Állítsuk össze a 102.2. ábrán látható kapcsolást. A fotocellára eső feszültséget egy feszültségosztóval változtathatjuk, és az áramforrás polaritását is megfordíthatjuk.

A fotocella katódját színszűrő alkalmazásával egyszínű (pl. zöld), vagyis adott frekvenciájú fényrel világítjuk meg! A fotocellára kapcsolt különböző feszültségértékeknél mérjük az áramkörben folyó fotoáram  $I$  erősségét. Adott erősségű megvilágításnál vegyük fel az  $I - U$  áramerősség–feszültség grafikont! A 102.3. ábra (A) grafikonját kapjuk.



102.3. A fotocella áramerősség–feszültség grafikonjai



A pozitív gyorsító feszültség növelésével az áramerősség egy maximális ( $I_{\max}$ ) értéket vesz fel. Ekkor a fotokatódból kilépő valamennyi elektron igen rövid idő alatt eljut az anódra, ezért nem növelhető tovább az áramerősség. Ellentétes polaritásnál a feszültség növelésével viszont egyre kisebb lesz az áramerősség, egyre kevesebb elektron képes legyőzni a növekvő elektromos mező fékező hatását. Végül egy  $U_z$  feszültségértéknél az áram megszűnik. Ezt az  $U_z$  értéket zárófeszültségnek nevezzük, mivel ekkor a fékező elektromos mező lezárja az elektronok anódra való áramlását.

Ismételjük meg a mérést változatlan színsűrűséggel, de erősebb megvilágítás mellett! A (B) grafikon szerint a maximális áramerősség nagyobb lesz, de a zárófeszültség értéke nem változik.

Ezután alkalmazzunk egy másik (pl. kék) színsűrűt. Ekkor a (C) grafikon adódik: a nagyobb frekvenciájú kék fénynél nagyobb lesz az  $U_z$  zárófeszültség értéke is. A zárófeszültség nagysága tehát függ a megvilágító fény frekvenciájától, de független annak erősségétől.

A zárófeszültség értékéből meghatározhatjuk a katódból kilépő elektronok maximális mozgási energiáját. A fékező elektromos mező (más néven ellen-ter) munkájára alkalmazzuk a munkatételt:

$$U_z \cdot e = \frac{1}{2} m_e \cdot v_{\max}^2,$$

ahol  $e$  az elektron töltésének nagysága,  $m_e$  pedig az elektron tömege.

A kísérletek alapján kapott grafikonok kiértékeléséből a fotoeffektusra az alábbi mennyiségi összefüggéseket állapíthatjuk meg:

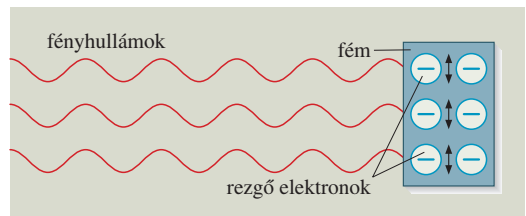
- A fotocella áramkörében mért fotoáram  $I$  áramerősségének maximális értéke annál nagyobb, minél nagyobb a megvilágító fény erőssége. Vagyis **erősebb megvilágításnál több elektron lép ki a fotokatódból.**
- A zárófeszültség csak a megvilágító fény frekvenciájától függ. Nagyobb  $f$  frekvenciájú fénynél nagyobb lesz a fotoáram  $U_z$  zárófeszültsége is. A feszültségérték – állandó frekvencia mellett – független a megvilágítás erősségétől. Tehát **a kilépő elektronok maximális mozgási energiáját csak a fény frekvenciája befolyásolja. Nagyobb frekvenciájú fény nagyobb mozgási energiával léptet ki elektronokat a katódból.**

Kísérletekkel igazolhatók még az alábbi tulajdonságok:

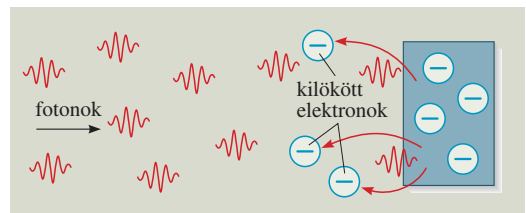
- **A fotoeffektus nem jön létre, ha a fény frekvenciája kisebb egy – a fotokatód anyagára jellemző – határfrekvenciánál:  $f < f_h$ .**
- **A fényelektromos hatás mindig pillanatszerűen következik be.** Nincs szükség várakozási időre ahhoz, hogy az elektronok a fényből összegyűjtsék a kilépéshez szükséges energiát. Erre utal, hogy a fotocellák árama a megvilágítást követően azonnal megjelenik.

A tapasztalt mennyiségi összefüggések ellentmondanak a hullámmodellnek.

- Nagyobb fényerősség a hullámmodell szerint nagyobb rezgési amplitúdót jelent, amelyhez nagyobb rezgési energia is tartozik. Így a hullámmodell alapján azt várnánk, hogy az erősebb fény nagyobb sebességgel „téli ki” az elektronokat a fémből. A kísérletek viszont nem ezt mutatták.
- Ugyancsak nem magyarázható a hullámmoddellel, hogy miért létezik egy határfrekvencia, amelynél kisebb frekvenciájú fényenél még erős megvilágítás esetén sem lépnek ki elektronok a fémből.
- A számítások szerint az elektromágneses mezőben rezgő elektronoknak, mint kis atomi antennáknak, akár napokig kellene „gyűjtögetni” az energiát ahhoz, hogy a fémből ki tudjanak lépni. Az elektronok kilépése viszont – még gyenge megvilágítás esetén is – azonnal (a mérések szerint kevesebb mint 1 ns alatt) megindul.



103.1. A fotoeffektus értelmezése a hullámmodell alapján



103.2. A fotoeffektus értelmezése a fotonmodell alapján

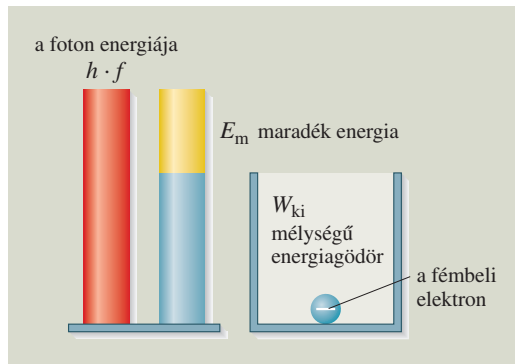
A fény hullámmodellje\* és a kísérleti eredmények közötti ellentmondást Albert Einstein oldotta meg 1905-ben. A fotoeffektusra Planck kvantumhipotézisét alkalmazta. Einstein feltételezte, hogy a fény  $\varepsilon = h \cdot f$  energiájú kvantumokból, azaz **fotonokból**\* áll. A fotoeffektusra a következő energiaegyenletet írta fel:

$$h \cdot f = W_{\text{ki}} + \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{max}}^2$$

A **fényelektromos egyenlet**\* szerint a fénysebességgel haladó  $h \cdot f$  energiájú fotonok teljes energiájukat átadják az elektronoknak. Azok a fotonenergia egy részét  $W_{\text{ki}}$  kilépési munkára\* fordítják, a fennmaradó rész pedig mozgási energia formájában marad meg.

A **fotonmodell alkalmazva a fényelektromos jelenség ellentmondásai megszűnnek**.

- Természetessé válik, hogy ha állandó frekvencia mellett növeljük a megvilágítás erősségét, a több beérkező foton több elektront „lök ki” a fémből. Így nő a maximális áramerősség. A fotonok energiája azonban nem változik meg, így a kilépő elektronok mozgási energiája is ugyanaz marad. Ezért változatlan a zárófeszültség értéke.
- Ugyancsak érthető lesz, hogy a fotoeffektus létrejöttéhez szükség van egy minimális  $f_h$  határ-



104.1. A fotoeffektus energiámérlege. Mikor léphet ki a fémből az elektron?

- frekvenciájú fényre. Hiszen csak olyan foton képes kiléptetni a fémből elektront, amelynek energiája nagyobb a kilépési munkánál:  $h \cdot f > W_{\text{ki}}$ .
- A fotoeffektus pillanatszerűsége pedig azzal magyarázható, hogy az elektronoknak nem kell az elektromágneses mezőből „összegyűjteni” a kilépéshez szükséges energiát, mivel a fotonok azt egy adagban szállítják.

Einstein **fotonhipotézise**\* később számos megerősítést nyert, a fotonelmélet a modern fizika egyik fundamentumává vált. Einstein a fényelektromos jelenség értelmezéséért elnyerte az 1921. évi fizikai Nobel-díjat.

## M MEGJEGYZÉSEK

1. A fotocellát nemcsak kísérleti célokra alkalmazzák, hanem arra is alkalmas, hogy fény hatására meginduló fotoárammal áramköröket vezéreljenek elektromágneses vagy tranzisztoros relék segítségével. A gyakorlatban gyakran használnak fotocellát biztonsági-védelmi berendezések működtetésénél, ajtók, kapuk „önműködő” nyitására, zárására. Ezeknél a technikai berendezéseknél kihasználjuk a fotoeffektus bekövetkezésének pillanatszerűségét.
2. Félvezetők belsejében is lehet fényvel szabad elektronokat létrehozni (ezt nevezzük *belső fotoeffektusnak*). Mivel ezzel jelentősen meg lehet változtatni a vezetőképességüket, a félvezető eszközök is alkalmazhatók arra, hogy elektromos áramköröket fényjelek segítségével vezéreljünk. Ezen az elven működnek a **fotellenállások** és a **photodiódák**.

## G GONDOLKODTATÓ KÉRDÉSEK

1. A fotoeffektusra jellemző alábbi mennyiségek közül melyek függenek csak a megvilágító fény hullámhosszától, melyek csak a fotokatód anyagától, és melyek mindkettőtől: zárófeszültség, kilépési munka, határfrekvencia, foton energiája?

**FELADATOK**

1. Egy fotocella katódját 10 mW teljesítményű 450 nm hullámhosszúságú lézertfényvel világítjuk meg. A katódból minden ötödik foton vált ki elektront. A kilépési munka 0,42 aJ. Számítsuk ki a fotoáram–feszültség grafikon jellemző paramétereit (zárófeszültség, maximális áramerősség)!

**MEGOLDÁS:**

a) Először számítsuk ki a lézertfény fotonjainak energiáját:

$$E_f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

A fotoeffektus egyenletéből a kilépő elektronok maximális mozgási energiáját meghatározhatjuk:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_{\text{max}}^2 = E_f - W_{\text{ki}} = 0,22 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

A zárófeszültség értékét a munkatétel képletéből kapjuk meg:

$$U_z \cdot e = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{max}}^2 \Rightarrow U_z = \frac{\frac{1}{2} m \cdot v_{\text{max}}^2}{e} = \frac{0,22 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \mathbf{0,1375 \text{ V}}.$$

- b) A katódra másodpercenként érkező fotonok számát megkapjuk, ha a teljesítményt elosztjuk a fotonok energiájával:

$$n_f = \frac{P}{h \cdot f} = \frac{10^{-2} \text{ W}}{4,42 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,26 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{s}}.$$

A másodpercenként kilépő elektronok száma:

$$n_e = \frac{n_f}{5} = 4,52 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{s}}.$$

A maximális áramerősség pedig:

$$I_{\text{max}} = n_e \cdot e = 4,52 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{s}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = \mathbf{7,23 \cdot 10^{-4} \text{ A}}.$$

2. Egy félvezető lézerceruza 650 nm hullámhosszú vörös fényt bocsát ki 1 mW teljesítménnyel.
- Mennyi egy kibocsátott fénykvantum energiája?
  - Hány kvantum lép ki a ceruzából másodpercenként?
3. Mekkora lesz az alumíniumból kilépő elektronok maximális mozgási energiája, ha a fémet 250 nm hullámhosszúságú ultraibolya sugarakkal világítjuk meg? A fém kilépési munkája 0,68 aJ.
4. Egy fotocella katódjának megvilágítására 400 nm hullámhosszúságú kék fényt használunk. Ekkor a fotoáramot 0,46 V feszültségű ellentérrel tudjuk megszüntetni. Mekkora a fotokatód anyagának kilépési munkája? Milyen anyagból készülhetett a katód? (Használjuk a függvénytáblázatban található kilépési munkákat megadó táblázatot!)
5. Mekkora az előző feladatban szereplő fotocella katódjának határhullámhossza? Milyen hullámhossztartományban működik a fotocella?
6. Egy cink katódú fotocellát ultraibolya fényvel világítottunk meg. A fotocella zárófeszültsége 1,5 V. Mekkora a fény hullámhossza, ha a cink kilépési munkája 0,7 aJ? Működik-e a fotocella látható fényvel történő megvilágítás esetén?



# Megoldások

(A terjedelem csökkentése érdekében a megoldásokat gyakran nem teljes mondatban fogalmaztuk meg, és néhány egyszerű kérdésre nem adtuk meg a választ.)

## I. MECHANIKAI REZGÉSEK ÉS HULLÁMOK

### 1. REZGŐMOZGÁS

#### 1.1. A rezgőmozgás fogalma. A rezgőmozgást jellemző mennyiségek

**Gk:** 1. a) Igen. b) Nem. c) Nem. d) 1 nap.  $1 \frac{1}{\text{nap}}$ ; 1 év;  $1 \frac{1}{\text{év}}$ ; 2. Nem. Olyan „félparabola”, majd egész parabola,

melynek csúcsa az elejtésnek megfelelő magasságban van. 3.  $v = 0$ ,  $a$  maximális. 4. a) Ha a test az egyensúlyi hely felé mozog. b) Mindig. 5. Igen, ha  $\omega = \frac{1}{s}$  és  $t_1 = n \cdot \frac{T}{8}$ , amikor  $\sin \varphi_1 = \cos \varphi_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}$ . 6. Igen, mert  $A$  és  $T$  vagy  $f$  ismeretében felírhatók a harmonikus rezgőmozgást jellemző mennyiségeket ( $y$ ;  $v$ ;  $a$ ) megadó függvény.

**F:** 2.  $v_{\max.} = 15,7 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $a_{\max.} = 61,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ ;  $y_1 = 3,7 \text{ cm}$ ;  $v_1 = 6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $a_1 = -57,98 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ ;  $y_2 = -3,7 \text{ cm}$ ;  $v_2 = 6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $a_2 = 57,98 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ ; 3.  $A = 0,023 \text{ cm}$ ;  $a_{\max.} = \omega^2 \cdot A = 109\,900 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ ; 4.  $\omega t = 48,6^\circ$ ;  $v = 3,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $a = 11\,460 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ;

5. a)  $v_{\max.} = A\omega = 31,4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $a_{\max.} = 98,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ ; b)  $y = 0$ , tehát a test az egyensúlyi helyzetben van;

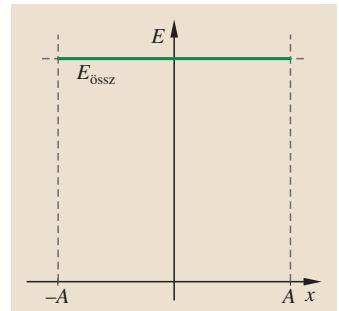
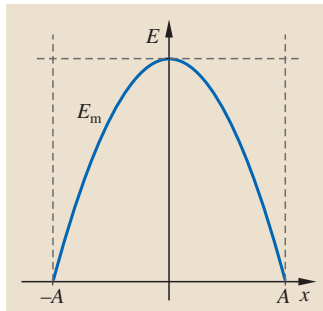
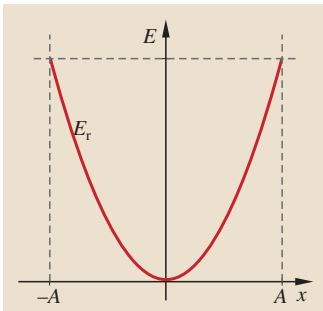
$v = v_{\max.} = -31,4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $a = 0$ ; c)  $y = 7,07 \text{ cm}$ ;  $v = 22,2 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $a = 69,7 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ .

#### 1.2. A harmonikus rezgőmozgás dinamikai feltétele. A rezgésidő. Az energiaviszonyok

**Gk:** 1. A labdára a két ütközés között csak a gravitációs erő hat. Mivel ez állandó, a labda mozgására nem érvényesül a harmonikus rezgőmozgás dinamikai feltétele. 2. A nagyobb tömegű, tehát tehetetlenebb testnek nehezebb változtatni a sebességét. A rezgésidő nagyobb! 3. Az erősebb rugó azonos kitérés esetén nagyobb erőhatást kifejtésére képes, így ugyanazt a testet gyorsabban mozgatja. A rezgésszám nagyobb. 4. A rezgő test a hosszabb utat – mivel a rugó nagyobb megnyúláskor arányosan nagyobb erőhatást fejt ki – a kitéréssel arányosan nagyobb gyorsulással teszi meg. 5. A rezgésidő kétszeres, háromszoros, a rezgésszám fele, harmada lesz az eredetinek. 6. Ha a tömeg nagyobb – azonos feltételek mellett – a rezgésszám kisebb. 7. Két ismert rugóállandójú rugót. A két rugóval jobbra-balra kikötve önmagukat, a megmért rezgésidő alapján kiszámítható a testük tömege. Igen. 8. A rezgésszám az egységnyi idő alatti rezgések számát mutatja meg, de nem azonos azzal, hiszen mértékegysége:  $\frac{1}{s}$ . A rezgések száma a vizsgált tetszés szerinti hosszúságú időtartam alatti periódusok száma, amely egy mértékegység nélküli számmal adható meg.

9.  $D_1 = D_2 = 2D$ ;  $D_{1;2} = 2D_1 = 4D$ ;  $T_1 = T \cdot \sqrt{2}$ ;  $f_1 = \frac{f}{\sqrt{2}}$ ;  $T_{1;2} = \frac{T}{2}$ ;  $f_{1;2} = 2f$ .

10.



A rugalmas és a mozgási energia az  $x = \frac{A}{\sqrt{2}} \approx 0,71A$  helyen lesz egyenlő.

**F:** **1.**  $T = 0,31 \text{ s}; f = 3,2 \frac{1}{\text{s}}; \omega = 20 \frac{1}{\text{s}}$ ; **2.**  $M = 71,3 \text{ kg}$ ; Igen. Kettő, de ha két ilyen rugóval kötik ki az űrhajóst, akkor nem 7,5 s lesz a rezgésidő. **3.**  $D = 197 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ;  $v_{\text{max.}} = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $a_{\text{max.}} = 0,79 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ;  $F_{\text{r,max.}} = 15,8 \text{ N}$ ; **4.**  $T = 0,628 \text{ s}$ ; **5.**  $E = 0,025 \text{ J}$ ; **6.**  $W = E_{\text{r,max.}} = \frac{1}{2} D \cdot A^2 = 0,06 \text{ J}$ ; **7.**  $E_{\text{r}} = E_{\text{h}}$ ;  $h = 12,2 \text{ m}$ . **8.** Harmonikus rezgőmozgást.  $v_{\text{max.}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  
 $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} D \cdot A^2$ -ből  $A = 6,3 \text{ cm}$ .

### 1.3. A fonálinga

**Gk:** **1.** Így a mérés során (pl. az óra indításánál és megállításánál) elkövetett hiba 10 részre oszlik. **2.** A lengésidő – változatlan feltételek mellett – állandó. **3.** Süllyeszteni, mert a hosszabb inga lengésideje nagyobb. **4.** Kétsík, ha az inga hossza a hőtágulás miatt nő. **5.** A nagyobb tömegű testnek nagyobb a tehetetlensége, de azzal arányosan nagyobb nehézségi erőhatás éri. **6.** Lásd 1.2. Gk. 9.-re adott választ. **7.** A rúdon mozgatható nehezebbel változtatható az „inga hossza”. **8.** A nehézségi erő hatására mozgó ingával nem, ott súlytalansági állapot van. „Rugós ingaórával” igen, mert a rugalmas erő létezése nem függ a gravitációs hatástól.

**F:** **1.**  $T = 1,27 \text{ s}$ ; **2.**  $l = 6,22 \text{ m}$ ; **3.**  $0,995 \text{ m}$ ; **4.**  $0,166 \text{ m}$ ; **5.**  $g = 39,44 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Nem lehet.

### 1.4 A rezgést befolyásoló külső hatások és következményeik

**Gk:** **1.** a) csillapított, a közegellenállás és a rugó korpuszkuláinak mozgatása; b) csillapítatlan, a mozgó vonó tapadás közben pótolja a veszteségeket; c) azonos az első esettel; d) csillapítatlan, lásd a 27. oldalon az Olvasmányban. **2.** Lásd 28.2. ábrát. **3.** Az egyenletes forgás érdekében. **4.** A forgórész aszimmetria miatti ütőszáma ne legyen egyenlő a forgórész  $f_0$  sajátrezgésszámával. **6.** Kicsi a veszteség, így kevesebb lökésre éri el a kritikus állapotot a test. **7.** Rugalmas alakváltozással „átveszi” a lökéseket, és így az autó egésze nem kap ütőszertű lökéseket. A rugó a kerekeket mindig az úthoz nyomva tartja.

## 2. MECHANIKAI HULLÁMOK

### 2.1. A hullám fogalma

**Gk:** **2.** A rugalmatlan közegben nem hozható létre rugalmas feszültség. **3.** A gázok térfogata könnyen megváltoztatható. Az kicsi erő, amellyel ilyenkor a rugalmas feszültség létrejött, csak viszonylag lassú változást hoz létre. **4.** Rezgőmozgást. **5.** A rugalmas kötélen, ha az laza, kisebb erővel hozható létre rugalmas feszültség, és ez lassúbb változást hoz létre. **6.** A homok miatt nagyobb a gumicső tehetetlensége, de a cső megfeszítettsége miatt fellépő erőhatás ugyanakkora. **7.** Az ütés miatt a pálcán longitudinális hullám keletkezik, így a – sűrűsödés és ritkulás miatt – a pálcá másik vége a hossz irányában mozog, ütögeti az elé helyezett golyócskát. **8.** Rezgésnél a kitérés-idő ( $y-t$ ) függvényt jellemzi a szinuszgörbe, a hullámnál pedig a távolság-kitérés ( $y-x$ ). **9.** A kitérés  $T$  időnként ismétlődik. A második választ lásd a Megjegyzések 5. pontjában. **10.**  $\lambda$  és  $T$ .

**F:** **1.**  $c = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $T = 0,01 \text{ s}$ ; **2.**  $T = 0,0015 \text{ s}; f = 667 \frac{1}{\text{s}}$ ;  $\lambda$  és  $c$ . **3.**  $\lambda = 5 \text{ m}$ ; **4.**  $c = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; **5.**  $\lambda = 15 \text{ m}$ ; **6.**  $c_1 = 400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $c_2 = 600 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $D_1 < D_2$ .

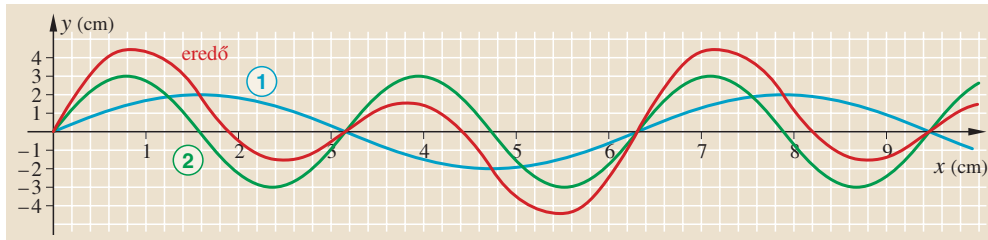
### 2.2. Hullámok viselkedése új közeg határán

**Gk:** **1.** Minden jellemzője ( $T$ ;  $\lambda$ ;  $f$ ) változatlan. A sugár és a beesési merőleges által meghatározott síkban marad úgy, hogy  $\alpha = \alpha'$ . **2.** A visszaverődés törvényének megfelelően párhuzamosan. Egyenetlen felületről diffrúzió módon. **3.** Széttartóan. Egyenetlen felületről diffrúzió módon. **4.**  $\alpha = \alpha' = 0$ ;  $\beta = 0$ ; **5.** Visszaverődésnél változatlan jellemzőkkel. Törésnél  $f$  és  $T$  változatlan, de  $\lambda$  és  $c$  változik.

**F:** **1.**  $n_{2,1} = 0,228$ ;  $n_{1,2} = 4,38$ ; **2.**  $c_1 = 8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $c_2 = 5,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ ;  $\beta = 29,66^\circ$ . **3.**  $\alpha_{\text{h}} = 44,3^\circ$ .

### 2.3. Hullámok találkozása. Interferencia

F: 2.



3. Az előző ábra alapján készítse el a rajzot. 4. A harmadik zsineg nyugalomban marad, mert a két hullám ellentétes fázisban érkezik C pontba. A harmadik zsinegen maximális amplitúdóval fut végig az eredő hullám, mert a két hullám azonos fázisban érkezik a C pontba.

### 2.5. A hanghullámok és jellemzőik

Gk. 1. Nem, mert az oda-vissza távolság együttesen nincs legalább 34 m. 2. 17 m – 0,021 m. 3. A hullámhossz és az akadályok méretarányának különbségével. 5.  $c = 342 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; 6. Az ott lakókat így védik a káros hanghatásoktól. 7. Rugalmatlan, ami „elnyeli” a hangot. 8. Jó hangelnyelők. 9. Mert időben eltolódva hallják az ütemet diktáló hangot. 10. Ha a kréta hol megakad, hol megcsúszik, akkor rezgésbe jön és hangforrássá válik. 11. Mert rezgésbe jön. 12. Különböző a hangszálak és a különböző rezgésszámú hangokat rezonanciával felerősítő testrészüik (mellkasi, garati üregek, rezonáló csontok stb.). 13. Hangvisszaverődéssel. 14. Igen. A megfigyelő és a hangforrás közötti távolság csökkenésekor a hangforrás felől fújó szél esetében magasabb lesz a hang stb.

## II. ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK, HULLÁMOPTIKA

### 1. ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK

#### 1.1. Elektromágneses rezgések előállítás

Gk: 1. a) A frekvencia csökken, mivel a tekercs induktivitása nagyobb lesz. b) A frekvencia értéke negyedére csökken. c) A frekvencia értéke  $\sqrt{2}$ -szeresére nő. d) A frekvencia értéke nem változik.

F: 1.  $f = 2322 \text{ Hz}$ ,  $T = 0,43 \text{ ms}$ ; 2. a) 21,6 H; b) 0,28 H; 3. a)  $E_{C_{\max}} = 720 \text{ nJ}$ ; b)  $E_{L_{\max}} = 720 \text{ nJ}$ ;

$$c) U = 12 \text{ V} \cdot \cos\left(22360 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right), I = 2,68 \text{ mA} \cdot \sin\left(2230 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right).$$

#### 1.2. Elektromágneses hullámok keltése és vizsgálata

Gk: 1. Lehet, tekercs ferritmagnájának eltolásával. 2. a) A homorú felület fókuszába helyezett sugárforrásból kiinduló sugarakat a felület párhuzamos nyalábra veri vissza. b) A párhuzamos nyalábban érkező hullámokat a parabolaantenna homorú felülete a fókuszpontba helyezett hullámérzékelőre irányítja. 3. Nem, mert az ablaküveg az UV sugarakat elnyeli. 4. Az ultraibolya sugárzás elleni védelem miatt.

F: 1.  $t = 2,56 \text{ s}$ ; 2. 0,33 m, mikrohullámú tartomány. 3. 6000 km (kb. a Föld sugarának nagysága). 4.  $f = 750 \text{ kHz}$ ;  $\lambda = 400 \text{ nm}$ ; 5. a)  $\lambda = 555 \text{ m}$ , középhullámsáv; b)  $C = 868 \text{ pF}$ .

### 2. OPTIKA

#### 2.1. A fényhullámok terjedése vákuumban és anyagi közegekben

Gk: 1. A pénzérméről kiinduló fényugarak az érme fölötti vízrétegből kilépve a törés következtében a függőlegessel nagyobb szöget zárnak be, így alkalmas helyről nézve láthatóvá válik az edénybe helyezett tárgy. 2. Az üres kémcsőben lévő levegő–üveg–víz határfelületeken teljes visszaverődés jön létre, emiatt nem láthatunk a cső belsejébe. Ha vízzel töltjük meg a kémcsövet, akkor megszűnik a jelenség, beláthatunk a csőbe. 3. A csillagok pislogását a légkör sűrűségváltozása okozza: a csillagokról a légkörön keresztül a szemünkbe jutó fény törése időben és helyben egy kicsit változik, emiatt a csillag látszólagos helye kismértékben vibrál. 4. Az etil-alkohol és a benzol mechanikai sűrűsége a vízénél kisebb, a törésmutatójuk azonban nagyobb a víz törésmutatójánál.



**F: 2.**  $32,1^\circ$ . **3.**  $84,7^\circ$ . **4.**  $60^\circ$ . **5.**  $4,1$  cm. **6. a)** Az edényben lévő víz felszíne megfelelő szögből nézve – a teljes visszaverődés miatt – tökéletes tükörként viselkedik, amely a gyertya látszólagos képét állítja elő a víz felszíne fölött. **b)** A délibábnál a talaj feletti forró, ritka levegő felső határa lesz a tökéletes tükör, melyben visszatükröződnek a környezet tárgyai. **c)** A forró levegőhatár „tükrében” az égbolt képét látjuk az úttesten vízként csillogni. **7.**  $\beta = 48,6^\circ$ . **8.**  $\alpha = \beta = 44,43^\circ$ ,  $\delta = 28,86^\circ$ .

## 2.2. Egyszerű optikai eszközök: tükrök és lencsék

**Gk: 1.** Mindig az erősebb megvilágítású oldalról nézve válik láthatóvá a tükörkép. Így nappal kívülről, este pedig belülről nézve láthatjuk magunkat az ablaküvegben. **2.** Igen, mert a fény útja megfordítható. **3.** Mert a tükrökkel, lencsékkel a fókuszpontba összegyűjtött párhuzamos napsugarak az oda helyezett gyúlékony anyagot lángra lobbanthatják.

**F: 1.** A fényképezőgép lencséje valódi, fordított állású, kicsinyített; az egyszerű nagyító pedig látszólagos, egyenes állású, nagyított képet alkot. (A szerkesztést nevezetes sugármenetekkel lehet elvégezni.) **2.** Domború tükör, amely mindig látszólagos, kicsinyített, egyenes állású képet alkot.

## 2.3. Optikai eszközök leképezési törvénye

**Gk: 1.** A képalkotás ugyanúgy létrejönne, csak a kép fénysebényebb lenne. **2.** Nem. A kép kevésbé lesz megvilágított.

**F: 2.**  $k = -16,7$  cm,  $N = -1,67$ . **3.**  $t = 40,2$  m,  $T = 4$ . **4.**  $k = 5,13$  cm. **5.**  $t = 3,75$  cm.

## 2.5. Fényhullámok interferenciája, elhajlása

**F: 2.** Az első erősítési fénypontok távolsága  $104,9$  cm. **3.** A rácson  $250$  karcolat található cm-enként. **4.** A por-szemecskéken a fehér fény – hullámhossztól függő mértékben – elhajlik, ez eredményezi a színes interferenciagyűrűk látványát.

## 2.6. A fény mint transzverzális hullám

**Gk: 1.** Reggel és délután, mivel ekkor a napfény beesési szöge jobban megközelíti az  $53^\circ$ -os polarizációs szöveget. **2.** Polárszűrő alkalmazásával. **3.** A polaroid napszemüveg anyaga polárszűrőt tartalmaz, amely a tükröző felületekről érkező poláros fény kiszűrésével csökkenti azok zavaró csillogását.

## 2.7. Színfelbontás, színképek

**Gk: 1.** Ha a tárgy színe homogén, akkor különböző – saját színétől eltérő – színű fényvel megvilágítva az feketének látszik. Összetett szín esetén, csak a kiegészítő színű fényben fekete a tárgy. **2.** Hasonlóan, mint a színes tárgyaknál, csak most a megvilágítás helyett átvilágítani kell a színes üveget.

**F: 2.**  $n_{\text{ibolya}} = 1,37$ .

# III. MODERN FIZIKA

## 1. A MODERN FIZIKA SZÜLETÉSE

### 1.1. Bevezetés

**Gk: 1.** A testek tömegnövekedése miatt van szükség egyre nagyobb erőre. **2.** A kék színű csillag felszínének hőmérséklete magasabb.

**F: 1.** Pl. egy  $60$  kg tömegű ember nyugalmi energiája  $5,4 \cdot 10^{18}$  J. (Magyarország évi villamosenergia-fogyasztása kb.  $1,4 \cdot 10^{17}$  J.) **2.** A mikrohullámú sütőnél  $\varepsilon = 1,6 \cdot 10^{-24}$  J, a rezgő molekulánál pedig  $\varepsilon = 6,63 \cdot 10^{-20}$  J.

### 1.2. A fényelektromos jelenség

**Gk: 1.** Csak a katód anyagi minőségétől függ a kilépési munka és a határfrekvencia értéke. A foton energiája pedig csak a fény frekvenciájától függ. A zárófeszültség a fény frekvenciájától és a katód anyagától egyaránt függ.

**F: 2.** a)  $3,06 \cdot 10^{-19}$  J; b)  $3,06 \cdot 10^{15} \frac{1}{s}$ ; **3.**  $1,15 \cdot 10^{-19}$  J; **4.**  $0,42$  aJ (a katód lítium v. bárium); **5.** Határhullám-

hossz: 472 nm. A fotocella ennél rövidebb hullámhosszú tartományban működik ( $\lambda < 472 \text{ nm}$ ). **6.** 211 nm. A határhullámhossz 284 nm, tehát a fotocella a látható tartományban nem működik.

### 1.3. A foton részecske tulajdonságai

**Gk: 1.** Mert a foton tömege a frekvenciától függően változó. (Másképp minden foton nyugalmi tömege zérus.) **3.** Az euklideszi geometria szerint nem, mert a fény a gravitációs kölcsönhatás során elgörbül. (Görbült tér időben viszont a fény útja jelöli ki az „egyeneseket”).

**F: 2.** A látható fotonok lendülete:  $0,8 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} < I < 1,6 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ . **3.**  $v = 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . **4.**  $E_f = 0,082 \text{ pJ}$ .  
 $\lambda = 2,42 \text{ pm}$ . **5.**  $\Delta m = 2,53 \cdot 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{min}}$ .

### 1.4. Az elektron hullámtermészete

**Gk: 1.** A mikron nagyságú rácsállandóhoz ugyanekkora hullámhosszúságú de Broglie-hullámok kellene. Az ehhez tartozó elektronsebességek viszont túl kicsik ahhoz, hogy ennek megfelelő sebességű rendezett elektronnyalábot állítsunk elő. (A rendezetlen hőmozgás elnyomja a rendezett mozgást.) **2.** Nem. Mivel látásérzetet csak a fotonok keltenek.

**F: 2.**  $3,9 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ .

## 2. AZ ATOMMODELLEK

### 2.1. Emlékeztető

**F: 1.**  $L \approx 15$  milliárd km (100 Nap-Föld távolság). **2.**  $A \approx 950$  ezer  $\text{m}^2 \approx 1 \text{ km}^2$  **3.** Kb. mólnyi mennyiségű homokszemet tartalmaz a Szahara 10 m vastag homokrétege.

### 2.2. Klasszikus atommodellek

**Gk: 1.** A Thomson-modell szerint az alfa-részek mindegyikének kis eltéréssel kellene áthatolnia az aranylemezen. **2.** Az aranylemeznél, mivel az aranyatommagok – a nagyobb elektromos töltésük miatt – az alfa-részeket jobban taszítják, mint az ezüstatommagok.

**F: 2.** Kb. 6 cm vastagságú aranylemez szórja vissza teljesen az alfa-részeket.

### 2.3. Az atomok vonalas színképe. Bohr atommodellje

**Gk: 1.** Mert a színképvonalak hullámhosszai csak a gázatomok energiaszintjeitől függenek. **2.** Az atomok az energiaszintjeiknek megfelelő frekvenciájú fotonokat elnyelnek, később ugyanilyen energiájúakat ki is bocsátanak. **3.** A nagy sugarú pályákon elektronok tartósan nem lehetnek: az atom vagy ionizálódik, vagy pedig rövid idő alatt visszakerül alapállapotba.

**F: 1.**  $E_f = 1,635 \text{ aJ}$ .  $\lambda = 121 \text{ nm}$  (UV tartomány). **3.** A hidrogénatom elektronja az ötödik, negyedik, harmadik gerjesztett állapotokból a második gerjesztett állapotba megy át ( $n \rightarrow 2$ , ahol  $n = 6, 5, 4$ ). **4.** Nem, mivel a gerjesztéséhez legalább 1,635 aJ energia szükséges, a látható fény fotonjainak energiája pedig ennél kisebb.

### 2.4. Az atomok hullámmodellje

**Gk: 1.** Mert egyre több atom gerjesztődik, majd foton kibocsátva visszakerül alapállapotba. **2.** A fénycsövekben a felgyorsított elektronok ionizálják a semleges gázatomokat, amelyek rekombináció során fénykvantumokat bocsátanak ki. **3.** Mivel bezárt makroszkopikus golyó hullámhossza mérhető sebességeknél rendkívül kicsi (gerjesztettségi fok  $(n - 1)$  rendkívül nagy). **4.** A szakaszra bezárt elektron energiaszintjei  $n$  kvantumszám növekedésével egyre távolabb lesznek egymástól (az energia  $n$ -nel arányos), a hidrogénatomnál az energiaszintek sűrűsödnek (az energiaszintek  $1/n$ -nel arányosak, és negatív értékűek.) **5.** Az atomok hosszabb ideig maradnak a gerjesztett követően gerjesztett állapotban.

**F: 1.** 0,06 aJ, 0,24 aJ, 0,54 aJ. **2.**  $\lambda = 1066 \text{ nm}$  (infravörös tartomány). **3.**  $L = 0,6 \text{ nm}$ . **4.**  $\lambda = 121 \text{ nm}$ .