

I. tétel: A sugárzás és az elektron kvantumjellege ...

Egy laboratóriumban három, egymástól független kísérlettel tanulmányozzák a sugárzás és az elektron kvantumjellegét.

Az első kísérletben egy fotocellát tanulmányoznak. A cella fémből készült katódjára merőlegesen beeső, különböző λ hullámhosszúságú, monokromatikus sugarak esetén, a kilépett fotoelektronokra az I. 1. táblázatba foglalt zárófeszültség-értékeket kapták. A fotocella építésbeli sajátosságainak tulajdoníthatóan az elektródok között létrejöhet egy belső potenciálkülönbség (kontaktpotenciál), amely a mért feszültségértékek egy állandó additív értékkel való módosítását idézi elő. Ez a különbség független a sugárzás frekvenciájától. Azt tapasztalták, hogy $\lambda' = 620,00$ nm hullámhossz-értékre nem jelenik meg fotoelektromos áram.

Feltételezzük, hogy:

- az U_s zárófeszültségre mért értékeket egy U_c állandó additív érték befolyásolja, amely független a hullámhossztól, és amely a mért értékeket ugyanazzal a mennyiséggel tolja el;
- a fénysebesség légüres térben, $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s;
- az elemi elektromos töltés, $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C;
- az elektron tömege, $m_e = 9,10 \cdot 10^{-31}$ kg.

Pontositás:

A kerekítéssel járó hibák elkerülése érdekében, a közbeeső számolásokat több tizedesjeggyel kell elvégezni, hogy a tudományos alakban felírt számnak legalább öt tizedesjegye legyen. A tudományos alakban való felírás $A \cdot 10^k$, ahol k egy egész szám, és $A \in [1; 10)$. A tizedesjegyek száma A – ra vonatkozik. A végső eredmények kerekítése a feladat adatainak pontosságával összhangban történik.

I.1. táblázat

A fotocella fémből készült katódjára kapott kísérleti adatok

Mérés sorszáma	λ / nm	U_s / V
1	248,00	2,68
2	275,56	2,18
3	310,00	1,68
4	330,67	1,43
5	354,29	1,18
6	381,54	1,05
7	413,33	0,68
8	442,86	0,48
9	476,92	0,28
10	516,67	0,08

a) Az I.1. táblázta minden adatát felhasználva, állapítsd meg az x és y változókat, úgy, hogy az elméleti függőségi viszony köztük lineáris legyen, és tegye lehetővé a Planck-állandó meghatározását, majd határozd meg a Planck-állandót egy $y = ax + b$ alakú lineáris megfeleltetés segítségével, kiszámolva a – t és b – t, úgy, hogy a: $\sum_{i=1}^N (y_i - ax_i - b)^2$ összeg minimális legyen (ahol i a mérés sorszáma). Felhasználhatod, hogy:

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - a \sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

b) Számítsd ki minden egyes kísérleti érték eltérését az **a)** pontban kapott lineáris függvénytől, és **azonosítsd** az esetleges, a fizikai modellel össze nem egyeztethető méréseket, figyelembe véve, hogy az egyes feszültségmérések abszolút határozatlansága $\Delta U_0 = \pm 0,02 \text{ V}$, majd **határozd meg** a Planck-állandó javított értékét.

c) Azonosítsd a fém kilépési munkája és az U_c állandó lehetséges intervallumait, a **b)** pontnál kapott eredmények felhasználásával.

A második kísérletben az U' potenciálkülönbségen gyorsított elektronok egy olyan kristályra esnek, amelynél a rácscsúcsok közötti távolság $d = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. A beeső nyaláb és a kristályrác síkja között mért $\alpha = \pi/6$ rad szög esetén egy elsőrendű (I) interferencia-maximum figyelhető meg.

d) Igazold, hogy az elektronok mozgása nem relativisztikus és **határozd meg** a gyorsítófeszültséget, felhasználva a **b)** pont eredményeit.

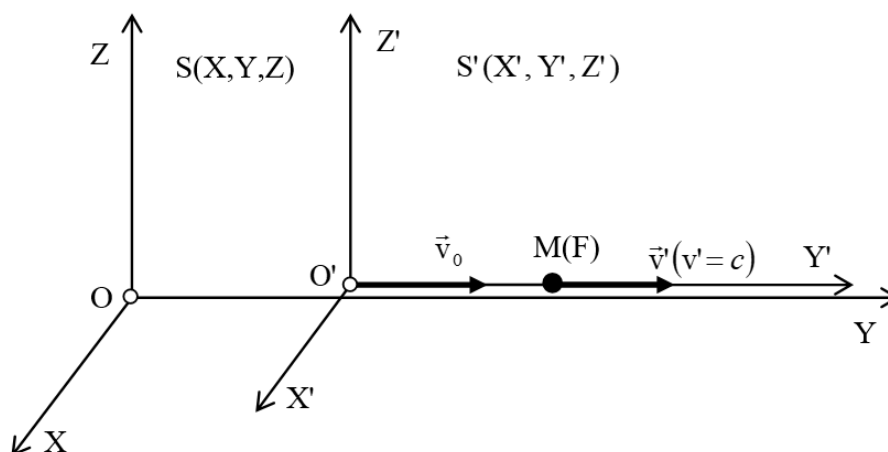
Az utolsó kísérletben $\lambda'' = 2,48 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ hullámhosszú sugárzást használnak. A sugárzás egyik fotonja egy majdnem szabad elektronra esik, majd $\theta = \pi/2$ rad szög alatt szóródik. A detektáló berendezés legalább $1,00 \cdot 10^{-4}$ nagyságrendű relatív hullámhossz-változást képes kimutatni.

e) Határozd meg azt a maximális hullámhosszt, amelyre a Compton-féle hullámhossz-változás kísérletileg kimutatható, a **b)** pontnál kapott eredmények felhasználásával.

II. tétel: Fotonok, Rakéták, Atomok és Relativisztikus Relatív Sebesség

Egy mozgó M anyagi pont a II. 1. ábra által megadott rajz szerint mozdul el, az $O'Y'$ tengely mentén, annak pozitív irányításába, $\vec{v}' =$ állandó sebességgel, az S' mozgó rendszer O' kezdőpontjában található O' megfigyelőhöz képest. Az S' rendszer $\vec{v}_0 =$ állandó sebességgel mozog az S rögzített rendszerhez képest a közös $O'Y'$ és OY tengelyek mentén, azok pozitív irányításába, miközben az $O'X'$ és OX tengelyek párhuzamosak, egy síkban vannak és azonos irányításúak, az $O'Z'$ és OZ tengelyek párhuzamosak, egy síkban vannak és azonos irányításúak.

A kezdeti időpillanatban a két TR O és O' kezdőpontjai egybeestek, és ekkor a két egybeeső kezdőpontban található megfigyelők saját óráikat szinkronizálták, úgy, hogy ezek kijelzései azonosak legyenek, $t = t' = 0$. A kezdeti időpillanat után az órák kijelzései különböznek, $t > t'$.



II.1. ábra

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

a) Feltételezve, hogy $v' = c$, azaz az M mozgó test egy F Foton, amelynek az S' mozgó rendszer kezdőpontjában található O' megfigyelőhöz viszonyított sebessége a fénysebesség légüres térben, **határozd meg**, a sebességek összetevésére érvényes szabályt alkalmazva, az M mozgó test v sebességét (az F Foton sebességét) az S rögzített rendszer kezdőpontjában található O megfigyelőhöz képest.

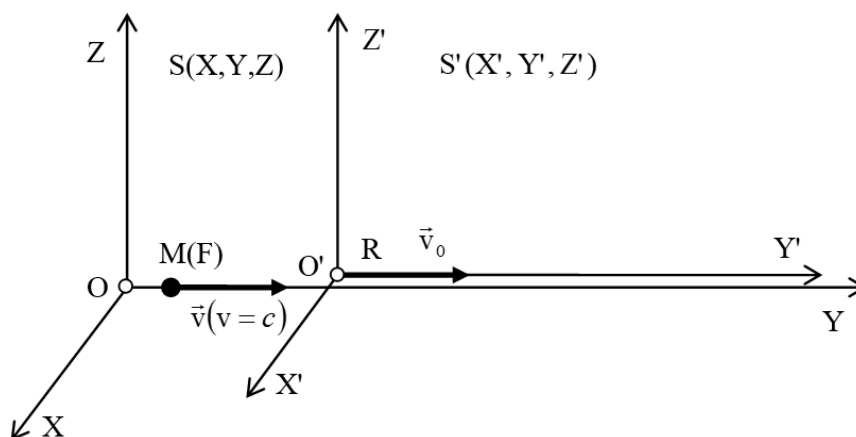
Ismertek a speciális Lorentz – transzformációs összefüggések:

$$x = x'; y = \frac{y' + v_0 t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; z = z'; t = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} y'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}},$$

azaz azok az összefüggések, amelyek lehetővé teszik egy M anyagi pont helyzeti koordinátáinak, térbeli és időbeli, kiszámítását, egy S rögzített rendszerhez képest, ismerve ugyanazon M anyagi pont helyzeti koordinátáit, térbeli és időbeli, egy mozgó S' rendszerhez képest, amely az S rendszerhez képest egyenes vonalú, egyenletes mozgást végez $\vec{v}_0$ sebességgel, amint a II. 1. ábrán megadott rajz mutatja.

b) Feltételezve, hogy az S' mozgó rendszer, amelyben az O' megfigyelő található, a rögzített S rendszer kezdőpontjában található O megfigyelőhöz képest egyenes vonalú, egyenletes mozgással, $v_0 = c$ sebességgel mozdul el az OY tengely mentén, annak pozitív irányításába, és, hogy az M mozgó test, amely az S' rendszer kezdőpontjában található O' megfigyelőhöz képest az $O'Y'$ tengely mentén mozdul el, annak pozitív irányításába, egy F Foton, amelynek sebessége az S' rendszer kezdőpontjában található O' megfigyelőhöz képest $v' = c$, **határozd meg**, a sebességek összetevésére érvényes szabályt alkalmazva, az F Foton sebességét a rögzített S rendszerben található O megfigyelőhöz képest.

c) Feltételezzük, hogy az S' mozgó rendszer egy Rakéta (R), amelyet a mozgó S' rendszer O' kezdőpontjába helyeztek, az $O'Y'$ tengely mentén. A Rakétában az O' megfigyelő található, aki a rögzített S rendszer kezdőpontjába helyezett O megfigyelőhöz képest a II. 2. ábrán megadott rajz szerint mozdul el, az OY tengely mentén, a megadott feltételek mellett, azaz egyenes vonalú, egyenletes mozgással, $\vec{v}_0$ sebességgel. Továbbá feltételezve, hogy az M mozgó test, amely az S rögzített rendszer kezdőpontjában található O megfigyelőhöz képest az OY tengely mentén mozdul el, annak pozitív irányításába egy F Foton, amelynek sebessége az S rögzített rendszer kezdőpontjában található O megfigyelőhöz képest $\vec{v}$, ahol $v = c$, **határozd meg**, a sebességek összetevésére érvényes szabályt alkalmazva, az F Foton v' sebességét az S' mozgó rendszerben található O' megfigyelőhöz képest.



II.2. ábra

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

d) Egy P_2 és egy P_1 anyagi pont $\vec{v}_2$ és $\vec{v}_1$ sebességekkel mozog egy rögzített S tehetelenségi rendszerhez képest, két, egymást metsző irány mentén, amelyek egymással α szöget zárnak be. A P_2 anyagi pontnak a P_1 anyagi ponthoz képest vett relativisztikus relatív sebességének, $\vec{v}_{21,relativist}$, modulusát megadó összefüggés:

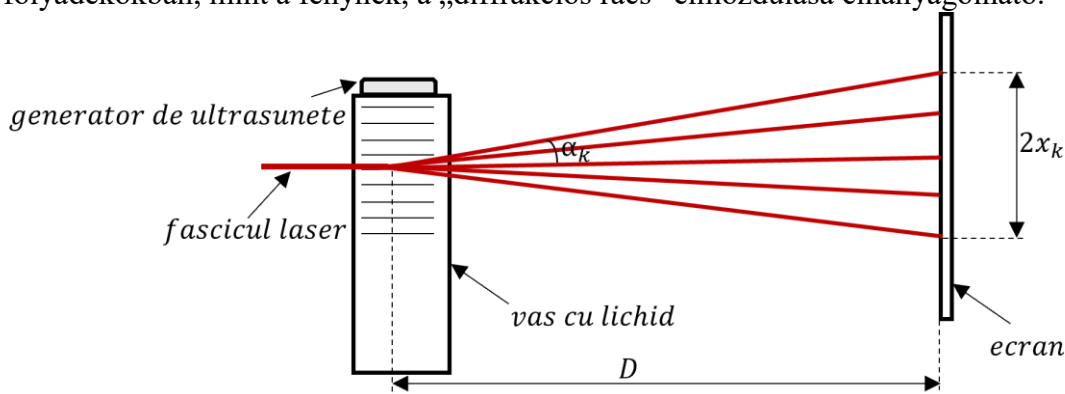
$$v_{21,relativist} = \frac{\sqrt{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)^2 - \frac{1}{c^2}(\vec{v}_2 \times \vec{v}_1)^2}}{1 - \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{c^2}}$$

Feltételezve, hogy a P_1 és P_2 anyagi pontok Fotonok, F_1 , illetve F_2 , és $v_1 = v_2 = c$, **határozd meg** az F_2 Foton relativisztikus relatív sebességet, $v_{21,relativist}$, az F_1 Fotonhoz képest.

e) Sajátos eset: Feltételezve, hogy a **d)** pontnál említett P_2 , illetve P_1 anyagi pontok nem két Foton, F_2 és F_1 , hanem két Atom, A_2 és A_1 , melyek sebessége a rögzített S tehetelenségi rendszerhez képest $v_2 \ll c$, illetve $v_1 \ll c$, **határozd meg** az A_2 Atom klasszikus relatív sebességét, $v_{21,clasic}$, az A_1 Atomhoz képest.

III. tétel: A Debye-Sears-effektus

A fény diffrakciójának jelenségét ultrahanghullámok által átszelt folyadékokban Debye és Sears kísérletileg igazolta 1932-ben. Az a kísérleti eszköz, melynek vázlatos rajzát a III.1. ábra mutatja be, egy folyadékban ultrahanghullámokat hoz létre, amelyek egyetlen irányban terjednek; az edény vége hangelnyelővel van ellátva, így az ultrahanghullámok nem verődnek vissza. Az ultrahangok periódikus változásokat hoznak létre a folyadék törésmutatójában, a különbözőképpen összenyomott rétegek váltakozása révén. Amikor egy fénysugarat a folyadékba bocsátunk át, merőlegesen az ultrahangok terjedési irányára, a folyadék úgy viselkedik, mint egy diffrakciós rács, amely a mechanikai hullámok sebességével mozdul el. A diffrakciós rács állandója megfelel a folyadék két egymást követő maximálisan összenyomott rétege közötti távolságnak. Mivel az ultrahangoknak sokkal kisebb a sebessége folyadékokban, mint a fénynek, a „diffrakciós rács” elmozdulása elhanyagolható.



III.1. ábra

generator de ultrasunete-ultrahanggenerátor
fascicul laser-lézernyaláb

vas cu lichid-edény vízzel
ecran-ernyő

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

a) Az előző eszközt az ultrahangoknak 20°C -os etil-alkoholban történő terjedési sebességének meghatározására használják. A lézersugár hullámhossza $\lambda_l = 650\text{ nm}$, a diffrakciós rács és az ernyő közötti távolság $D = 105\text{ cm}$. Az ultrahanggenerátor frekvenciájának függvényében mért $2x_2$ távolságokra a III.1. táblázatba foglalt értékek adódtak.

a1) Vezesd le azokat az összefüggéseket, amelyek lehetővé teszik az ultrahang hullámhosszának és sebességének kiszámítását a rendelkezésedre álló adatok alapján.

a2) Töltsd ki a válaszlapon a III.1. táblázat üres oszlopait, ábrázold grafikusán a válaszlapon az ultrahang hullámhosszát a folyadékban (λ_{us}) a generátor rezgési periódusának függvényében, és a grafikon alapján határozd meg az ultrahang sebességét.

III.1. táblázat

Mérés ssz.	ν/MHz	$2x_2/\text{cm}$	$\lambda_{us}/\mu\text{m}$	$T/\mu\text{s}$
1	1,00	0,24		
2	2,00	0,48		
3	3,00	0,73		
4	4,00	0,97		
5	5,00	1,21		
6	6,00	1,45		
7	7,00	1,69		
8	8,00	1,94		
9	9,00	2,19		
10	10,00	2,42		

b) Az előző elrendezést használva tanulmányozzuk az ultrahang vízben való sebességének függését a legfontosabb paraméterektől: a sótartalomtól és a hőmérséklettől. Ugyanazt a $\lambda_l = 650\text{ nm}$ hullámhosszú lézert használjuk, az eszköz és az ernyő között ugyanaz a távolság, $D = 105\text{ cm}$, és az ultrahanggenerátort $\nu = 4,00\text{ MHz}$ frekvenciára állítjuk.

b1) Az ultrahang sebességének sótartalomtól való függése. A mérések eredményei a III.2. táblázatban találhatók.

III.2. táblázat

Mérés ssz.	Só tartalom (‰)	$2x_2/\text{cm}$	$v_{us}/(\text{m/s})$
1	0	0,738	
2	10	0,731	
3	20	0,725	
4	30	0,719	
5	40	0,713	

Töltsd ki a válaszlapon a táblázat üres oszlopait, ábrázold grafikusán a válaszlapon az ultrahang sebességének sótartalomtól való függését, és a grafikon alapján határozd meg az ultrahang sebességét a 35 ‰ só tartalmú óceáni vízben.

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.



b2) Az ultrahang sebességének hőmérséklettől való függése. A mérések eredményei a III.3. táblázatban találhatók.

III.3. táblázat

Mérés ssz.	$t/^{\circ}\text{C}$	$2x_2/\text{cm}$	$v_{us}/(\text{m/s})$
1	15	0,745	
2	20	0,737	
3	25	0,729	
4	30	0,724	
5	35	0,718	

Töltsd ki a válaszlapon a táblázat üres oszlopait.

A gyakorlatban az elemzett tartományban az ultrahang sebességének hőmérséklettől való függését lineárisnak tekintik. Ezt figyelembe véve, ábrázold grafikusán a válaszlapon az ultrahang sebességének hőmérséklettől való függését, és a grafikon alapján határozd meg a sebesség, 1°C hőmérsékletváltozásnak megfelelő, átlagos változását.

A tételeket javasolták:

prof. Liviu BLANARIU, CNCE, București - coordonator

prof. dr. Gabriel FLORIAN – Colegiul Național „Carol I”, Craiova, Dolj

prof. dr. Mihail SANDU – Societatea Română de Fizică, Călimănești, Vâlcea

prof. Viorel SOLSCHI, Colegiul Național „Mihai Eminescu”, Satu Mare

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

III. TÉTEL

pagina 1 din 2

a2)

Mérés ssz.	ν/MHz	$2x_2/\text{cm}$	$\lambda_{us}/\mu\text{m}$	$T/\mu\text{s}$
1	1,00	0,24		
2	2,00	0,48		
3	3,00	0,73		
4	4,00	0,97		
5	5,00	1,21		
6	6,00	1,45		
7	7,00	1,69		
8	8,00	1,94		
9	9,00	2,19		
10	10,00	2,42		

