

**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  $\lambda$  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	$\lambda$ / 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 rácssíkok 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.

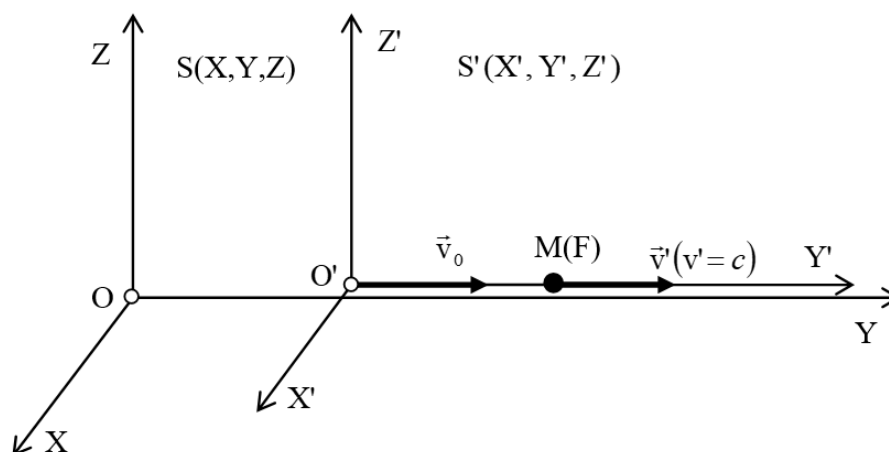
Az utolsó kísérletben  $\lambda'' = 2,48 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  hullámhosszú sugárzást használnak. A sugárzás egyik fotonja egy majdnem szabad elektronra esik, majd  $\theta = \pi/2$  rad szög alatt szóródik. A detektáló berendezés legalább  $1,00 \cdot 10^{-4}$  nagyságrendű relatív hullámhossz-változást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

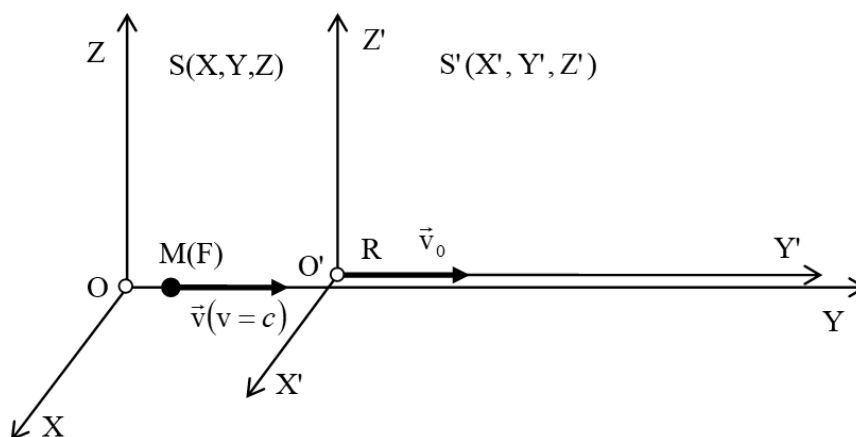
Ismertek a speciális Lorentz – transzformációs összefüggések:

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

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  $\alpha$  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:

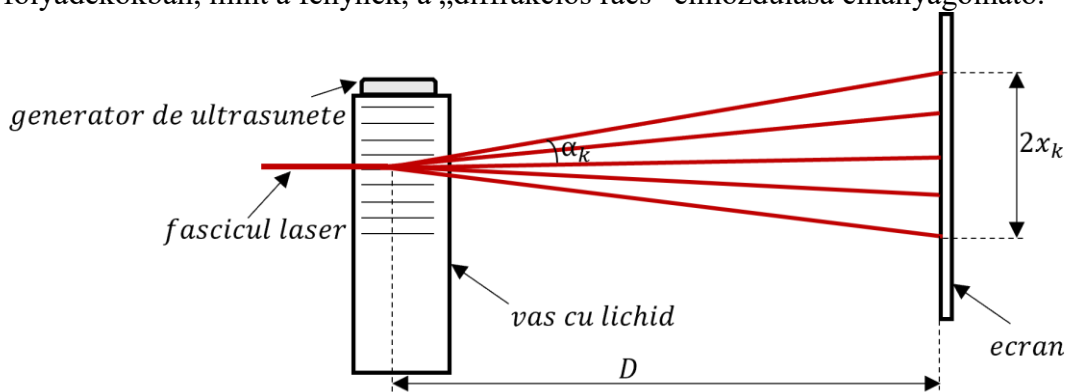
$$v_{21,relativist} = \frac{\sqrt{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)^2 - \frac{1}{c^2}(\vec{v}_2 \times \vec{v}_1)^2}}{1 - \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{c^2}}$$

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  $20^\circ\text{C}$ -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 ( $\lambda_{us}$ ) a generátor rezgési periódusának függvényében, és a grafikon alapján határozd meg az ultrahang sebességét.

III.1. táblázat

Mérés ssz.	$\nu/\text{MHz}$	$2x_2/\text{cm}$	$\lambda_{us}/\mu\text{m}$	$T/\mu\text{s}$
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.	Sótartalom (‰)	$2x_2/\text{cm}$	$v_{us}/(\text{m/s})$
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 ‰ sótartalmú 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,  $1^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletváltozásnak megfelelő, átlagos változását.

A tételleket 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.	$\nu/\text{MHz}$	$2x_2/\text{cm}$	$\lambda_{us}/\mu\text{m}$	$T/\mu\text{s}$
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		



**NE ÍRD ALÁ EZT A LAPOT!  
A LAPOT A DOLGOZATODHOZ CSATOLJÁK**

**b1) 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	

**b1)**

**b2) 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	

**b2)**