

Az elektroninterferencia

1. Az elektroninterferencia-berendezés működtetéséhez szükséges elemek:



TELTRON elektroncső



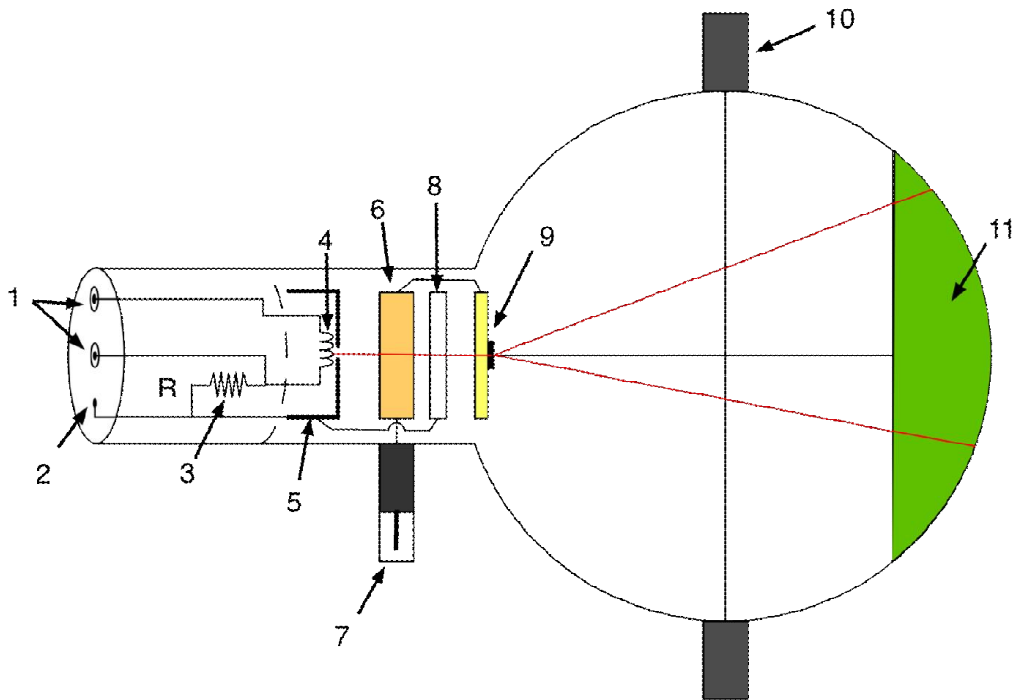
Tartóállvány



Nagyfeszültségű tápegység

A tartóállványba befogható elektroncső egy erősen légritkított, kb. 130 mm átmérőjű üveggömb, melynek nyúlványában egy izzított volfrám szálból és hengeres anódból álló elektronágyú helyezkedik el. Az elektronágyúból származó részecskék az elektronoptikai rendszernek köszönhetően keskeny, monoenergiás nyalábbá koncentrálódnak, áthaladnak egy mikro-hálózatos nikkellal, mely az elektronágyú kimeneténél helyezkedik el. Erre a rácsozatra egy vékony polikristályos grafitréteg van rápárolgatva. Ez a grafitréteg a rá eső elektronnyaláb szempontjából diffrakciós rácsként viselkedik (Debye-Scherrer módszer), és az elhajlás következményeként a rácstól kb. 130 mm távolságban lévő fluoreszkáló ernyőn két koncentrikus, fényes gyűrű jelenik meg. A gyűrűk közepében látható fényes foltot az el nem térült elektronok becsapódása okozza.

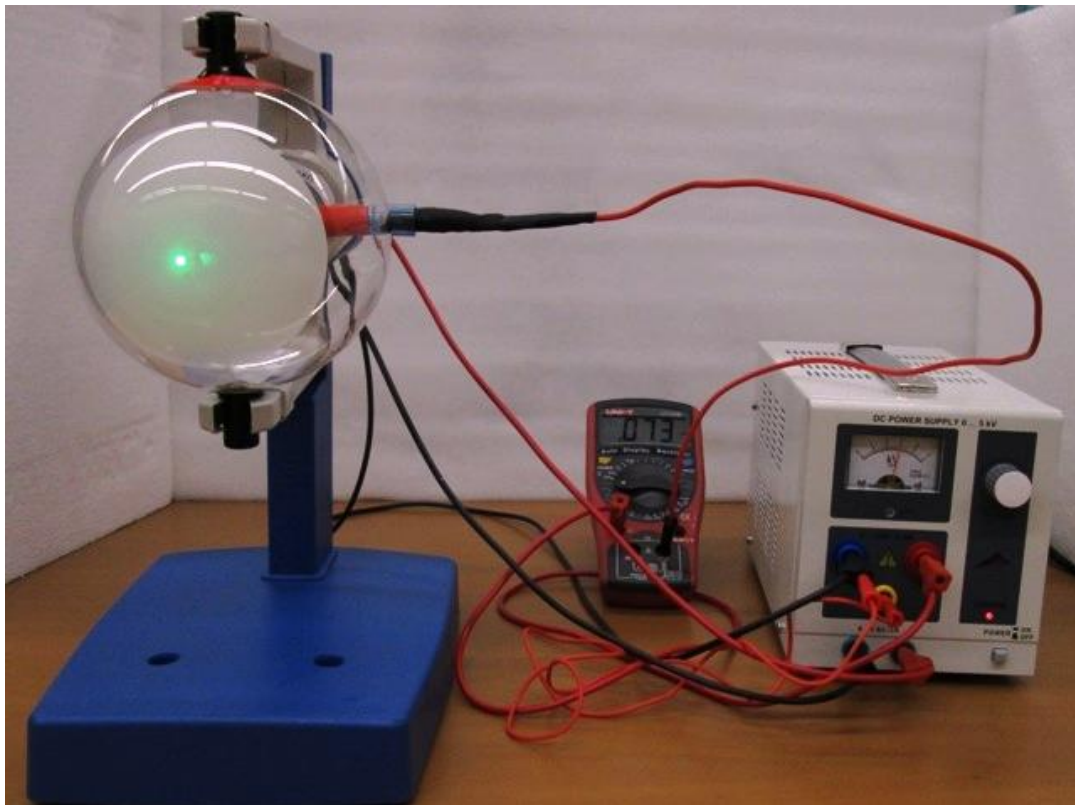
A cső segítségével adott anódfeszültség esetén az interferenciagyűrűk sugarának lemérésével meghatározható az elektronok de Broglie-féle hullámhossza, így különböző gyorsító feszültségek beállítása esetén vizsgálható az elektronok lendülete és hullámhossza közötti összefüggés is.



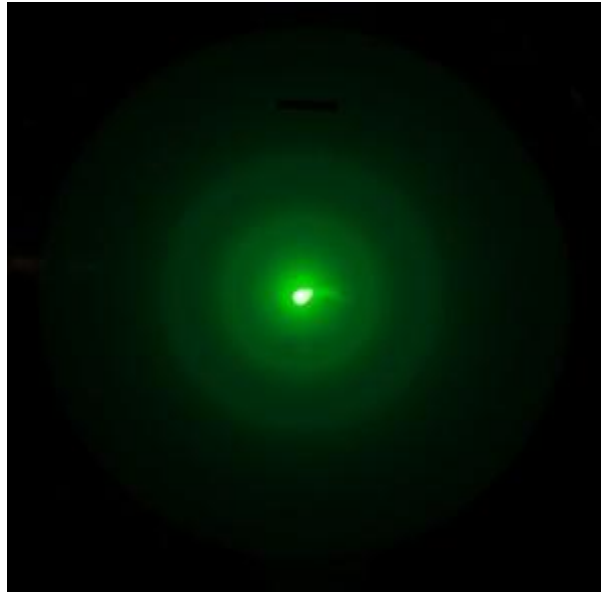
(1) 4 mm-es dugalj a fűtőszálhoz, (2) 2 mm-es dugalj a katódhoz, (3) belső ellenállás, (4) fűtőszál
(5) katód, (6) anód, (7) 4 mm-es dugalj az anódhoz, (8) fókuszáló elektróda, (9) polikristályos grafit
rács, (10) befogók, (11) fluoreszkáló ernyő.

(http://wanda.fiu.edu/teaching/courses/Modern_lab_manual/Electron_diffraction.html)

2. Mérési elrendezés



A tápegység bekapcsolása után körülbelül egy percet kell várni a fűtés beállításáig, majd rákapcsolhatjuk a csőre a 2-3 kV-os gyorsító feszültséget. Ezt követően megfelelően elsötétített helyiségben jól megfigyelhetők a kialakult interferenciagyűrűk.



Kapcsolási vázlat:

Figyelem!

A diffrakciós rácson lévő grafitréteg alig néhány molekula vastagságú. 0,2 mA-nél erősebb áram esetén megrongálódhat. Kísérlet közben folyamatosan ellenőrizni kell az anódfeszültséget és a grafit céltárgyat. Ha a grafitréteg parázslani kezd, vagy az elektronáram 0,2 mA fölé nő, az anódot azonnal le kell kapcsolni a tápegységről.

(A csőhöz egy mágneset is mellékel a gyártó, az elektronnyaláb eltérítése céljából, ha esetleg a használat során a grafit céltárgy a túlmelegedés miatt megsérülne.)

3. Elméleti háttér, a mérési adatok kiértékelése

Az interferencia jelenségének magyarázásához tekintsük a de Broglie-egyenlet alapján az elektronhoz rendelt λ hullámhosszat az I lendület függvényében:

$$\lambda = \frac{h}{I},$$

ahol $h=6,625 \cdot 10^{-34}$ Js a Planck-állandó. A lendület a munkatétel alapján a gyorsító feszültségből számítható:

$$e \cdot U = \frac{I^2}{2 \cdot m} \Rightarrow I = \sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U},$$

ahol $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C és $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, az elektron töltése, illetve nyugalmi tömege. (Az alkalmazott gyorsító feszültségek esetén a relativisztikus effektusok az eredményt elhanyagolható mértékben befolyásolják.)

Ezek alapján a hullámhossz:

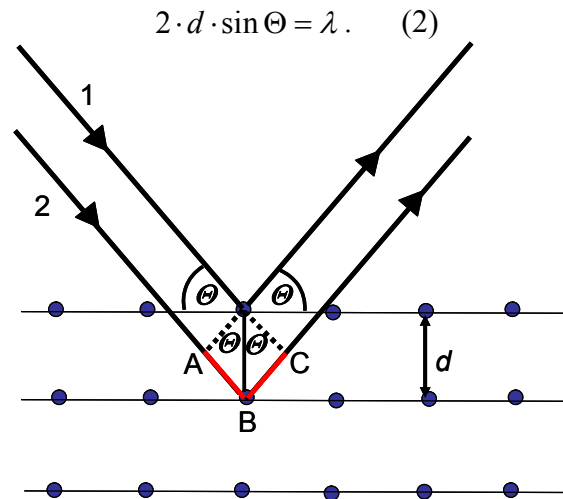
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U}}. \quad (1)$$

Amikor egy elektronnyaláb grafitkristályra esik, a gyengén tükröző rácssíkok periodikus rendszerén bekövetkező reflexió során az erősítési irányokra nézve a Bragg-feltételt alkalmazhatjuk:

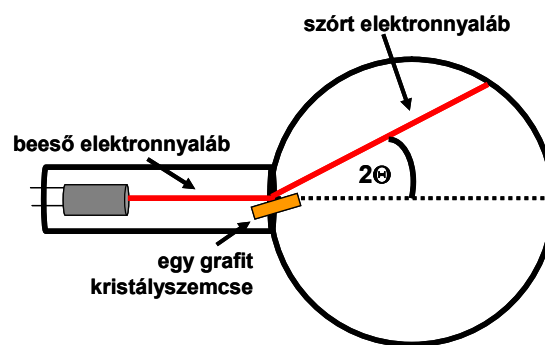
$$2 \cdot d \cdot \sin \Theta = n \cdot \lambda \quad (n = 1, 2, 3 \dots),$$

ahol λ az elektron hullámhossza, és Θ a Bragg-szög, az elektronnyaláb és a kristály síkja által bezárt szög, d pedig a grafit rácssíkjainak távolsága. (Az alábbi ábráról leolvashatóan az ABC törtvonal, azaz az útkülönbség hossza $\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sin \Theta$.)

Első erősítési irányban esetében

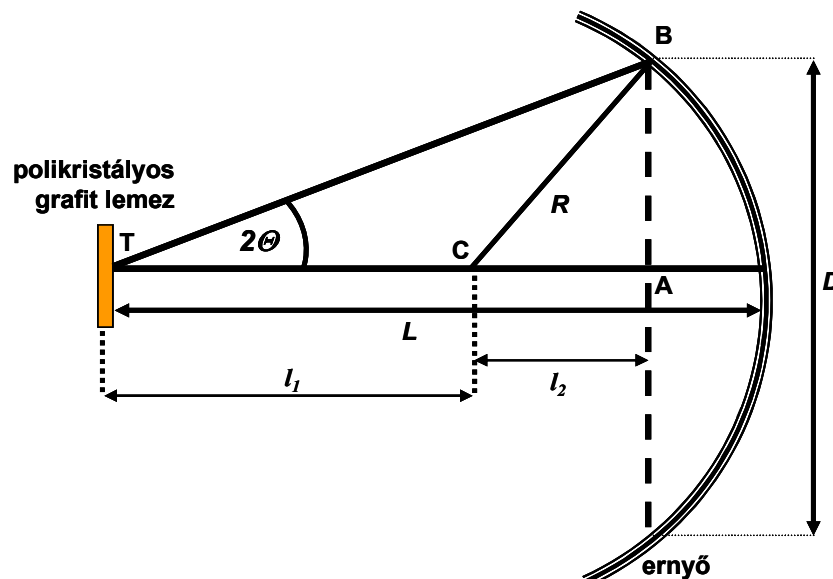


Az általunk használt elektronszó esetében a grafitra eső, majd azon szóródó, és az első erősítés irányában elhajló elektronnyaláb eredeti terjedési irányától való eltérülésének szöge kétszerese a Bragg-szögnek:



(Polikristályos grafitban az egyes kristályszemcsék orientációja véletlenszerű. Így az elektronnyaláb kúp alakban szóródik, és interferencia gyűrűt hoz létre a fluoreszkáló ernyőn.)

A mérési eredmények értelmezése céljából tekintsük át a kísérleti elrendezés geometriáját.





Az ábráról leolvashatóan

$$\operatorname{tg} 2\Theta = \frac{D}{2 \cdot (l_1 + l_2)},$$

ahol D az (első) interferenciagyűrű átmérője, l_1 a gömb középpontjának a grafitlemeztől mért távolsága, l_2 pedig a fluoreszkáló ernyőnek a gömb középpontjától mért távolsága.

E két utóbbi távolság a gömb $R=65$ mm-es sugarával összefüggésbe hozható:

$$l_1 = L - R$$
$$l_2 = \sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Itt $L=130$ mm, a grafitrács távolsága a gömbfelület átellenes pontjától. Így a nyaláb elhajlási szögének tangense

$$\operatorname{tg} 2\Theta = \frac{D}{2 \cdot \left(L - R + \sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \right)}.$$

Kis szögek esetében

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{és} \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} \approx 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

ezért kicsi Θ szögekre a (2) feltétel miatt kapjuk, hogy

$$2 \cdot d \cdot \sin \Theta = \lambda \Rightarrow \lambda = d \cdot 2 \cdot \sin \Theta \approx d \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \Theta \approx d \cdot \operatorname{tg} 2\Theta$$

$$\lambda = d \cdot \frac{D}{2 \cdot \left(L - R + \sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \right)}$$

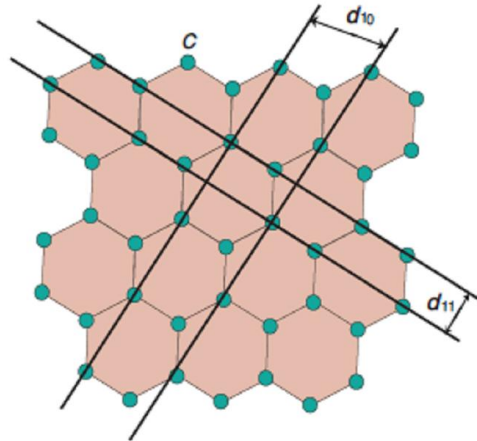
Ezzel a közelítéssel tehát kaptunk egy összefüggést a hullámhosszra.

Az eredmény elemzésével az is belátható, hogy ha kis elhajlási szöget hozunk létre (nagyobb gyorsító feszültséget alkalmazva), akkor a nevezőben R^2 mellett $D^2/4$ -et elhanyagolva a hullámhossz kiszámítható a

$$\lambda = \frac{d \cdot D}{2 \cdot L}$$

összefüggéssel is.

A fluoreszkáló ernyőn mindkét interferenciagyűrű első erősítési irányban alakul ki, ugyanis a grafit rácssíkjai közötti távolság $d_{10}=0,213$ nm, illetve $d_{11}=0,123$ nm (lásd az alábbi ábrát), és a kisebb sugarú gyűrű a nagyobb ráczállandójú, a nagyobb sugarú gyűrű pedig a kisebb ráczállandójú síkrendszerhez rendelhető.



(Verification of de Broglie's hypothesis by electron diffraction from graphite, Amrozia Shaheen and Muhammad Sabieh Anwar, LUMS School of Science and Engineering)

4. Mérési eredmények

U (V)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	λ (m)
4000	2,73	4,55	$1,920 \cdot 10^{-11}$
5000	2,37	4,09	$1,718 \cdot 10^{-11}$

5. Források:

- http://wanda.fiu.edu/teaching/courses/Modern_lab_manual/Electron_diffraction.html
- Verification of de Broglie's hypothesis by electron diffraction from graphite, Amrozia Shaheen and Muhammad Sabieh Anwar, LUMS School of Science and Engineering; physlab.lums.edu.pk/.../e/.../Electron_diffraction1nn.pdf
- Egy javasolt kísérlet a modern fizika tanításához: Elektrondiffrakció; project-physicsteaching.web.cern.ch/.../electron-diffraction-tube-hu.doc