

Munkafüzet

FIZIKA

KÖZÉP- ÉS EMELT SZINTŰ
ÉRETTSÉGIRE KÉSZÜLŐKNEK

11-12



A TERMÉSZETRŐL TIZENÉVESEKNEK

A TERMÉSZETRŐL TIZENÉVESEKNEK

KÖZÉP-
ÉS EMELT SZINTŰ
ÉRETTSÉGIRE
KÉSZÜLŐKNEK



FIZIKA

munkafüzet

11-12. évfolyam

8., VÁLTOZATLAN KIADÁS

MOZAIK KIADÓ – SZEGED, 2019

BEVEZETÉS

A természeti, technikai jelenségek megértésében, a szerszámok, eszközök, gépek, gyártási folyamatok célszerű használatában és az anyagok, testek, folyamatok tulajdonságainak felismerésében döntő szerepe van a véletlenszerű vagy szándékos **megfigyeléseknek**. A tudatosan előidézett jelenségek megfigyelései: a **kísérletek** és **mérések** teszik lehetővé, hogy feltáruljanak a vizsgálat tárgyával kapcsolatos szabályszerűségek, törvények, lehetővé váljon ezek mennyiségekkel való megfogalmazása, a hipotézisek és az elméletek ellenőrzése. A világ megismerése tehát elképzelhetetlen kísérletek és mérések nélkül.

A **mérés összehasonlítás a mértékegységgel**, vagyis egy mennyiség mérőszámának meghatározása. A mérés tehát a legfontosabb kísérleti tevékenység, amely nélkülözhetetlen a fizikában és a természettudományokban, újabban pedig a korszerű társadalomtudományokban is.

A mérés sikeres elvégzésének elengedhetetlen feltétele a mérési feladat megértése, elméleti alapjának felidézése, az eljárás főbb lépéseinek logikai összekapcsolása. A mérési adatok minél pontosabb meghatározása figyelmet, ügyességet, elméleti tudást, gyakorlatot, jó mérési módszert és pontos mérőeszközöket kíván.

A kísérletek és mérések veszélyeket is jelenthetnek a kísérletezőre nézve, ezért a **balesetvédelmi szabályokat** meg kell ismerni, és be is kell tartani.

Ha ugyanazt a mennyiséget egymás után többször is megmérjük, az eredmények általában kisebb-nagyobb eltérést mutatnak, **mérési hibák** lépnek föl. Ez arra figyelmeztet, hogy egyetlen mérés eredményét sem hihetjük tökéletesen igaz értéknek.

A mérőeszköz vagy a mérési módszer hibájából adódó eltéréseket csökkenthetjük jó mérőeszköz, illetve jó mérési módszer alkalmazásával. A méréseknél azonban mindig fellépnek úgynevezett véletlen hibák is, amelyeket nem tudunk megszüntetni. Ha például egy adott lejtőn leguruló golyó mozgásának idejét stopperórával mérjük, nem tudjuk a stopper gombját pontosan az indulás és az érkezés pillanatában lenyomni. Többszöri mérésnél véletlenszerűen hol többet, hol kevesebbet mérünk a mozgás valóságos idejénél. Az ilyen véletlen jellegű hibák nagyságát csökkenthetjük, ha több mérést is végzünk ugyanarra a mennyiségre, és a középértéket (pl. a mérési eredmények számtani közepét) fogadjuk el, mint a pontos mérés legvalószínűbb értékét.

Ahhoz, hogy megítéljük a mérésünk pontosságát, hibaszámítást kell végezni. A hibaszámítás általában nagyon bonyolult feladat. Mi a legegyszerűbb (talán nem is elég pontos) módját választottuk a hibaszámításnak. Ezzel főként azt érhetjük el, hogy tudatosuljon bennünk, **a mérésnek mindig van hibája**.

Legyenek az egymást követő mérések eredményei: x_1, x_2, \dots, x_n .

A **középérték** (x_k):

$$x_k = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

A középérték annál inkább tekinthető megbízható eredménynek, minél kevésbé térnek el tőle az egyes mérési eredmények. Ennek az eltérésnek a jellemzésére átlagoljuk az egyes mérési eredmények középértéktől való eltéréseinek nagyságát. Így kapjuk a mérés pontosságára jellemző átlagos hibát, vagy más néven az **abszolút hibát** (Δx_k):

$$\Delta x_k = \frac{|x_1 - x_k| + |x_2 - x_k| + \dots + |x_n - x_k|}{n}.$$

A mérés pontosságát még szemléletesebben jellemzi az abszolút hibának a középértékhez viszonyított százalékos aránya, a **relatív hiba**:

$$\frac{100 \cdot \Delta x_k}{x_k} \%$$

A **mérés eredményét** a következő módon szokás megadni:

$$x = x_k \pm \Delta x_k,$$

vagy

$$x = x_k \pm \frac{100 \cdot \Delta x_k}{x_k} \%$$

Mérési feladatainknál rendszerint több fizikai mennyiséget is mérünk, és ezekből valamilyen összefüggés segítségével számítjuk a keresett fizikai mennyiséget. Ilyenkor az a legegyszerűbb, ha a fenti hibaszámítást a keresett mennyiségre számított különböző értékekkel végezzük el. A számolás pontosságát a mérések pontosságához igazítjuk.

Példa: Átlagsebesség (v) meghatározása út (s) és idő (t) mérése alapján.

| A mérés sorszáma | s (cm) | t (s) | $v = \frac{s}{t} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$ | $\Delta v \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$ |
|------------------|----------|---------|---|--|
| 1. | 62 | 3,45 | 18,0 | 0,2 |
| 2. | 62 | 3,62 | 17,1 | 0,7 |
| 3. | 62 | 3,60 | 17,2 | 0,6 |
| 4. | 62 | 3,45 | 18,0 | 0,2 |
| 5. | 62 | 3,36 | 18,5 | 0,7 |

Az átlagsebesség középértéke:

$$v_k = \frac{18,0 + 17,1 + 17,2 + 18,0 + 18,5}{5} = 17,76 \approx 17,8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Az abszolút hiba:

$$\Delta v_k = \frac{0,2 + 0,7 + 0,6 + 0,2 + 0,7}{5} = 0,48 \approx 0,5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

A relatív hiba:

$$\frac{100 \cdot \Delta v_k}{v_k} \% = \frac{100 \cdot 0,5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{17,8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}} \% = 2,8\%$$

Az átlagsebesség:

$$v = (17,8 \pm 0,5) \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad (\text{vagy } v = 17,8 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \pm 2,8\%)$$

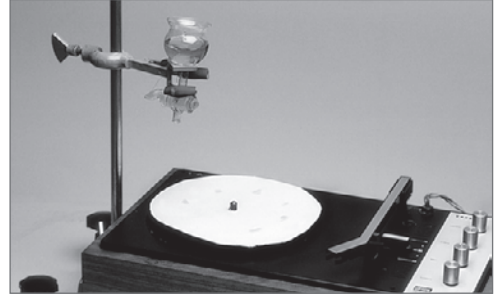
Ha egy mennyiséget csak egyszer tudunk megmérni, vagy a többszöri mérés mindig azonos eredményt ad, akkor a mérés hibája nagymértékben függ a mérőeszköz pontosságától. Hosszúság-méréskor például ilyen esetben a mérőszalag legkisebb beosztásának felét vehetjük abszolút hibának, mert csak az dönthető el megbízhatóan, hogy melyik beosztáshoz van közelebb a mérendő test végpontja.

A szövegben kék betűvel írt részek az emelt szintű érettségire készülőknek javasolt tananyagot jelölik meg.

2. A forgómozgás és a körmozgás kísérleti vizsgálata

1. A lemezjátszótányér szögsebességének meghatározása „csepegtetős” kísérlettel

A mérés elvi alapja: Az egyenletes forgómozgást végző test szögsebessége változatlan. Ez a szögsebesség számértékileg egyenlő az egységnyi idő alatt bekövetkező szögelfordulással. Meghatározandó az egységnyinek tekintett egyenlő időközönként bekövetkező szögelfordulás nagysága.



Eszközök: Lemezjátszó; lyukas közepű papírkorongok, amelyek mérete a lemezjátszó tányérjával egyenlő; festett víz; kis edény, amelyből a megfestett víz csöpöghet (pl. egy szűk kifolyónylású pipetta, amelynek a felső nyílásába dugott papírgalaccsinnal szabályozhatjuk a víz csöpögésének gyakoriságát); állvány; stopperóra; pohár; ceruza; szögmérő.

A mérés menete: Az állványra erősítjük az üres csöpögtető edényt. A lemezjátszóra ráteszünk egy papírkorongot. Alacsony fordulatszámra állítjuk, és bekapcsoljuk a lemezjátszót. A csöpögtető edény alá tesszük a poharat, és az edényt feltöltjük vízzel. Beállítjuk a csöpögés ütemét (2-3 legyen másodpercenként). Megmérjük 20 csöpöpnés időtartamát, és ebből kiszámítjuk a két lecsöpöpnés közötti időtartamot. Az újra feltöltött edényt és az alatta levő poharat a papírkorong fölé (a széléhez közel) visszük. Elvesszük a csöpögés alól a poharat, így a vízcseppek a korongra esnek. Mielőtt egy második körbejárást kezdene a korong, a csöpögés alá tartjuk a poharat, majd az edénnyel együtt elhúzzuk a korong fölül. Kikapcsoljuk a lemezjátszót, levesszük róla a papírkorongot. A korong közepe és a vízcseppek helye által meghatározott „szögszárakat” megrajzoljuk. Megmérjük az egyenlő időközönkénti szögelfordulásokat, és beírjuk azokat a táblázatba. Kiszámítjuk a szögsebességeket.

Mérési eredmények: A két csöpöpnés közötti időtartam, $\Delta t = \dots\dots\dots$ s.

| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|------------------------------------|
| Időtartam (s) | | | | | | |
| Szögelfordulás ($\Delta\varphi$) | | | | | | — |
| Szögsebesség $\left(\frac{1}{s}\right)$ | | | | | | $\Delta\omega_k = \dots\dots\dots$ |

$$\omega_k = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5}{5} = \frac{\dots\dots\dots}{5} = \dots\dots\dots$$

$$\Delta\omega_k = \frac{\Delta\omega_1 + \Delta\omega_2 + \Delta\omega_3 + \Delta\omega_4 + \Delta\omega_5}{5} = \frac{\dots\dots\dots}{5} = \dots\dots\dots$$

$$\omega = \dots\dots\dots \frac{\text{fok}}{\text{s}} = \dots\dots\dots \frac{(\text{rad})}{\text{s}}; \quad \omega = \dots\dots\dots \text{s}^{-1} \pm \dots\dots\dots\%$$

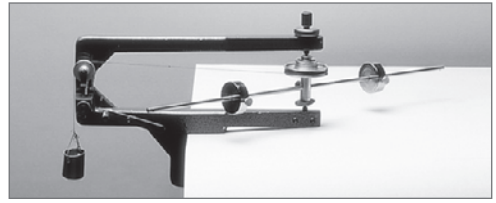
Hasonlítsuk össze a kapott eredményt a lemezjátszó beállított fordulatszáma alapján kiszámítottal!

Megjegyzések és megállapítások:

.....

2. A változó forgómozgás kísérleti vizsgálata

A mérés elvi alapjai: A haladó mozgások vizsgálatánál láttuk, hogy az egyenletesen változó mozgást végző test által megtett út az idő négyzetével egyenesen arányos. Ha azt tapasztaljuk (analógiát feltételezve vagy a letekeredő zsineg sebességének és a kerületi sebességnek az egyenlőségét felhasználva), hogy a szögelfordulás ugyancsak az idő négyzetével egyenesen arányos, akkor az általunk vizsgált test pontjai is egyenletesen változó körmozgást végeznek.



Eszközök: Jól csapágyazott függőleges tengelyen forgó merev test (lásd ábra); állócsiga; zsineg; különböző tömegű nehezékek, amelyekkel beállítható a test forgása úgy, hogy elengedés után önállóan éppen elinduljon, de ne forogjon túl gyorsan; stopperóra.

A mérés menete: Egy függőleges tengelyen forgó test bármely kijelölt pontjának mozgását úgy vizsgálhatjuk meg, ha a test tengelyére rácsavart zsineget átvetjük egy vízszintes tengelyű csigán, és a zsineg másik végére nehezéket akasztunk. Forgassuk körbe a tengelyen levő testet, hogy a hozzá erősített zsineg 15-20-szor rátekeredjen a tengelyre. Válasszuk ki a forgatáshoz megfelelő nehezéket és fordítsuk el a testet egy jól megfigyelhető helyzetébe (pl. ha a test egy rúd, akkor annak a végét a tengelyt tartó szerkezet egy pontja mellé). Egyik kezünkkel tartsuk a testet ebben a helyzetében, a másik kezünkben tartsuk a stoppert indításra kész állapotban. A test elengedésének pillanatában indítsuk a stoppert, és a kívánt mértékű szögelfordulás pillanatában pedig állítsuk le. Végezzünk 5-5 mérést a 180° , a $4 \cdot 180^\circ$ és a $9 \cdot 180^\circ$ szögelfordulás időtartamának meghatározására. Írjuk be a mérési eredményeket a táblázatba!

Mérési eredmények:

| A szögelfordulás | 180° | $4 \cdot 180^\circ$ | $9 \cdot 180^\circ$ |
|------------------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| Az elfordulás időtartama (s) | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Az időtartamok átlaga | | | |
| Eltérések az átlagidőtől (s) | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Az eltérések átlaga (s) | | | |
| A relatív hiba | | | |
| Az időtartamok és hibájuk | | | |

$$t_k = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5} = \frac{\quad}{5} = \dots\dots\dots$$

$$\Delta t_k = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_5}{5} = \frac{\quad}{5} = \dots\dots\dots$$

Megjegyzések és megállapítások:

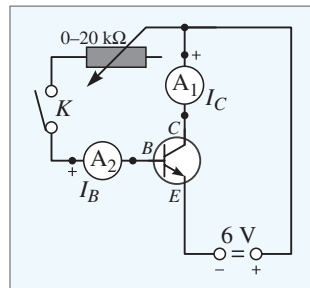
20. A tranzisztor karakterisztikájának felvétele, az áramerősítési tényező mérése

A mérés elvi alapja: Ha a tranzisztoron a bázis-emitter diódarészre nyitó irányú feszültséget adunk, a vékony bázison át a kollektor-bázis dióda határrétegébe is töltéshordozók jutnak, ezáltal a tranzisztor a kollektor és emitter között is vezetővé válik.

A bázisáram (I_B) kis változtatása a kollektoráram (I_C) lényegesen nagyobb változását eredményezi: ez a tranzisztor áramerősítése.

A tranzisztor áramerősítési tényezőjét a két áram változásának aránya adja:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$



Eszközök: 4,5–6 V-os telep; npn-tranzisztor; 20 kΩ-os változtatható ellenállás; két egyenáramú ampermérő; kapcsoló; vezeték; szerelőtábla.

A mérés menete:

- Állítsuk össze a kapcsolási rajz szerinti áramkört! (Ügyeljünk az áramforrás és a műszerek polaritására!) A K kapcsoló kezdetben nyitott, a változtatható ellenállás pedig maximális (20 kΩ) értéken áll. Az A_1 ampermérő méréshatára kb. 100 mA, az A_2 ampermérő méréshatára kb. 5 mA.
- Zárjuk a kapcsolót, majd csökkentjük a változtatható ellenállás értékét 1 kΩ-ig kb. 10 lépésben, és közben írjuk be a táblázatba az A_2 műszer által mért I_B bázisáram és az A_1 műszer által mért I_C kollektoráram összetartozó értékeit!
- Számítsuk ki néhány esetben, és foglaljuk táblázatba a bázisáram változását (ΔI_B), a hozzá tartozó kollektoráram változását (ΔI_C) és a kettőből adódó erősítési tényezőt (β). Vegyük az erősítési tényezők átlagát!

Mérési eredmények:

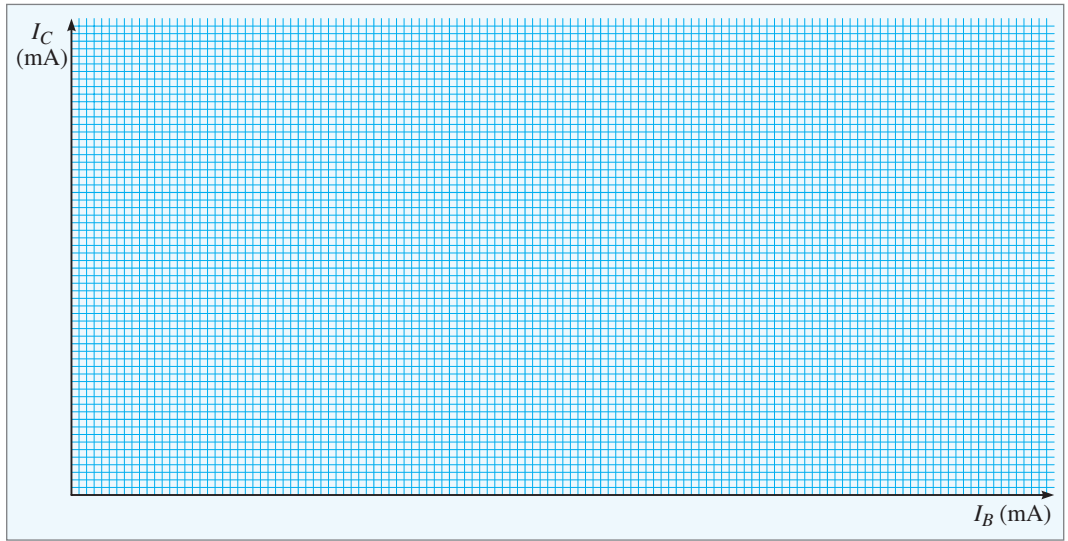
$U_{CE} = \dots\dots\dots$ V

| | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| I_B (mA) | | | | | | | | | | |
| I_C (mA) | | | | | | | | | | |
| ΔI_B (mA) | | | | | | | | | | |
| ΔI_C (mA) | | | | | | | | | | |
| $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ | | | | | | | | | | |

Az áramerősítési tényező középértéke:

$$\beta_k = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n}{n} = \dots\dots\dots$$

Készítsünk grafikont az I_C kollektoráramnak az I_B bázisáramtól való függéséről!



Feladat: A karakterisztika alapján állapítsuk meg, hogy biztosítható-e a bázisáram változásának torzításmentes felerősítése! (Ha például a bázisáram változása az időnek szinuszos függvénye, akkor a kollektoráram változása is ilyen legyen.)

.....

.....

.....

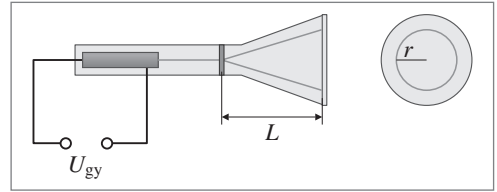
.....

.....

.....

29. Az elektron hullámtermészetének kísérleti vizsgálata

Elméleti ismeretek: De Broglie anyaghullám-hipotézisét az elektronok hullámtermészetének kísérleti kimutatásával igazolták 1927–28-ban. G. P. Thomson olyan katódsugárcsőes kísérletet tervezett, ahol a katódsugárcsőbe az elektronok útjába vékony grafitkristályt épített. A grafitrácson áthaladt elektronnyaláb a katódsugárcső ernyőjén kör alakú interferenciagyűrűket rajzolt ki. A gyűrűk r sugara a hullámok rácson való elhajlásának megfelelően kifejezhető a d rácscsillapódás és az elektronhullám λ hullámhossza alapján:



$$\lambda = d \cdot \sin \alpha, \text{ ahol } \sin \alpha \approx \frac{r}{L}.$$

Az r sugár mérésével az L rácscsillapódás-távolság ismeretében a hullámhossz kiszámítható.

Az U feszültséggel felgyorsított elektronokból álló elektronnyalábban az elektronok $I = mv$ impulzusa a feszültséggel kifejezhető:

$$I = m \cdot v = \sqrt{2U \cdot m \cdot e}.$$

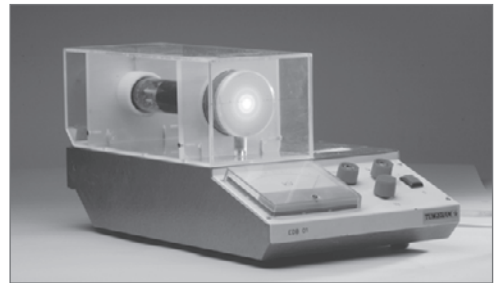
Így igazolható az elektron λ hullámhossza és I impulzusa közötti – a Broglie-összefüggésnek megfelelő – fordított arányosság, mely szerint:

$$h = \lambda \cdot I.$$

Eszközök: Elektron diffrakciós készülék (lásd fotó); mérőszalag; vonalzó.

A készülék működésének vizsgálata:

- Kapcsoljuk be készülékünket, és közepes fényerő mellett szemléljük a kialakult interferenciagyűrűket! Közelítsünk mágnesrúd különböző pólusaival a készülék katódsugárcsője felé! Magyarázzuk meg a jelenséget!
- Változtassuk a katódsugárcső gyorsítófeszültségét, figyeljük meg, hogyan változnak az interferenciagyűrűk sugarai! Ellenőrizzük, hogy a tapasztalt változás összhangban van-e a de Broglie-hullámhosszal!
- Figyeljük meg az interferenciakép elmosódottságát kis és nagy feszültségek mellett! Keressünk magyarázatot a tapasztaltakra!



A vizsgálat megállapításai:

Mérés a diffrakciós készülékkel

A készülékbe épített grafitkristály $d = 0,213$ nm nagyságú rácscsillapódásának és $L = 175$ mm nagyságú rácscsillapódás-távolságának ismeretében könnyen megvalósítható mérést végezhetünk az elektronok de Broglie-hullámhossza és -impulzusa közötti fordított arányosság igazolására. (Egyedileg L ettől eltérhet, a készülék adatai között ellenőrizzük.)

A mérés menete:

- A könnyebb számolás érdekében állítsuk be a készülék gyorsítófeszültség-értékeit kerek 5 kV, 6 kV, ..., 10 kV értékekre! Minden feszültségértéknél mérjük meg a belső interferenciagyűrű átmérőjét! (Az ernyőn látható külső gyűrű nem az elektronhullámok másodrendű erősítésének képe, hanem egy másik – a grafitkristály rácspontjain másként átfektetett ún. „hálózati síkrendszernek” megfelelő – rácsállandójának megfelelő elsőrendű képe. Így ezzel a méréskor nem foglalkozunk.)
- A fenti képletekkel számítsuk ki az elektronok I impulzusát és λ hullámhosszát!
- Képezzük a számított mennyiségek szorzatát! Vessük össze az elméletileg várható h értékkel!
- Végezzünk hibaszámítást!

Mérési eredmények:

| A mérés sorszáma | A gyűrű sugara (mm) | Számított λ hullámhossz (10^{-11} m) | U gyorsítófeszültség (V) | Számított impulzus ($10^{-23} \cdot \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$) | $h = \lambda \cdot I$ ($10^{-34} \cdot \text{J} \cdot \text{s}$) |
|------------------|---------------------|---|----------------------------|---|--|
| 1. | | | | | |
| 2. | | | | | |
| 3. | | | | | |
| 4. | | | | | |
| 5. | | | | | |

Hibaszámítás:

A h konstans középértéke: $h_k = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \dots\dots\dots$

A mérés közepes abszolút hibája: $|\Delta h|_{\text{közép}} = \frac{|\Delta h_1| + |\Delta h_2| + \dots + |\Delta h_n|}{n} = \dots\dots\dots$

A mérés relatív hibája: $H_{\text{rel}} = \frac{|\Delta h|_{\text{közép}}}{h_k} \cdot 100\% = \dots\dots\dots\%$.

$h = \dots\dots\dots \text{Js} \pm \dots\dots\dots\%$.

A $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js irodalmi értéktől való százalékos eltérés: $H = \frac{|h_k - h|}{h} \cdot 100\% = \dots\dots\dots\%$.

Megjegyzések és megállapítások:

.....

.....

.....

.....

TARTALOM

| | |
|---|----|
| BEVEZETÉS | 3 |
| KÍSÉRLETEK ÉS MÉRÉSEK | |
| 1. A haladó mozgás vizsgálata Mikola-féle csővel és lejtővel | 5 |
| 2. A forgómozgás és a körmozgás kísérleti vizsgálata | 9 |
| 3. Tömegmérés dinamikai módszerrel | 11 |
| 4. Mérés és kísérlet rugós erőmérőkkel | 13 |
| 5. Súrlódási erők kísérleti meghatározása | 16 |
| 6. A gravitációs mező jellemzőinek kísérleti meghatározása | 18 |
| 7. Merev test egyensúlyának kísérleti vizsgálata | 20 |
| 8. A mechanikai energiák kísérleti vizsgálata | 22 |
| 9. Energiaváltozások kísérleti vizsgálata | 24 |
| 10. A mechanikai rezgések vizsgálata | 26 |
| 11. Kísérletek mechanikai hullámokkal | 28 |
| 12. Szilárd testek és folyadékok hőtágulásának mérése | 31 |
| 13. A gázok állapotváltozásának vizsgálata | 35 |
| 14. A testek fajhőjének mérése | 38 |
| 15. A jég olvadáshőjének és a víz forráshőjének becslése | 40 |
| 16. Elektroszkópos megfigyelések értelmezése | 42 |
| 17. A kondenzátor kapacitását befolyásoló tényezők vizsgálata | 43 |
| 18. Az egyszerű áramkör jellemzése | 44 |
| 19. Fogyasztók és áramforrások kapcsolása az egyenáramú áramkörben | 48 |
| 20. A tranzisztor karakterisztikájának felvétele, az áramerősítési tényező mérése | 53 |
| 21. A Föld mágneses indukciójának meghatározása | 55 |
| 22. A transzformátor vizsgálata | 57 |
| 23. Változó feszültség, változó áram | 59 |
| 24. A rezgőkör rezgésidejét befolyásoló tényezők vizsgálata | 64 |
| 25. A fény hullámtermészete | 66 |
| 26. A gyújtólencse fókusztávolságának mérése | 70 |
| 27. A fényelektromos jelenség kísérleti vizsgálata | 71 |
| 28. Az elektronnyaláb eltérése katódsugárcsőben. A Millikan-kísérlet vizsgálata | 74 |
| 29. Az elektron hullámtermészetének kísérleti vizsgálata | 77 |
| 30. A Franck–Hertz-kísérlet elemzése | 79 |
| 31. A magfúzió és a radioaktív bomlás modellezése | 81 |
| 32. A Paksi Atomerőmű működése. Mérések Geiger–Müller-csővel | 83 |
| 33. A Nap felszíni hőmérsékletének becslése | 85 |

PRÓBAÉRETTSÉGI FELADATSOROK

| | |
|--|-----|
| I. Mechanika | 87 |
| II. Hőtan, elektromosságtan | 93 |
| III. Optika, modern fizika, atom- és magfizika, csillagászat | 101 |

MEGOLDÁSOK

| | |
|--|-----|
| I. Mechanika | 108 |
| II. Hőtan, elektromosságtan | 109 |
| III. Optika, modern fizika, atom- és magfizika, csillagászat | 110 |



Kiadja a Mozaik Kiadó, 6723 Szeged, Debreceni u. 3/B. Tel.: (62) 470-101
E-mail: kiado@mozaik.info.hu • Honlap: www.mozaik.info.hu • Felelős kiadó: Török Zoltán
Felelős szerkesztő: Tóth Katalin • Műszaki szerkesztő: Kovács Attila
Készült az Innovariant Kft.-ben, Szegeden • Felelős vezető: Drágán György
Terjedelem: 10,01 (A/5) ív • 2019. július • Tömeg: 192 g • Raktári szám: MS-2827