



# XLVIII OLIMPIADA FIZYCZNA

(1998/1999)

## ZAWODY III STOPNIA

### CZĘŚĆ TEORETYCZNA

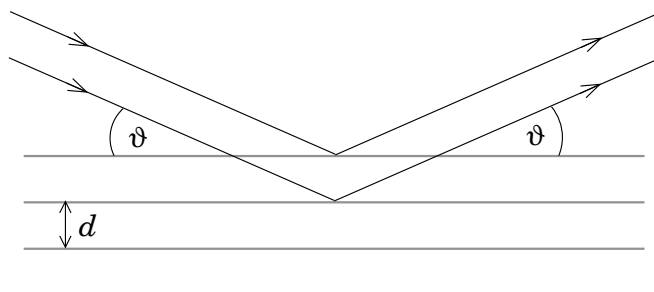
#### Zadanie teoretyczne – T3

**Nazwa** – Wyznaczenie odległości międzypłaszczyznowej polikryształu z obrazu dyfrakcji wiązki elektronów.

**Źródła** – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

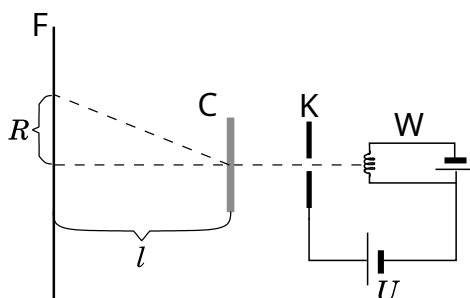
- Włodzimierz Ungier<sup>1</sup>, Andrzej Wyszomłek<sup>2</sup>, *Fizyka w Szkole* nr 1, 2000, s. 39–44
- Paweł Janiszewski<sup>3</sup>, Jan Mostowski<sup>4</sup> (red.), *50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami*. WN PWN, Warszawa 2002, zad. 124, s. 55–56, 176–177
- T.M. Molenda, IF US, [www.OF.szc.pl](http://www.OF.szc.pl).

Wiązka elektronów o jednakowej energii skierowana na kryształ ulega dyfrakcji wskutek odbicia od płaszczyzn atomowych, podobnie jak promieniowanie Roentgena. Szczególnie silne odbicie wiązki zachodzi dla niektórych kątów  $\vartheta$  (rys. 1), co jest wyrazem falowej natury materii.



Rys. 1

W pewnym eksperymencie, którego schemat jest przedstawiony na rys. 2, elektrony z ogrzanego włókna  $W$  są przyspieszane przez różnicę potencjałów  $U$  w kierunku kolimatora  $K$ .



Rys. 2 <sup>(5)</sup>

Utworzona w ten sposób wiązka elektronów pada na wykonaną ze złota, bardzo cienką, polikrystaliczną folię C. Po przejściu przez nią tworzy obraz dyfrakcyjny na kliszy fotograficznej położonej w odległości  $l = 30$  cm od folii. Folia jest na tyle cienka, że zachodzą tylko jednokrotne odbicia od kryształów tworzących polikryształ. Na kliszy F powstaje szereg koncentrycznych pierścieni o różnych promieniach odpowiadających kątom, dla których zachodzi silne odbicie wiązki elektronowej.

W tabeli 1 podano wyniki pomiarów napięcia przyspieszającego  $U$  i odpowiadającego mu promienia  $R$  najmniejszego pierścienia dyfrakcyjnego. Podane wyniki pomiarów odnoszą się do jednego zespołu płaszczyzn atomowych o odległości międzypłaszczyznowej  $d$ .

Tabela 1

$U$ , V	$2R$ , cm
58 000	1,50
55 000	1,58
44 000	1,75
33 700	2,00
21 000	2,40

Wyznacz odległość  $d$ , wiedząc, że każda płaszczyzna danego zespołu płaszczyzn atomowych odbija wiązkę elektronów jak zwierciadło, niezależnie od kąta padania wiązki. (Płaszczyzn atomowych nie należy utożsamiać z powierzchniami ograniczającymi folię).

Zaniedbaj efekty relatywistyczne.

Stała Plancka  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J  $\cdot$  s, masa elektronu  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg, ładunek elektronu  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

<sup>1</sup> Włodzimierz Ungier (wówczas dr) był sekretarzem naukowym ds. zadań teoretycznych w KGOF od XL OF do XLXIX OF, w tym okresie był współautorem artykułów w *Fizyce w Szkole* z OF i książki *Wybrane zadania z 43 olimpiad fizycznych* (laureat XIV OF) (przyp. red.).

<sup>2</sup> Andrzej Wymolek był sekretarzem naukowym ds. zadań doświadczalnych w KGOF: XLIII–XLVIII OF (wówczas dr), LII–LX OF; w tym okresie był współautorem artykułów w *Fizyce w Szkole* z OF, do czasu ich publikowania w tym czasopiśmie, tj. do LV OF. Od LXIX OF pełni funkcję Przewodniczącego KGOF. Opracowane zad. na zawody OF w postaci edytowalnych plików były przez sekretarza (AW) udostępniane sekretarzowi KO w Szczecinie (TM), co bardzo ułatwiło umieszczenie zad. w bazie na stronie [www.OF.szc.pl](http://www.OF.szc.pl) (przyp. red.).

<sup>3</sup> Dr Paweł Janiszewski – Kierownik Organizacyjny Olimpiady Fizycznej od XLII OF do LVIII OF; był autorem artykułów w *Fizyce w Szkole* (do czasu ich publikowania w tym czasopiśmie, tj. do LV OF), dot. informacji o przebiegu i wynikach olimpiad fizycznych; współautorem ww. książki z zadaniami (przyp. red.).

<sup>4</sup> Prof. dr hab. Jan Mostowski był sekretarzem naukowym ds. zadań w KGOF od XXXVIII OF do XXXIX OF, od L OF do LX pełnił funkcję Przewodniczącego KGOF a od LXIX – wiceprzewodniczący KGOF; był autorem artykułów w *Fizyce w Szkole* z OF, współautorem ww. książki z zadaniami (przyp. red.).

<sup>5</sup> Rys. przy opracowaniu zadania do bazy KGOF został uzupełniony w stosunku do zamieszczonego w wersji cyfrowej źródła *50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami* (przyp. red.).

## Rozwiązanie zadania T3 – XLVIII OF, III stopień, część teoretyczna

Z warunku Bragga

$$2d \sin \vartheta = n\lambda, \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

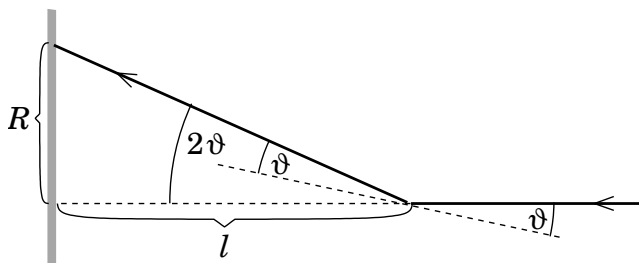
otrzymujemy dla  $n = 1$  (czemu odpowiada najmniejsza wartość  $\vartheta \neq 0$ )

$$\lambda = d \cdot 2 \sin \vartheta \cong d \cdot 2\vartheta, \quad (2)$$

gdzie skorzystaliśmy z przybliżenia dla małych kątów  $\sin \vartheta \approx \vartheta$ .

Pierścień dyfrakcyjny o promieniu  $R$  powstaje na ekranie dzięki promieniom odbitym od tych kryształów złota, których płaszczyzny są zorientowane pod odpowiednim kątem względem wiązki padającej (rys. 3), tak że zachodzi związek

$$2\vartheta = \frac{R}{l}. \quad (3)$$



Rys. 3

Z równań (2) i (3) otrzymujemy

$$d = \lambda \frac{l}{R}. \quad (4)$$

Długość fali de Broglie'a spełnia równanie

$$h = \lambda p, \quad (5)$$

gdzie pęd elektronu  $p = mv$  obliczamy ze wzoru

$$\frac{p^2}{2m} = eU, \quad (6)$$

skąd mamy

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}. \quad (7)$$

Po podstawieniu (7) do wzoru (4) otrzymujemy ostatecznie

$$d = \frac{hl}{R\sqrt{2meU}}. \quad (8)$$

Wartość odległości  $d$  obliczamy jako średnią z kilku pomiarów. Wyniki obliczeń przedstawia tabela 2.

Tabela 2

$U, \text{ V}$	$2R, \text{ cm}$	$\vartheta, \text{ rad}$	$\lambda, 10^{-12} \text{ m}$	$d = \lambda/(2\vartheta), 10^{-10} \text{ m}$
58 000	1,50	0,013	5,078	1,95
55 000	1,58	0,013	5,215	2,01
44 000	1,75	0,015	5,831	1,94
33 700	2,00	0,017	6,662	1,96
21 000	2,40	0,020	8,440	2,11

Stąd, wartość średnia  $d_{\text{sr}} = 1,99 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ .