S. Gułkowski, I. Jóźwik, M. Żurawicz

PROMIENIOWANIE I STRUKTURA MATERII

Instrukcje wykonania zadań na zajęciach laboratoryjnych z fizyki

Zestaw instrukcji przygotowano na podstawie skryptu PL:

Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii. H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K, Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994

oraz literatury podanej w instrukcjach.

SPIS TREŚCI:

J 1.1. Wyznaczanie widm scyntylacyjnych promieniowania γ 3
J 1.2. Wyznaczanie krzywej cechowania spektrometru scyntylacyjnego 6
J 2.1. Wyznaczanie współczynników osłabienia promieniowania γ 9
J 3.1. Wyznaczanie charakterystyki licznika G-M 12
J 3.2. Wyznaczanie czasu rozdzielczego licznika G-M 14
J 4.1. Wyznaczanie bezwzględnej aktywności preparatu β-promieniotwórczego 16
J 4.2. Wyznaczanie współczynnika osłabienia oraz energii maksymalnej promieniowania β 19
J 5.1. Statystyczny charakter rozpadu promieniotwórczego. Rozkład Poissona 22
J 10.1. Wyznaczanie względnej czułości widmowej fotorezystorów 24
J 10.2. Pomiar charakterystyk statycznych fotorezystorów 28
J 11.1. Wyznaczanie indukcji magnetycznej elektromagnesu przy pomocy teslomierza Hallotronowego 32
J 11.2. Wyznaczanie stałej Halla z zależności napięcia Halla od indukcji magnetycznej 34
J 11.3. Wyznaczanie stałej Halla z zależności napięcia Halla od natężenia prądu zasilającego hallotron 37
J 11.4. Wyznaczanie rezystancji poprzecznej hallotronu 40
J 13.1. Ogniwa słoneczne. Wyznaczanie charakterystyk ogniw słonecznych 43

J 1.1. Wyznaczanie widm scyntylacyjnych promieniowania γ

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Powstawanie i własności promieniowania γ
2. Oddziaływanie promieniowania γ z materią
3. Widma scyntylacyjne promieniowania γ
4. Spektrometr scyntylacyjny promieniowania γ: zasada działania, zdolność rozdzielcza

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K, Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
3. A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN, Warszawa, 1978.

Wykonanie zadania:

Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z typowym kształtem widm impulsów otrzymywanych za pomocą scyntylacyjnego spektrometru γ oraz wyznaczenie jego zdolności rozdzielczej.

W przypadku pomiaru przy pomocy liczników scyntylacyjnych energii kwantów γ emitowanych przez preparat promieniotwórczy, trzeba określać nie tylko liczbę impulsów, lecz również ich wysokość. Do wydzielania impulsów o amplitudzie przekraczającej pewną określoną wysokość U_p stosuje się dyskryminatory amplitudy. Zależność liczby impulsów od progowego napięcia dyskryminatora U_p, nazywa się widmem całkowym. Do wydzielania impulsów o amplitudzie zawartej w pewnym określonym przedziale ΔU_p (impulsy o amplitudzie większej od określonej wysokości $U_p - \frac{1}{2}\Delta U_p$, a mniejszej od $U_p + \frac{1}{2}\Delta U_p$) stosuje się analizator amplitudy. Napięcie U_p jest napięciem środka okienka, a ΔU_p jest szerokością okienka analizatora. Przy ustalonej szerokości okienka analizatora, zależność liczby impulsów od napięcia U_p środka okienka, nazywa się widmem różniczkowym.

Kształt widma różniczkowego jest związany z mechanizmem oddziaływania kwantów γ ze scyntylatorem. Dlatego takie widmo nie jest tak naprawdę widmem badanego promieniowania, lecz energetycznym widmem elektronów odrzutu. Jedna grupa elektronów odrzutu pochodzi ze zjawiska Comptona, druga od efektu fotoelektrycznego. Mimo że elektrony pochodzące ze zjawiska fotoelektrycznego są monoenergetyczne, to nie odpowiadają im impulsy o jednakowych amplitudach. Jest to związane ze statystycznym rozrzutem impulsów elektrycznych. Dlatego maksimum fotoelektryczne występujące w widmie różniczkowym ma pewną skończoną szerokość. Szerokość maksimum fotoelektrycznego mierzona w połowie jego wysokości ΔU odniesiona do położenia U jego środka:

$$R = \frac{\Delta U}{U} 100\% \qquad (1)$$

jest zdolnością rozdzielczą spektrometru scyntylacyjnego. Zdolność rozdzielcza decyduje o możliwości rozróżnienia energii kwantów γ.

W celu zmierzenia widm scyntylacyjnych należy:

1. Uruchomić stanowisko pomiarowe zgodnie z instrukcją techniczną.
2. Przy rejestrowaniu widm różniczkowych należy używać analizatora jako dyskryminatora okienkowego (patrz instrukcja techniczna).
3. Wartość napięcia szerokości okienka ΔU_p nastawić na 100 mV.
4. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie preparatu ^{137}Cs w domku pomiarowym.
5. Wzmocnienie na wzmacniaczu liniowym WL-41 dobrać tak, aby nie było mniejsze niż 64.
6. Rejestrować widmo różniczkowe ^{137}Cs w sposób następujący: zmieniając wartość napięcia U_p odpowiadającą środkowi okienka o podaną wartość, dokonywać odczytu ilości zliczeń impulsów w danym przedziale czasu (np. 10 s).
7. Pomiary można uznać za zakończone, gdy szybkość zliczeń spadnie poniżej 1 imp./s.
8. Jeśli położenie maksimum fotoelektrycznego w otrzymanym widmie występuje w zakresie $3{,}5\ V < U_p < 4{,}5\ V$, oznacza to, że jest dobrze dobrane wzmocnienie impulsów.
9. Jeśli położenie maksimum fotoelektrycznego występuje przy napięciach $U_p < 3{,}5$ V, należy zwiększyć wzmocnienie.
10. Jeśli położenie maksimum fotoelektrycznego występuje przy napięciach $U_p > 4{,}5$ V, należy zmniejszyć wzmocnienie.
11. Po dobraniu wzmocnienia wyznaczyć widmo ^{137}Cs przy szerokości okienka 100 mV w sposób podany w punkcie 6.
12. Wyznaczyć widmo różniczkowe ^{137}Cs w zakresie napięć odpowiadających maksimum fotoelektrycznemu przy szerokości okienka większej niż 100 mV np. 200 mV.
13. Pomiary przeprowadzić dla kilku szerokości okienka, zalecanych przez prowadzącego zajęcia.

Opracowanie wyników:

1. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzić wykres widma różniczkowego ^{137}Cs, mierzonego przy szerokości okienka analizatora równej 100 mV.
2. Opisać kształt widma ^{137}Cs tzn. określić która jego część jest związana z efektem Comptona, a która ze zjawiskiem fotoelektrycznym.
3. Sporządzić wykresy fragmentów widm odpowiadających zjawisku fotoelektrycznemu (maksimum fotoelektryczne) dla różnych szerokości okienka analizatora.
4. Korzystając ze wzoru (1) obliczyć zdolność rozdzielczą spektrometru scyntylacyjnego przy różnych szerokościach okienka.
5. Dla każdego widma obliczyć dla kilku punktów błąd statystyczny i nanieść na wykresie.

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 1.2. Wyznaczanie krzywej cechowania spektrometru scyntylacyjnego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Powstawanie i własności promieniowania γ
2. Oddziaływanie promieniowania γ z materią
3. Widma scyntylacyjne promieniowania γ
4. Spektrometr scyntylacyjny promieniowania γ: zasada działania.

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K, Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom 2.
3. A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN, Warszawa, 1978

Wykonanie zadania:

Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z typowym kształtem widm impulsów otrzymywanych za pomocą scyntylacyjnego spektrometru γ oraz jego wycechowanie.

Wycechowanie spektrometru scyntylacyjnego jest konieczne w przypadku, gdy ma on służyć do pomiaru energii kwantów γ emitowanych przez preparat promieniotwórczy. Trzeba wtedy mierzyć nie tylko liczbę impulsów wychodzących z licznika scyntylacyjnego wchodzącego w skład spektrometru, lecz również ich wysokość. Do wydzielania impulsów o amplitudzie zawartej w pewnym określonym przedziale ΔU_p (impulsy o amplitudzie większej od określonej wysokości $U_p - \frac{1}{2}\Delta U_p$, a mniejszej od $U_p + \frac{1}{2}\Delta U_p$) stosuje się analizator amplitudy. Napięcie U_p jest napięciem środka okienka, a ΔU_p jest szerokością okienka analizatora. Zależność liczby impulsów od napięcia U_p środka okienka analizatora nazywa się widmem różniczkowym (przy ustalonej szerokości okienka).

Kształt widma różniczkowego jest związany z mechanizmem oddziaływania kwantów γ ze scyntylatorem. Dlatego takie widmo nie jest tak naprawdę widmem badanego promieniowania, lecz energetycznym widmem elektronów odrzutu. Jedna grupa elektronów odrzutu pochodzi ze zjawiska Comptona, druga od efektu fotoelektrycznego. Mimo że elektrony pochodzące ze zjawiska fotoelektrycznego są monoenergetyczne, to nie odpowiadają im impulsy o jednakowych amplitudach. Jest to związane ze statystycznym rozrzutem impulsów elektrycznych. Dlatego maksimum fotoelektryczne występujące w widmie różniczkowym ma pewną skończoną szerokość. Graficzna zależność między wartościami napięcia środka okienka U_p odpowiadającymi szczytom maksimów fotoelektrycznych i odpowiednimi energiami E kwantów γ nazywa się krzywą cechowania spektrometru scyntylacyjnego.

W tym ćwiczeniu należy zmierzyć widma różniczkowe kilku preparatów promieniotwórczych o znanych energiach kwantów γ, zinterpretować otrzymane widma i następnie sporządzić krzywą cechowania spektrometru scyntylacyjnego.

W celu zmierzenia widm scyntylacyjnych należy:

1. Uruchomić stanowisko pomiarowe zgodnie z instrukcją techniczną.
2. Przy rejestrowaniu widm różniczkowych należy używać analizatora jako dyskryminatora okienkowego (patrz instrukcja techniczna).
3. Wartość napięcia szerokości okienka ΔU_p nastawić na 100 mV.
4. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie preparatu ^{137}Cs w domku pomiarowym.
5. Wzmocnienie na wzmacniaczu liniowym WL-41 dobrać tak, aby nie było mniejsze niż 32.
6. Rejestrować widmo różniczkowe ^{137}Cs w sposób następujący: zmieniając wartość napięcia U_p odpowiadającą środkowi okienka o podaną wartość, dokonywać odczytu ilości zliczeń impulsów w danym przedziale czasu (np. 10 s).
7. Pomiary można uznać za zakończone, gdy szybkość zliczeń spadnie poniżej 0,5 imp./s.
8. Jeśli położenie maksimum fotoelektrycznego w otrzymanym widmie występuje w zakresie 2,0 V< U_p < 2,5 V oznacza to, że jest dobrze dobrane wzmocnienie impulsów.
9. Jeśli położenie maksimum fotoelektrycznego występuje przy napięciach U_p < 2 V, należy zwiększyć wzmocnienie.
10. Jeśli położenie maksimum fotoelektrycznego występuje przy napięciach U_p > 2,5 V, należy zmniejszyć wzmocnienie.
11. Po dobraniu wzmocnienia można przystąpić do dalszych pomiarów.
12. Zmierzyć widma różniczkowe pozostałych preparatów promieniotwórczych.

<u>Opracowanie wyników:</u>

1. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzić wykresy widm różniczkowych badanych preparatów.
2. Zinterpretować kształty zmierzonych widm różniczkowych tzn. określić które ich części są związane z efektem Comptona, a które ze zjawiskiem fotoelektrycznym
3. Odczytać ze zmierzonych widm różniczkowych wartości napięć środka okienka U_p odpowiadających szczytom maksimów fotoelektrycznych. Następnie przyporządkować

odczytanym wartościom U_p odpowiednie energie E kwantów γ . Energie kwantów γ podane są w tabeli 1.

4. Sporządzić krzywą cechowania spektrometru scyntylacyjnego tzn. zależność wartości napięć środka okienka U_p odpowiadających szczytom maksimów fotoelektrycznych od energii E kwantów γ. Równanie opisujące tę zależność należy obliczyć metodą najmniejszych kwadratów (równanie prostej). Należy również obliczyć niepewności wyznaczania współczynnika kierunkowego i wyrazu wolnego, występujących w tym równaniu.

Tabela 1

Lp.	izotop	Energia kwantów γ [MeV]
1	^{133}Ba	0,32
2	^{137}Cs	0,661
3	^{60}Co	1,17 1,33
4	^{22}Na	0,51 1,28

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 2.1. Wyznaczanie współczynników osłabienia promieniowania γ

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

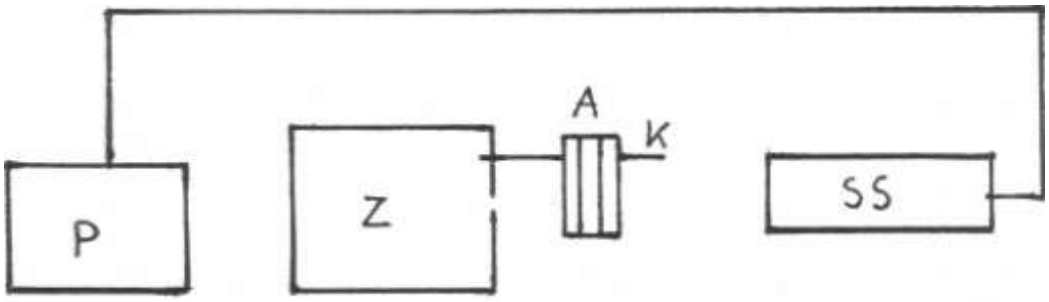
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Powstawanie i własności promieniowania γ
2. Oddziaływanie promieniowania γ z materią (fotoefekt, zjawisko tworzenia par, zjawisko Comptona)
3. Prawo osłabienia promieniowania γ, sens współczynnika absorpcji, masowy współczynnik absorpcji

Literatura:

1. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT, Warszawa 1996.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat układu pomiarowego. Z- źródło w osłonie ołowianej, K – pręt do zawieszania absorbentów, A – absorbenty, SS - sonda scyntylacyjna, P – przelicznik wraz z zasilaczem i dyskryminatorem

1. W ćwiczeniu należy wyznaczyć zależność natężenia promieniowania gamma przechodzącego przez warstwę absorbentu od grubości tej warstwy.
2. Natężenie promieniowania gamma, pochodzącego od źródła ^{137}Cs, mierzy się za pomocą sondy scyntylacyjnej, a odczytuje się na przeliczniku (Rys. 1).
3. Absorbenty zakłada się na pręt umieszczony pomiędzy źródłem promieniowania gamma i sondą scyntylacyjną (Rys. 1).
4. Przed przystąpieniem do pomiarów włączyć podzespoły zestawu pomiarowego zgodnie z instrukcją techniczną.
5. Pomiary rozpocząć od zerowej grubości absorbentu ($x = 0$), tzn. zmierzyć ilość zliczeń N_o w ciągu czasu t = 2 minuty nie zakładając na pręt żadnego absorbentu.
6. Zmierzyć suwmiarką grubość jednej płytki absorbentu i założyć ją na pręt. Zmierzyć ilość zliczeń N w ciągu czasu t = 2 minuty. Rodzaj absorbentu ustalić z prowadzącym zajęcia.
7. Następnie dokładać kolejne płytki, i każdorazowo mierzyć ilość zliczeń N w tym samym przedziale czasu. Pamiętać o zmierzeniu grubości kolejnych dokładanych płytek.

8. Grubość *x* absorbentu przy *n* płytkach jest równa sunie grubości poszczególnych płytek. Pamiętać o zapisaniu rodzaju materiału, z którego wykonano płytki.
9. Po wykonaniu pomiarów wyłączyć podzespoły – najpierw pokrętło „high tension" w przeliczniku przestawić na 0, dopiero później wyłączyć sieć (przełącznik „mains").

Opracowanie wyników pomiarów:

Liniowy współczynnik absorpcji promieniowania gamma dla danego materiału wyznacza się z prawa osłabienia:

$$N = N_o e^{-\mu x} \qquad (1)$$

gdzie: N - natężenie promieniowania, które przeszło przez warstwę absorbentu o grubości x;
N_o – natężenie promieniowania padającego na absorbent (przy x = 0);
μ - liniowy współczynnik absorpcji, który określa względną stratę natężenia promieniowania na jednostkę grubości warstwy.

Po zlogarytmowaniu stronami tego wyrażenia otrzymuje się inną postać prawa osłabienia:

$$\ln N = \ln N_o - \mu x . \qquad (2)$$

W półlogarytmicznym układzie współrzędnych (ln N, x) jest to równanie prostej o współczynniku kierunkowym, którego wartość bezwzględna jest równa μ a wyraz wolny równy $\ln N_o$.
Masowy współczynnik absorpcji jest stosunkiem liniowego współczynnika absorpcji do gęstości ρ absorbentu:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \text{ [cm}^2\text{/g]}. \qquad (3)$$

Masowy współczynnik absorpcji jest w przybliżeniu niezależny od rodzaju absorbentu, zależy natomiast od energii promieniowania gamma.

W celu wyznaczenia liniowego współczynnika absorpcji μ należy obliczyć logarytmy naturalne z natężenia promieniowania gamma dla kolejnych pomiarów i wyniki wstawić do tabeli:

l-ba pomiarów	x [cm]	N	ln N
1	0	N_o	
2			
….	….	….	….

Następnie należy:
1. Wykorzystując dane z tabeli obliczyć metodą najmniejszych kwadratów równanie prostej y = Ax + B, pamiętając że ln N = y, x jest grubością warstwy wyrażoną w cm.
2. Podać wartość liniowego współczynnika absorpcji μ , ustalić jego jednostkę. Podać także niepewność jego wyznaczania $\Delta\mu = \Delta A$.
3. Obliczyć wartość masowego współczynnika absorpcji ze wzoru (3) oraz niepewność jego wyznaczania $\Delta \mu_m$.

4. Na wykresie narysować prostą wg obliczonego równania i nanieść punkty doświadczalne.
5. Dla kilku punktów obliczyć bezwzględny błąd statystyczny. Nanieść na wykresie odcinki odpowiadające wartości tych błędów.

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 3.1. Wyznaczanie charakterystyki licznika Geigera-Müllera (G-M)

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Własności promieniowania α, β, i γ
2 Oddziaływanie promieniowania jądrowego z materią
3. Budowa i zasada działania licznika G-M
4. Rodzaje liczników, liczniki samogasnące i niesamogasnące

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
3. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1960, cz. VI.
4. A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1978.

Wykonanie zadania:

Charakterystyka licznika Geigera – Müllera to zależność liczby impulsów otrzymywanych z licznika od przyłożonego do jego elektrod napięcia, przy stałym natężeniu padającego na niego promieniowania. W charakterystyce licznika występuje pewien zakres napięć, w którym liczba impulsów jest prawie stała. Ta część charakterystyki nosi nazwę *plateau*. Napięcie pracy licznika wybiera się właśnie z obszaru *plateau*, zwykłe w jego połowie, gdyż nie trzeba wtedy stabilizować napięcia zasilającego licznik. Ważnym parametrem charakterystyki licznika jest nachylenie *plateau*. Małe nachylenie *plateau* oznacza, że niestabilność napięcia zasilającego ma niewielki wpływ na pracę licznika. Nachylenie *plateau* definiuje się jako względną zmianę częstości zliczeń przypadającą na jednostkową zmianę napięcia:

$$\eta = \frac{N_2 - N_1}{N_P} \cdot \frac{100\%}{U_2 - U_1} \qquad (1)$$

gdzie: N_p – częstość zliczeń odpowiadająca napięciu pracy licznika;
N_1 – częstość zliczeń przy napięciu U_1 odpowiadającym początkowi *plateau*;
N_2 – częstość zliczeń przy napięciu U_2 odpowiadającym końcowi *plateau*.

A **B** **C**

Rys.1 Stanowisko pomiarowe: A – przelicznik, B – zasilacz wysokiego napięcia , C – licznik Geigera - Müllera i źródło promieniowania γ.

1. Włączyć przyrządy zgodnie z instrukcją techniczną.
2. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie źródła promieniowania γ na podstawce pod licznikiem.
3. Stopniowo podwyższać napięcie zasilania licznika, obserwując jednocześnie wskazania przelicznika. W ten sposób znaleźć taką minimalną wartość napięcia, przy której przelicznik zaczyna rejestrować impulsy dochodzące z licznika. Jest to napięcie progowe U_{pr} licznika G – M. Zapisać znalezioną wartość napięcia progowego.
4. Podwyższać skokowo napięcie zasilające i każdorazowo rejestrować liczbę impulsów dochodzących do przelicznika w jednakowych przedziałach czasu. Skok napięcia, czas pojedynczego pomiaru i napięcie początkowe ustalić z osobą prowadząca zajęcia.
5. Pomiary zakończyć, gdy szybkość zliczania impulsów będzie dwukrotnie większa niż w obszarze *plateau*. **Wartość napięcia, którego nie wolno przekraczać jest podana w instrukcji technicznej.**

Opracowanie wyników

1. Na papierze milimetrowym sporządzić wykres zależności częstości zliczeń od napięcia przyłożonego do licznika.
2. Określić napięcie U_1 odpowiadające początkowi *plateau* i U_2 odpowiadające końcowi *plateau*.
3. Obliczyć metodą najmniejszych kwadratów równanie prostej opisującej *plateau* (tylko dla punktów odpowiadających zakresowi napięć $U_1 < U < U_2$):
   $N = aU + b$ (2)
4. Obliczone równanie wykorzystać do narysowania *plateau* na przygotowanym wcześniej wykresie.
5. Obliczyć nachylenie η *plateau*, biorąc pod uwagę, że wyrażenie $\frac{N_2 - N_1}{U_2 - U_1}$, występujące we wzorze (1) jest współczynnikiem kierunkowym a obliczonego wcześniej równania (2) . Wzór (1) sprowadza się do wyrażenia:

   $$\eta = \frac{a}{N_p} 100\% \quad , \qquad (3)$$

   które należy wykorzystać do obliczenia η.
6. Obliczyć długość *plateau* i ustalić napięcie pracy licznika.
7. Obliczyć niepewność wyznaczania nachylenia *plateau* metodą różniczkowania wyrażenia (3). Niepewność Δa współczynnika kierunkowego obliczyć metodą najmniejszych kwadratów, ΔN_p jest błędem statystycznym częstości zliczeń.

Autor instrukcji: Maria Żurawicz

J 3.2. Wyznaczanie czasu rozdzielczego licznika Geigera-Müllera (G-M)

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne

1. Własności promieniowania α, β, γ
2. Budowa i zasada działania licznika Geigera –Müllera
3. Rodzaje liczników, liczniki samogasnące i niesamogasnące
4. Czas rozdzielczy licznika

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
3. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1960, cz. VI.
4. A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1978.

Wykonanie zadania:

Licznik Geigera – Müllera nie może rejestrować cząstek lub kwantów γ w czasie, gdy jeszcze trwa wcześniej wywołany impuls. Najmniejszy odstęp czasu między impulsami, które licznik rejestruje jako oddzielne, nazywa się czasem rozdzielczym. Jeśli natężenie promieniowania padającego na licznik jest bardzo małe, wtedy prawie wszystkie cząstki lub kwanty γ zostaną zarejestrowane, ponieważ jest małe prawdopodobieństwo, że w przedziale czasu równym czasowi rozdzielczemu źródło wyemituje promieniowanie. Gdy natężenie promieniowania jest bardzo duże, licznik nie jest w stanie zarejestrować wszystkich cząstek lub kwantów γ – „gubi" je.

W celu wyznaczenia czasu rozdzielczego licznika Geigera – Müllera używa się dwóch źródeł promieniowania γ o zbliżonych do siebie aktywnościach. Natężenie promieniowania mierzone przez licznik od każdego ze źródeł osobno jest niewielkie i wynosi np. N_1 i N_2. Licznik powinien rejestrować wszystkie kwanty γ pochodzące od tych źródeł. Natomiast natężenie promieniowania mierzone przez licznik od obu źródeł jednocześnie jest bardzo duże i licznik nie jest w stanie rejestrować wszystkich kwantów – rejestruje wtedy natężenie promieniowania równe N_{12}, przy czym:

$$N_{12} < N_1 + N_2 .$$

Ta nierówność wynika z faktu, że przy dużym natężeniu promieniowania dużo kwantów γ dochodzi do licznika w przedziale czasu mniejszym niż czas rozdzielczy i nie są rejestrowane. Czas rozdzielczy licznika Geigera – Müllera wyraża się następującym wzorem:

$$\tau = \frac{2(N_1 + N_2 - N_{12} - N_{tl})}{(N_1 + N_2)\cdot N_{12}} \qquad (1)$$

gdzie:
N_1 – częstość zliczeń zarejestrowanych od źródła 1;
N_2 – częstość zliczeń zarejestrowanych od źródła 2;

N_{12} - częstość zliczeń zarejestrowanych od obu źródeł jednocześnie;
$N_{tł}$ - częstość zliczeń zarejestrowana bez źródła (tło pomiarowe).

A **B** **C**

Rys.1 Stanowisko pomiarowe: A – przelicznik, B – zasilacz wysokiego napięcia, C – licznik G-M i stolik pomiarowy.

1. Włączyć aparaturę zgodnie z instrukcją techniczną.
2. Ustalić z prowadzącym zajęcia czas trwania pojedynczego pomiaru.
3. Zmierzyć liczbę zliczeń w ustalonym przedziale czasu bez źródła (tło pomiarowe).
4. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie na stoliku pomiarowym źródła nr 1 i zmierzyć liczbę zliczeń.
5. Poprosić prowadzącego o dostawienie na stolik pomiarowy źródła nr 2 i zmierzyć liczbę zliczeń od obu źródeł.
6. Poprosić prowadzącego o zabranie źródła nr 1 i zmierzyć liczbę zliczeń od źródła nr 2.
7. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli:

	Liczba zliczeń	Czas pomiaru [s]	Częstość zliczeń [1/s]
tło			
I źródło			
I + II źródło			
II źródło			

9.Wyznaczyć niepewność pomiaru czasu rozdzielczego licznika metodą różniczkowania wzoru (1) uwzględniając, że ΔN_1 , ΔN_2 , ΔN_{12} i $\Delta N_{tł}$ są błędami statystycznymi częstości zliczeń.

<u>Autor instrukcji</u>:

Maria Żurawicz

J 4.1. Wyznaczanie bezwzględnej aktywności preparatu β–promieniotwórczego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Rozpad β
2. Własności promieniowania β
3. Prawo rozpadu promieniotwórczego
4. Aktywność promieniotwórcza

Literatura:

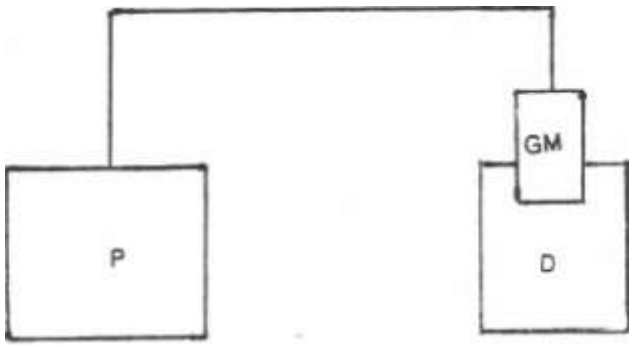
1. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT, Warszawa
2. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:

W ćwiczeniu należy wyznaczyć liczbę rozpadów A danego preparatu promieniotwórczego w jednostce czasu, czyli aktywność promieniotwórczą:

$$A = \frac{dN}{dt}, \qquad (1)$$

wyrażoną w bekerelach (Bq). Pomiary wykonać w sposób następujący:



Rys. 1 Układ pomiarowy. GM – licznik Geigera okienkowy, D – domek pomiarowy, P – przelicznik z zasilaczem wzmacniaczem i dyskryminatorem w jednej obudowie

1. Uruchomić układ pomiarowy wg instrukcji technicznej.
2. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie preparatu promieniotwórczego na stoliku, znajdującym się wewnątrz domku pomiarowego (Rys. 1). Zapisać rodzaj izotopu promieniotwórczego i numer źródła.
3. Ustawić stolik pomiarowy na wysokości h (zanotować). Jest to zarazem odległość preparatu od okienka licznika Geigera.
4. Mierzyć ilość zliczeń N w ciągu przedziału czasu Δt (przelicznik P).

5. Odległość preparatu od licznika, przedział czasu i liczbę powtórzeń pomiarów ustalić z prowadzącym zajęcia.
6. Poprosić prowadzącego zajęcia o wyjęcie preparatu.
7. Zmierzyć tło pomiarowe tzn. ilość zliczeń bez preparatu promieniotwórczego N_t w ciągu przedziału czasu ustalonego z prowadzącym zajęcia.
8. Wszystkie pomiary przeprowadzać przy zamkniętych drzwiczkach domku pomiarowego.

Opracowanie wyników pomiarów:

Przy pomiarach aktywności preparatu promieniotwórczego należy uwzględnić szereg czynników wpływających na wynik. Dlatego konieczne jest wprowadzenie do wzoru (1) odpowiednich poprawek.

Poprawka na tło

Obliczyć częstość zliczeń I_t pochodzących od tła :

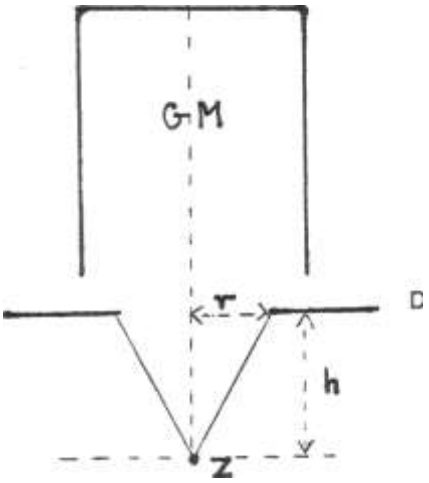
$$I_t = \frac{N_t}{\Delta t} \qquad (2)$$

Poprawka na geometrię pomiaru

Aktywność preparatu promieniotwórczego jest zdefiniowana jako liczba cząstek emitowanych ze źródła w pełny kąt bryłowy 4π. Do licznika dochodzą tylko te cząstki, które trafiają w kąt bryłowy ograniczony okienkiem przesłony umieszczonej przed licznikiem (Rys. 2). Poprawka na geometrię pomiaru wynosi:

$$\omega = 0{,}5\left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}}\right)$$

gdzie: h – odległość pomiędzy okienkiem licznika i preparatem;
r - promień okienka w przesłonie; r = 1,1 cm.



Rys. 2 Położenie licznika GM, przesłony D i preparatu promieniotwórczego Z

Poprawka K na pochłanianie i rozproszenie zwrotne

Ta poprawka uwzględnia następujące czynniki:

- Pochłanianie cząstek β w okienku licznika i w warstwie powietrza między źródłem a licznikiem.
- Pochłanianie cząstek β w samym preparacie promieniotwórczym (pochłanianie wewnętrzne).
- Rozpraszanie zwrotne od podkładki preparatu i ścianek domku pomiarowego.

Te wszystkie czynniki są zależne od konkretnych warunków pomiaru, a w szczególności od kąta bryłowego ω, a co za tym idzie od wysokości h. Wartości poprawki K są podane w Tabeli 1.

Po uwzględnieniu poprawek aktywność preparatu w Bq wyraża się następującym wzorem:

$$A = \frac{I - I_t}{\omega K} \qquad (3)$$

W celu opracowania pomiarów należy:

1. Obliczyć dla wszystkich pomiarów częstości zliczeń pochodzących od preparatu.
2. Obliczyć poprawkę na tło i na geometrię pomiaru, a poprawkę K odczytać z Tabeli 1.
3. Obliczyć aktywność preparatu wg wzoru (3).
4. Obliczyć niepewność pomiaru aktywności metodą różniczkowania, biorąc pod uwagę, że ω jest funkcją wysokości h. Przy obliczeniach należy uwzględnić niepewność pomiaru Δh, błąd statystyczny częstości zliczeń ΔI oraz ΔI_t.

Tabela 1
Poprawka na pochłanianie i rozproszenie zwrotne.

	^{14}C		^{204}Tl		^{90}Sr
h [cm]	*K*	*h [cm]*	*K*	*h [cm]*	*K*
1,4	0,541	1,5	0,765	1,5	0,710
1,6	0,542	2,0	0,890	2,0	0,810
1,8	0,543	2,5	0,935	2,5	0,890
2,0	0,544	3,0	0,960	3,0	0,940
2,2	0,546	3,5	0,975	3,5	0,970
2,4	0,548	4,0	0,985	4,0	0,990

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 4.2. Wyznaczanie współczynnika osłabienia oraz energii maksymalnej promieniowania β

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

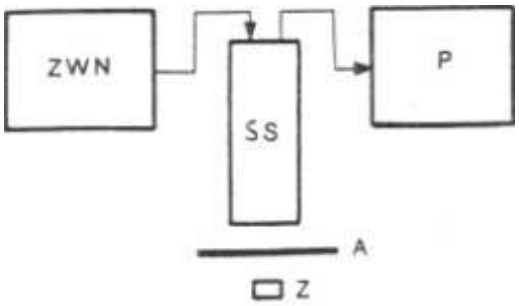
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Rozpad beta
2. Własności promieniowania β, widno energetyczne promieniowania β
3. Oddziaływanie promieniowania β z materią
4. Prawo osłabienia promieniowania β, liniowy i masowy współczynnik absorpcji

Literatura:

1. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT, Warszawa 1996.
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat aparatury pomiarowej. ZWN – zasilacz wysokiego napięcia, SS– sonda scyntylacyjna, P – przelicznik, wzmacniacz i dyskryminator progowy w jednej obudowie. A – absorbent, Z – źródło promieniowania beta

1. W ćwiczeniu należy wyznaczyć zależność natężenia promieniowania beta przechodzącego przez warstwę absorbentu od grubości tej warstwy. Do dyspozycji są następujące źródła β-promieniotwórcze: ^{204}Tl i ^{90}Sr. Absorbentem są cienkie folie aluminiowe. Natężenie promieniowania mierzy się za pomocą sondy scyntylacyjnej, a odczytuje się na przeliczniku P (Rys. 1).
2. Przed wykonaniem pomiarów włączyć aparaturę pomiarową wg instrukcji technicznej.
3. Po odczekaniu około 10 minut zmierzyć tło pomiarowe tzn. ilość zliczeń N_t w zadanym przedziale czasu w nieobecności źródła promieniowania.
4. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie źródła β na obrotowym talerzu tzw. prezenterze próbek.
5. Obrócić talerz o 180°, tak aby źródło β znalazło się pod detektorem.

6. Zmierzyć ilość zliczeń w zadanym przedziale czasu pochodzących od źródła nie osłoniętego foliami aluminiowymi. Cząstki β w tym przypadku są pochłaniane tylko przez warstwę powietrza znajdującą się miedzy źródłem a licznikiem i przez osłonę sondy scyntylacyjnej.
7. Obrócić prezenter próbek o 180°, umieścić jedną folię absorbentu w cylindrycznym pojemniku znajdującym się nad źródłem. Obrócić prezenter tak, aby źródło z absorbentem znalazło się pod detektorem. Zmierzyć ilość zliczeń w takim samym co poprzednio przedziale czasu.
8. Pomiary powtarzać dokładając kolejne folie absorbentu.
9. Pomiary zakończyć, gdy ilość zliczeń będzie tego samego rzędu co N_t.
10. Po zakończeniu pomiarów wyjąć z prezentera próbek pojemnik z foliami i poprosić prowadzącego zajęcia o wyjęcie źródła.
11. Wyniki zapisać w tabeli:

lp.	l-ba folii	N	R[g/cm^2]	ln N
1	0			
2	…			
…	…			

Tło pomiarowe: N_t = ….
Źródło β: ……

Opracowanie wyników pomiarów:

Liniowy współczynnik absorpcji promieniowania dla danego materiału wyznacza się z prawa osłabienia:

$$N = N_o e^{-\mu x} \qquad (1)$$

gdzie: N - natężenie promieniowania, które przeszło przez warstwę absorbentu o grubości x;
N_o – natężenie promieniowania padającego na absorbent (przy x = 0);
μ - liniowy współczynnik absorpcji, który określa względną stratę natężenia promieniowania na jednostkę grubości warstwy.

Logarytmując obie strony tego wyrażenia otrzymuje się inną postać prawa osłabienia:

$$\ln N = \ln N_o - \mu x . \qquad (2)$$

W półlogarytmicznym układzie współrzędnych (ln N, x) jest to równanie prostej o współczynniku kierunkowym, którego wartość bezwzględna jest równa μ a wyraz wolny równy $\ln N_o$.
Masowy współczynnik absorpcji jest stosunkiem liniowego współczynnika absorpcji do gęstości ρ absorbentu

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \text{ [cm}^2\text{/g]}. \qquad (3)$$

Masowy współczynnik absorpcji jest w przybliżeniu niezależny od rodzaju absorbentu, zależy natomiast od energii promieniowania.

W celu opracowania wyników pomiarów należy:

1. Obliczyć logarytmy naturalne z ilości zliczeń N dla kolejnych pomiarów.
2. Obliczyć grubość kolejnych warstw absorbentu R wg wzoru:

$$R = s + d\,\rho_p + n\,h\,\rho_{Al}, \qquad (4)$$

gdzie n oznacza ilość krążków z folii Al,
d = 3 cm, grubość warstwy powietrza między źródłem a detektorem;
h – grubość krążków z folii Al (podaje prowadzący zajęcia);
s = 0,001 g/cm^2, grubość osłony sondy scyntylacyjnej;
ρ_p – gęstość powietrza;
ρ_{Al} - gęstość aluminium.

Uwaga!
Wartości wstawiane do tego wyrażenia muszą mieć takie jednostki, aby grubość warstwy pochłaniającej R była wyrażona w g/cm^2. W fizyce jądrowej często nie podaje się rodzaju ośrodka ani jego gęstości i grubości warstwy oddzielnie, lecz iloczyn gęstości i grubości wyrażony w g/cm^2. Wielkość ta jest równa masie warstwy o podstawie jednostkowej – 1 cm^2.

3. Na papierze milimetrowym sporządzić układ współrzędnych: oś OX – R, oś OY - lnN .
4. Nanieść punkty doświadczalne (nie rysować wykresu).
5. Wybrać kilka pierwszych (kolejnych) punktów, które układają się na prostej.
6. Wykorzystując współrzędne wybranych punktów, obliczyć metodą najmniejszych kwadratów równanie opisujące prostą y = AR + B. Narysować na wykresie prostą wg obliczonego równania.
7. Podać wartość masowego współczynnika absorpcji promieniowania beta, który jest równy wartości bezwzględnej współczynnika kierunkowego A
$$\mu_m = |A|.$$
Podać także niepewność jego wyznaczania $\Delta\mu_m = \Delta A$.
8. Na tym samym wykresie narysować drugą prostą opisaną równaniem $\ln N = \ln N_t$. Znaleźć punkt przecięcia obu prostych. Współrzędna x-owa tego punktu jest maksymalnym zasięgiem R_{max} promieniowania beta pochodzących z badanego preparatu.
9. Znając R_{max} obliczyć maksymalną energię promieniowania beta E_{max}, korzystając z zależności między energią i zasięgiem maksymalnym:

$$E_{max}\ [\mathrm{MeV}] = 1{,}92\,(R_{max})^{0{,}725} \qquad \text{dla } 0{,}02\ \mathrm{g/cm^2} < R_{max} < 0{,}3\ \mathrm{g/cm^2},$$

$$E_{max}\ [\mathrm{MeV}] = 1{,}75\,R_{max} + 0{,}281 \qquad \text{dla } R_{max} > 0{,}4\ \mathrm{g/cm^2}.$$

Niepewność wyznaczania E_{max} obliczyć metodą różniczkowania odpowiedniego wzoru, biorąc pod uwagę dokładność odczytu R_{max} z wykresu.

<u>Autor instrukcji:</u>

Maria Żurawicz

J 5.1. Statystyczny charakter rozpadu promieniotwórczego. Rozkład Poissona

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne

1. Prawo rozpadu promieniotwórczego, jego statystyczny charakter
2. Funkcje rozkładu zmiennej losowej
3. Rozkład Poissona

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
4. A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1978.

Wykonanie zadania

Prawo rozpadu promieniotwórczego jest prawem statystycznym. Oznacza to, że wielokrotne obserwacje rozpadu tej samej liczby jąder atomowych w tym samym przedziale czasu Δt dają różną liczbę rozpadów. Każdej liczbie rozpadów N (przy danej średniej liczbie rozpadów $\bar{N}$) odpowiada określone prawdopodobieństwo P_N. W przypadku źródła promieniotwórczego o niewielkiej aktywności, to prawdopodobieństwo daje się opisać funkcją analityczną nazwaną rozkładem Poissona.

$$P_N = \frac{(\bar{N})^N}{N!} e^{-\bar{N}} \qquad (1)$$

Celem ćwiczenia jest doświadczalne wykazanie prawdziwości tego stwierdzenia. Doświadczenie polega na rejestrowaniu, za pomocą detektora promieniowania, liczby zliczeń pochodzących od źródła o bardzo małej aktywności (lub od promieniowania kosmicznego) w jednakowych przedziałach czasu, a następnie sprawdzeniu jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia konkretnej liczby zliczeń N.

1. Włączyć aparaturę zgodnie z instrukcją techniczną.
2. Poprosić prowadzącego zajęcia o umieszczenie źródła promieniotwórczego w domku pomiarowym (w dużej odległości od licznika).
3. Wybrać za pomocą przycisków na przeliczniku czas pojedynczego pomiaru równy 1 s.
4. Rejestrować liczbę zliczeń N w ciągu 1 s, powtarzając pomiary około 500 razy.
5. Obliczyć częstość m_n wystąpienia danej liczby zliczeń N („prawdopodobieństwo doświadczalne”) według wzoru:

$$m_n = \frac{n}{n_o} \qquad (2)$$

gdzie:
n_o – liczba wszystkich pomiarów;
n - liczba powtórzeń danej liczby zliczeń N.

A **B** **C**

Rys.1 Stanowisko pomiarowe: A – przelicznik PT- 44a, B – sonda scyntylacyjna SSU-4, C –zasilacz wysokiego napięcia ZWN-42

6. Sporządzić histogram przedstawiający zależność m_n od N.
7. Obliczyć średnią wartość $\overline{N}$ liczby zliczeń.
8. Obliczyć teoretyczne prawdopodobieństwa wystąpienia kolejnych liczb zliczeń N ze wzoru Poissona – wzór (1).
9. Nanieść na sporządzony wcześniej histogram wykres teoretyczny rozkładu Poissona.
10. Porównać obydwa rozkłady, obliczając metodą najmniejszych kwadratów równanie prostej: $m_n = a\,P_N + b$. Wartości współczynnika kierunkowego a i wyrazu wolnego b są miarą pokrycia się obu rozkładów.
11. Sporządzić wykres zależności m_n od P_N , wykorzystując obliczone równanie prostej.

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 10.1. Wyznaczanie względnej czułości widmowej fotorezystorów

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Podstawy teorii pasmowej ciał stałych – metale, półprzewodniki, izolatory
2. Przewodnictwo elektryczne półprzewodników, ruchliwość i koncentracja nośników
3. Fotodetektory półprzewodnikowe – zasada działania
4. Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne
5. Absorpcja światła w półprzewodnikach: fotoprzewodność, szybkość generacji nośników, fotoprąd, współczynnik wzmocnienia fotoprądu, czułość widmowa, względna czułość widmowa

Literatura:

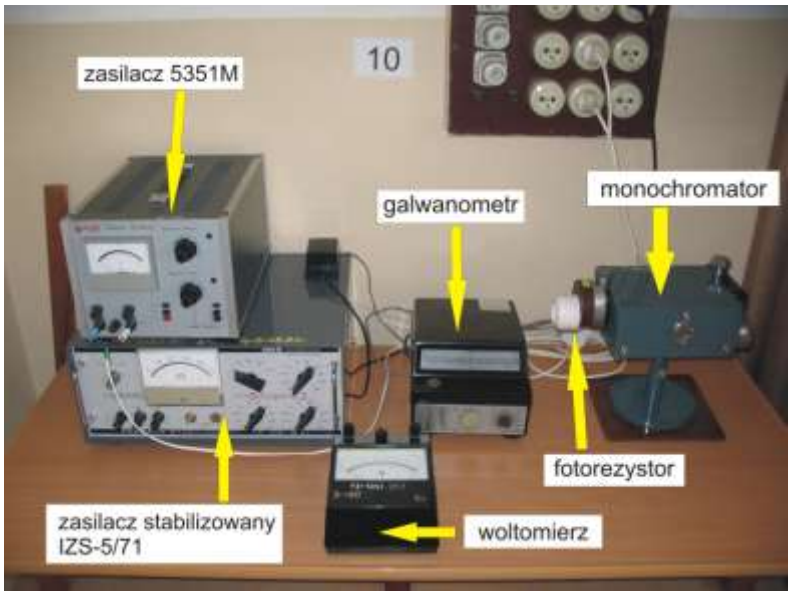
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii*, H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla; Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. W. Marciniak, *Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979.
3. A. Świt, J. Pułtorak, *Przyrządy półprzewodnikowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979.
4. K.V. Szalimowa, *Fizyka półprzewodników*, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, 1974.
5. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Tabela 1. Napięcia pracy fotorezystorów

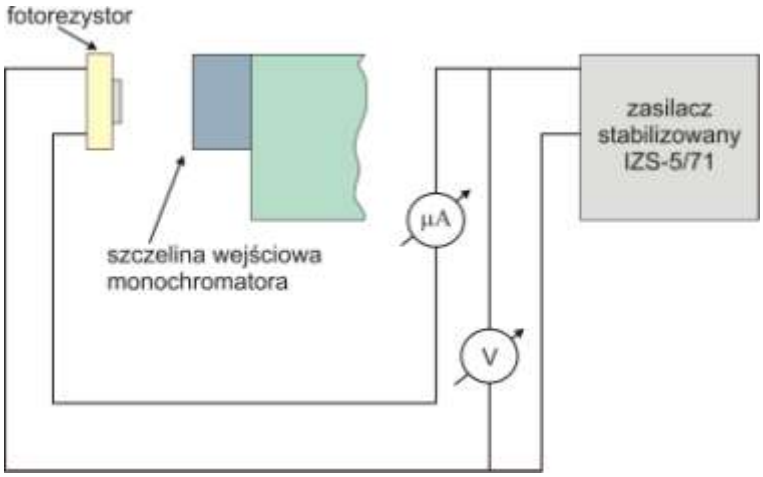
Nr fotorezystora	Napięcie pracy [V]
1	20,5
2	9,5
3	4,5
5	9,5

Wykonanie zadania:



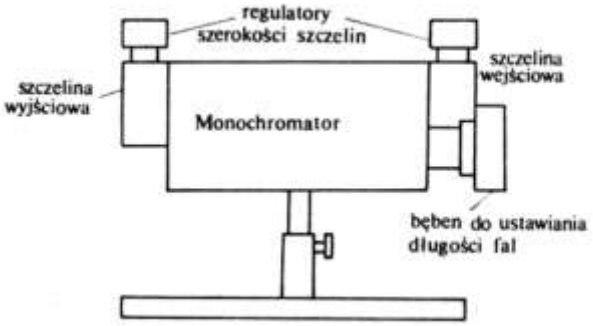
Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

1. Połączyć obwód według schematu pomiarowego jak na Rys. 2.; fotorezystory należy mocować w specjalnych uchwytach przy szczelinie wyjściowej monochromatora, nakładając oprawy fotorezystorów na trzpienie prowadzące ustalając ich położenia sprężynującymi drutami.



Rys. 2 Schemat układu pomiarowego

2. Szczeliny monochromatora ustawić na 1 mm – w tym celu należy wykonać jeden pełny obrót w **prawo** każdej śruby mikrometrycznej od poziomych rys i "0" zaznaczonych na bębnach (budowa monochromatora – Rys. 3).



Rys. 3 Schemat budowy monochromatora

3. Ustawić bęben do zmiany długości fali **na pozycję 4,0** podziałki skali (**UWAGA!:** dopuszczalny zakres zmian nastawu bębna monochoratora wynosi **3.0 dz.– 6.0 dz**).
4. Wcisnąć dźwignię zmiany kierunku padania promieni pierwotnych.
5. Włączyć zasilanie żarówki mikroskopowej włączając zasilacz typu 5351M w następujący sposób:
   a. wszystkie pokrętła ustawić w pozycjach początkowych, mnożnik w pozycji $\times 1$,
   b. włączyć sieć
   c. pokrętłem regulacji napięcia ustawić wartość 5 V, a pokrętło regulacji prądu ustawić w położeniu maksymalnym
6. Wszystkie potencjometry zasilacza stabilizowanego IZS-5/71 ustawić w pozycjach początkowych; włączyć sieć a następnie pokrętłem "prąd" ustawić wartość 1.0 (pojawienie się sygnału akustycznego a następnie jego zanik po ok. 20 s jest objawem normalnym). Rozpocząć wykonywanie pomiarów po upływie ok. 10 min. od włączenia (napięcie wyjściowe jest sumą nastawień poszczególnych przełączników dekadowych.
7. Na galwanometrze ustawić zakres 100 μA; przy danym napięciu pracy fotorezystora natężenie fotoprądu płynącego przez fotorezystory **nie może przekraczać 100 μA.**
8. Przy pomocy zasilacza stabilizowanego IZS-5/71 ustawić wartość napięcia na fotorezystorze zgodnie z uwagami osoby prowadzącej zajęcia.
9. Zwiększając nastawy bębna monochromatora co 5 działek skali opisanej na jego obwodzie, po każdorazowej zmianie notować wskazania galwanometru (prąd I); czas ustalania się wskazań galwanometru, po którym należy dokonać odczytu wynosi około 20 s; po każdej zmianie położenia bębna monochromatora kontrolować wartość napięcia na fotorezystorze; jeśli uległo ono zmianie należy skorygować wartość przy pomocy pokręteł zasilacza.
10. Pomiary należy przeprowadzać od momentu, gdy położenie skali bębna wynosi 4,0 aż do momentu, gdy galwanometr ponownie będzie wskazywał wartość 0.
11. Długości fal świetlnych odpowiadających poszczególnym nastawom skali bębna odczytywać z krzywej dyspersji monochromatora (Rys. 4).
12. Otrzymane wyniki zestawić w tabeli, której wzorem może być Tabela 2. Na podstawie danych z tabeli wykreślić zależność I = f(λ), określić I' oraz odpowiadającą mu długość fali λ_{max}.

Tabela 2.

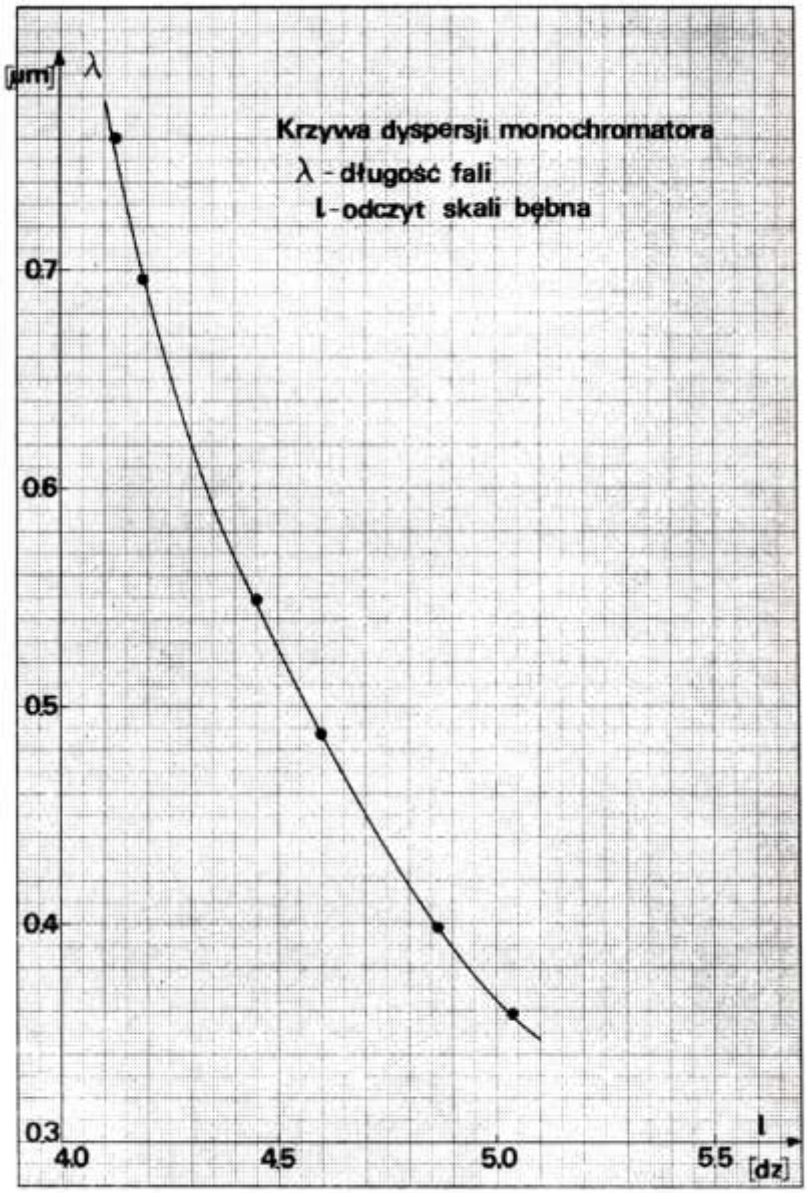
Nr fotorezystora	Położenie skali bębna	λ [μm]	I [μA]	λ_{max} [μm]	I' [μA]	C'$_\lambda$

13. Dla poszczególnych wartości λ obliczyć wartość względnej czułości widmowej C'_λ wg wzoru

$$C'_\lambda = \frac{I}{I'}, \tag{1}$$

oraz wykreślić zależność $C'_\lambda = f(\lambda)$.

14. Oszacować niepewności pomiarów bezpośrednich natężenia prądu I, oraz niepewności wyznaczenia wartości prądu I' z krzywej I = f(λ) (patrz p. 12). Następnie, dla wybranego zestawu danych oszacować bezwzględną i względną niepewność pomiarową wyznaczenia wartości względnej czułości widmowej C'_λ stosując w tym celu metodę różniczkowania wzoru (1).



Krzywa dyspersji monochromatora

Rys. 4 Krzywa dyspersji monochromatora

Autor instrukcji:

Iwona Jóźwik

J 10.2. Pomiar charakterystyk statycznych fotorezystorów

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Podstawy teorii pasmowej ciał stałych – metale, półprzewodniki, izolatory
2. Przewodnictwo elektryczne półprzewodników, ruchliwość i koncentracja nośników
3. Fotodetektory półprzewodnikowe – zasada działania
4. Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne
5. Absorpcja światła w półprzewodnikach: fotoprzewodność, szybkość generacji nośników, fotoprąd, współczynnik wzmocnienia fotoprądu, czułość widmowa, względna czułość widmowa

Literatura:

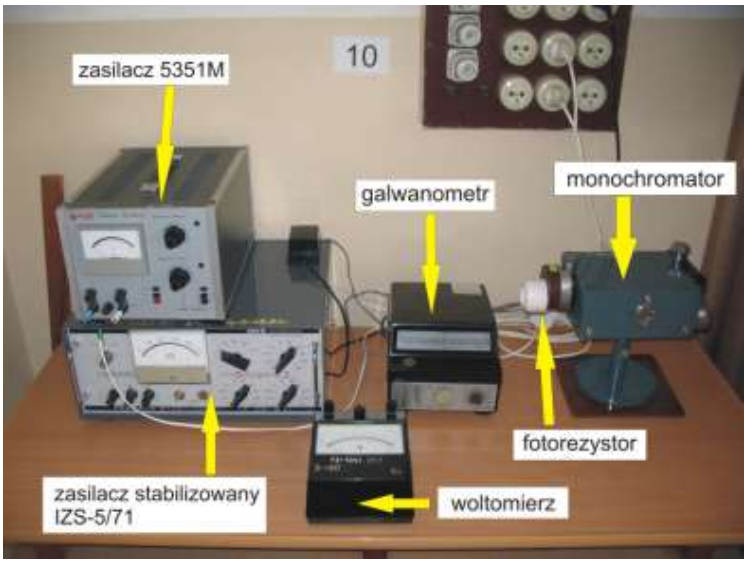
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii*, H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla; Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. W. Marciniak, *Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979.
3. A. Świt, J. Pułtorak, *Przyrządy półprzewodnikowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1979.
4. K.V. Szalimowa, *Fizyka półprzewodników*, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, 1974.
5. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Tabela 1. Parametry pracy fotorezystorów

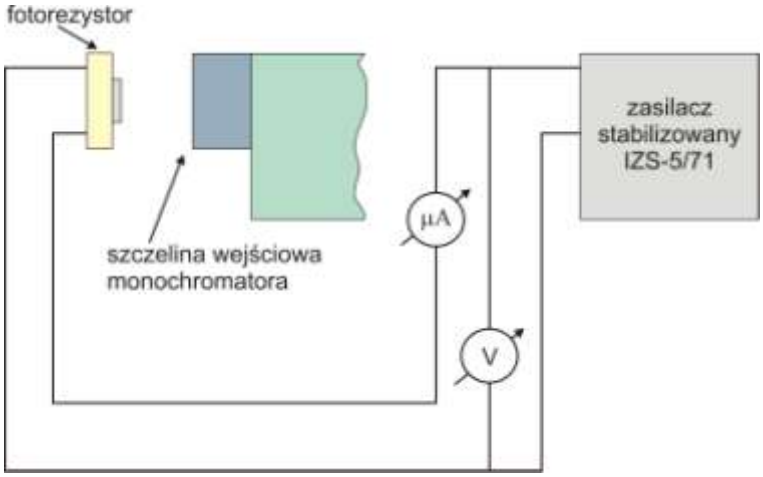
Nr fotorezystora	Zakres zmian napięcia [V]	λ_{max} [μm]	Wskazanie skali bębna monochromatora [dz] przy λ_{max}
1	4,5 – 20,5	0,584	4,36
2	1,0 – 9,5	0,574	4,38
3	0,5 – 4,5	0,580	4,37
5	1,0 – 9,5	0,574	4,38

Wykonanie zadania:



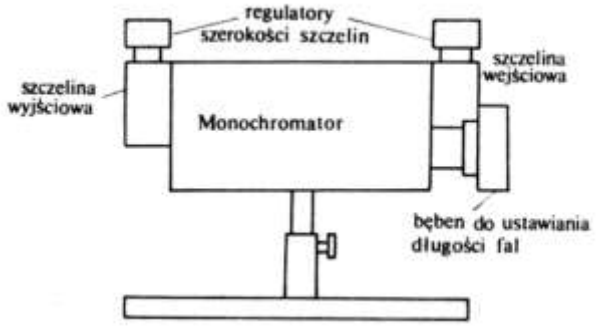
Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

1. Połączyć obwód według schematu pomiarowego jak na Rys. 2.; fotorezystory należy mocować w specjalnych uchwytach przy szczelinie wyjściowej monochromatora, nakładając oprawy fotorezystorów na trzpienie prowadzące ustalając ich położenia sprężynującymi drutami.



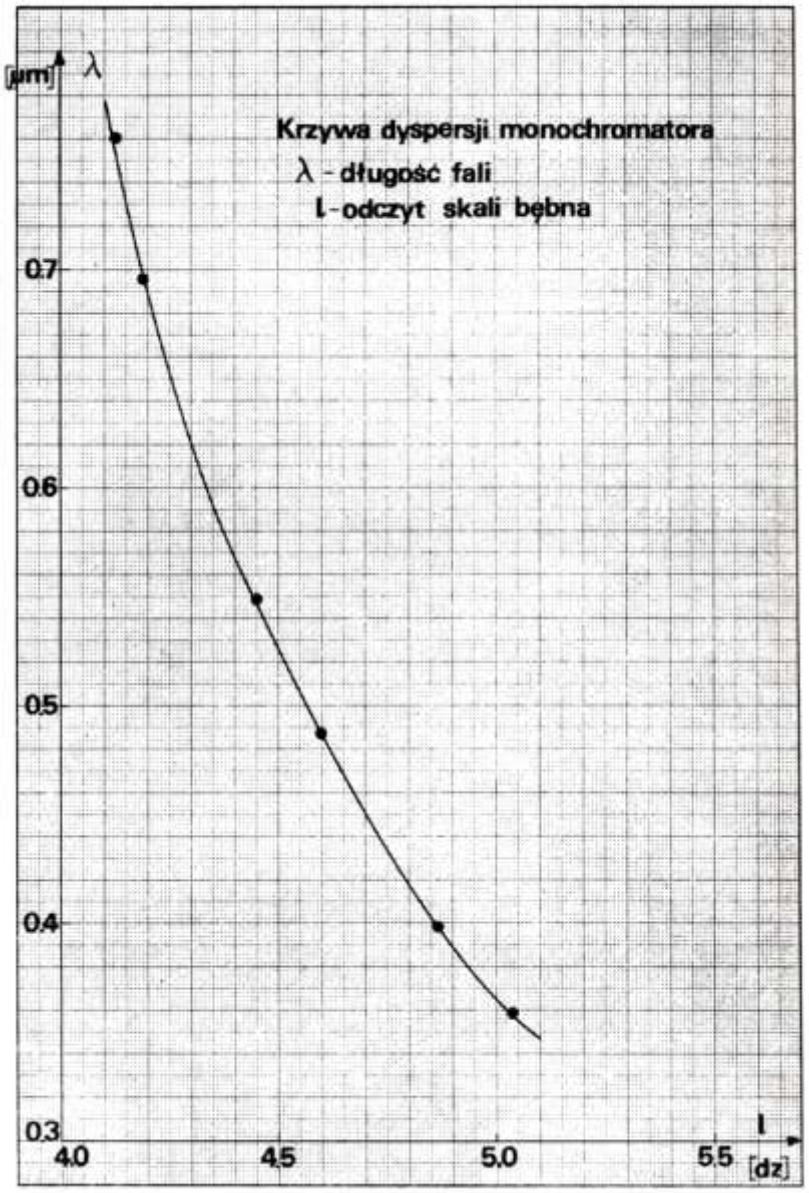
Rys. 2 Schemat układu pomiarowego

2. Strumień świetlny regulujemy zmieniając szerokość szczeliny wejściowej monochromatora wg wskazań prowadzącego, np. 1 mm; 0,8 mm; 0,5 mm (UWAGA: jeden pełny obrót **w prawo** śruby mikrometrycznej od poziomych rys i „0” zaznaczonych na ich bębnach to szczelina o szerokości 1 mm). Schemat monochromatora przedstawiony jest na Rys. 3.



Rys. 3. Schemat budowy monochromatora

3. Ustawić bęben do zmiany długości fali na wartość odpowiadającą λ_{max} dla danego fotorezystora zgodnie z krzywą dyspersji monochromatora (Rys. 4; wartości λ_{max} podaje prowadzący zajęcia).



Krzywa dyspersji monochromatora

Rys. 4 Krzywa dyspersji monochromatora

4. Wcisnąć dźwignię zmiany kierunku padania promieni pierwotnych.
5. Włączyć zasilanie żarówki mikroskopowej włączając zasilacz typu 5351M w następujący sposób:
    a. wszystkie pokrętła ustawić w pozycjach początkowych, mnożnik w pozycji $\times 1$,
    b. włączyć sieć
    c. pokrętłem regulacji napięcia ustawić wartość 5 V, a pokrętło regulacji prądu ustawić w położeniu maksymalnym
6. Wszystkie potencjometry zasilacza stabilizowanego IZS-5/71 ustawić w pozycjach początkowych; włączyć sieć a następnie pokrętłem "prąd" ustawić wartość 1.0 (pojawienie się sygnału akustycznego a następnie jego zanik po ok. 20 s jest objawem normalnym). Rozpocząć wykonywanie pomiarów po upływie ok. 10 min. od włączenia (napięcie wyjściowe jest sumą nastawień poszczególnych przełączników dekadowych.
7. Na galwanometrze ustawić zakres 100 μA; przy danym napięciu pracy fotorezystora natężenie fotoprądu płynącego przez fotorezystory **nie może przekraczać 100 μA.**
8. Przy pomocy zasilacza stabilizowanego IZS-5/71 zmieniać wartości napięcia na fotorezystorze zgodnie z uwagami osoby prowadzącej zajęcia. Po każdorazowej zmianie notować wskazania galwanometru; czas ustalania się wskazań galwanometru, po którym należy dokonać odczytu wynosi około 20 s.
9. Pomiary dla danego fotorezystora należy przeprowadzać dla wartości napięć z przedziału podanego przez prowadzącego zajęcia przy zadanej szerokości szczeliny wejściowej monochromatora.
10. Otrzymane wyniki zestawić w tabeli wg poniższego wzoru; na podstawie danych z tabeli sporządzić charakterystyki $I = f(U)_{\Phi}$.

Tabela 2.

Nr fotorezystora	λ_{max} [μm]	U [V]	I [μA]

11. Oszacować niepewności pomiarów bezpośrednich natężenia prądu I oraz napięcia U.

<u>Autor instrukcji:</u>

Iwona Jóźwik

J 11.1. Wyznaczanie indukcji magnetycznej elektromagnesu przy pomocy teslomierza hallotronowego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

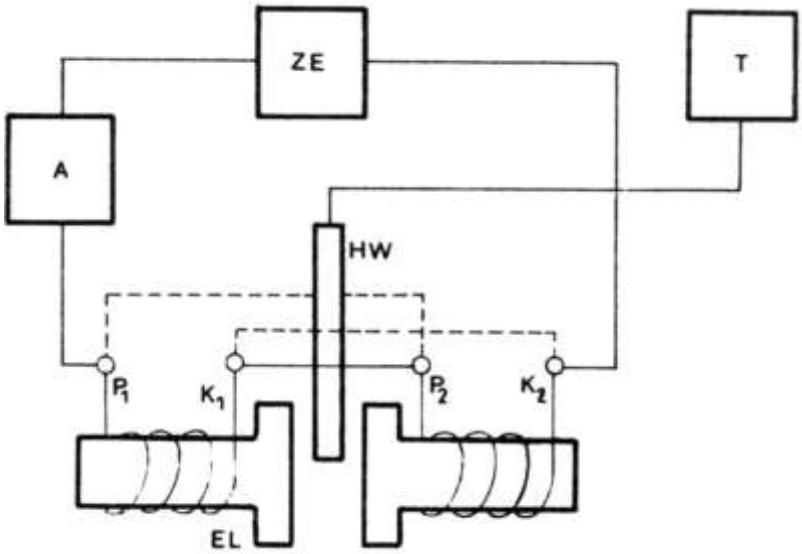
1. Ruch ładunków w polach elektrycznym i magnetycznym
2. Zjawisko Halla
3. Hallotrony i ich zastosowanie

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, WNT, Warszawa 1995.
4. J. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie zależności indukcji pola magnetycznego *B* wytworzonego między nabiegunnikami elektromagnesu od natężenia prądu *I* płynącego w jego cewkach. Indukcję pola magnetycznego mierzy się za pomocą teslomierza z sondą hallotronową (hallotron wzorcowy).



Rys.1 Stanowisko pomiarowe: elektromagnes (EL), zasilacz prądowy elektromagnesu (ZE), amperomierz (A), hallotron wzorcowy (HW), teslomierz (T)

Rys. 2 Fotografia stanowiska pomiarowego

1. Zestawić układ pomiarowy. Cewki elektromagnesu połączyć zgodnie z zaleceniem prowadzącego (szeregowo lub równolegle).
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia włączyć wszystkie podzespoły zgodnie z instrukcją techniczną.
3. Przed przystąpieniem do pomiarów należy dokonać zerowania teslomierza zgodnie z instrukcją techniczną. Sonda teslomierza (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegunnikami elektromagnesu.
5. Za pomocą pokręteł zasilacza ZE nastawić żądaną wartość natężenia prądu *I* płynącego przez cewki elektromagnesu. Wartość natężenia prądu odczytać na amperomierzu A.
6. Odczytać zmierzoną wartość indukcji pola magnetycznego *B* na teslomierzu T.
7. Zmieniać natężenie prądu *I*, mierząc za każdym razem wartość indukcji *B*.
8. Pomiary indukcji magnetycznej *B* w zależności od natężenia prądu *I* przeprowadzić w zakresie podanym przez prowadzącego. Wyniki wpisać do tabeli.
9. Pomiary należy wykonać przy szeregowym (linia ciągła na Rys. 1) oraz równoległym (linia przerywana na Rys. 1) połączeniu cewek elektromagnesu.
10. Sporządzić wykres zależności $B = f(I)$.

<u>Oszacowanie niepewności pomiarów</u>

1. Wybrać kilka punktów (ich liczbę ustalić z prowadzącym zajęcia), na podstawie których był sporządzany wykres.
2. Dla współrzędnych tych punktów (I, B) obliczyć niepewności pomiarowe ΔI oraz ΔB, wynikające z klasy mierników i dokładności odczytu z ich skali.
3. Każdy z wybranych punktów otoczyć prostokątem niepewności pomiarowej.

<u>Autor instrukcji</u>: Maria Żurawicz

J 11.2. Wyznaczanie stałej Halla z zależności napięcia Halla od indukcji magnetycznej

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym i magnetycznym
2. Zjawisko Halla

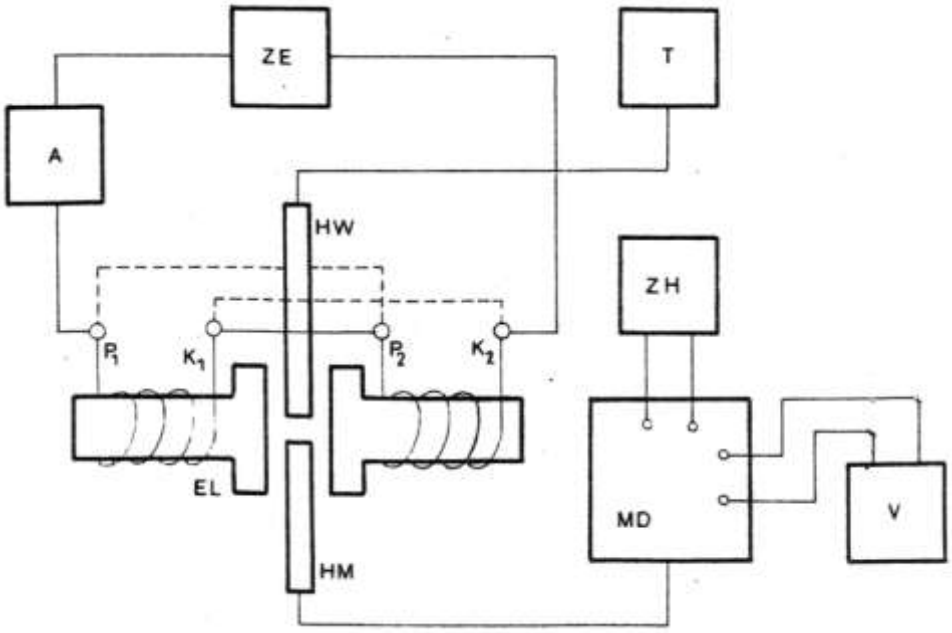
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT Warszawa (wszystkie wydania).
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego,* PWN Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Grubość płytki hallotronu $c = 10^{-4}$m.

Wykonanie zadania:



Rys. 1. Schemat zestawu pomiarowego. EL elektromagnes złożony z dwóch cewek (P_1, P_2 – początki, K_1, K_2 – końce cewek), ZE – zasilacz prądowy elektromagnesu, A – amperomierz w układzie elektromagnesu, T – teslomierz, HW – hallotron wzorcowy (sonda teslomierza), HM – hallotron badany, MD - model do pomiaru własności hallotronu, ZH - zasilacz prądowy hallotronu badanego, mA – miliamperomierz w układzie hallotronu badanego, V – woltomierz.

W ćwiczeniu mierzy się zależność poprzecznego napięcia U_H, generowanego w hallotronie badanym (napięcie Halla) od wartości indukcji pola magnetycznego B. Podczas pomiarów stała pozostaje wartość natężenia prądu I, płynącego przez hallotron (prąd sterujący).

1. Zestawić układ pomiarowy. Cewki elektromagnesu połączyć zgodnie z zaleceniem prowadzącego (szeregowo lub równolegle).
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia włączyć wszystkie podzespoły zgodnie z instrukcją techniczną.
3. Przeprowadzić zerowanie teslomierza (zgodnie z instrukcją techniczną). Sonda teslomierza (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegunnikami elektromagnesu.
5. Dokonać symetryzacji elektrod hallotronu badanego. W tym celu należy odsunąć hallotron badany (ostrożnie, aby nie uszkodzić jego płytki) od elektromagnesu , tzn. usunąć go z pola magnetycznego. Następnie nastawić za pomocą pokrętła zasilacza ZH prąd sterujący o natężeniu 20 mA. Obserwować wskazania woltomierza V . Gdy jego wskazania ustalą się, potencjometrem „zerowanie" w modelu MD doprowadzić wartość wskazana woltomierza do minimum. Po tych czynnościach można przystąpić do pomiarów.
6. Umieścić hallotron badany symetrycznie miedzy nabiegunnikami elektromagnesu, uważając, aby nie dotykał do sondy teslomierza. Te czynności wykonywać bardzo ostrożnie, aby nie uszkodzić obydwu hallotronów.
7. Nastawić za pomocą potencjometru zasilacza ZH prąd sterujący I (odczytać na miliamperomierzu cyfrowym mA). Wartość natężenia prądu podaje prowadzący zajęcia.
8. Indukcję pola magnetycznego B nastawić na żądaną wartość za pomocą odpowiednich pokręteł regulujących prąd wyjściowy zasilacza elektromagnesu ZE. Wartość B odczytać na teslomierzu.
9. Odczytać na woltomierzu V napięcie Halla U_H .
10. Zmieniać wartość indukcji pola magnetycznego B co kilkadziesiąt mT. Tych zmian dokonuje się zmieniając natężenie prądu płynącego przez cewki elektromagnesu. Zakres zmian B ustalić z prowadzącym zajęcia.
11. Po każdorazowym nastawieniu indukcji pola magnetycznego B odczytywać napięcie Halla U_H .
12. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli, podając I w amperach, B w teslach, U_H w woltach.

Opracowanie wyników:

Z teorii wiadomo, że poprzeczne napięcie generowane w zjawisku Halla U_H zależy od natężenia prądu I płynącego przez hallotron (prądu sterującego) oraz od indukcji pola magnetycznego B , w którym ten hallotron jest umieszczony:

$$U_H = R_H \frac{I\,B}{c} \qquad (1)$$

gdzie c jest grubością hallotronu, R_H jest stałą Halla, której wyznaczenie jest celem ćwiczenia. Stałą Halla można wyznaczyć dwoma sposobami (sposób opracowania ustalić z prowadzącym zajęcia).

Sposób I – wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów:

1.Wyniki pomiarów nanieść na wykres, w którym na osi x odłożyć wartości indukcji pola magnetycznego B , na osi y – wartości napięcia U_H .

2.Równanie prostej przedstawiającej zależność U_H od B przy I = const. obliczyć metodą najmniejszych kwadratów. To równanie ma postać:

$$U_H = a\,B + b \qquad (2)$$

gdzie a jest współczynnikiem kierunkowym prostej, b jest wyrazem wolnym, który w przypadku opisanej wyżej zależności wynosi zero (w granicach niepewności wyznaczania b).

3.Porównując równania (1) i (2) otrzymuje się:

$$R_H = \frac{a\,c}{I} \qquad (3)$$

4.Stałą Halla obliczyć z wyrażenia (3) .
Uwaga! Przed wstawieniem danych do wzoru (3) należy ustalić jednostkę współczynnika kierunkowego a.

5.Narysowac na wykresie prostą opisana równaniem (2).

6.Niepewność pomiaru stałej Halla obliczyć metodą różniczkowania wzoru (3), uwzględniając niepewność pomiaru natężenia prądu ΔI oraz niepewność wyznaczania współczynnika kierunkowego Δa.

Sposób II – bezpośrednio z wyników pomiarów:

1.Z wyrażenia (1) otrzymuje się:

$$R_H = U_H \frac{c}{I\,B} \qquad (4)$$

2.Wstawić dane z tabeli pomiarowej do wzoru (4) i obliczyć wartości stałej Halla dla poszczególnych pomiarów.

3.Obliczyć wartość średnią stałej Halla ze wszystkich pomiarów.

4.Obliczyć dla jednego pomiaru niepewność wyznaczania stałej Halla ΔR_H metodą różniczkowania wzoru (4). Należy uwzględnić przy tym dokładność pomiaru natężenia prądu ΔI, napięcia Halla ΔU_H i indukcji magnetycznej ΔB .

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 11.3. Wyznaczanie stałej Halla z zależności napięcia Halla od natężenia prądu zasilającego hallotron

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym i magnetycznym
2. Zjawisko Halla

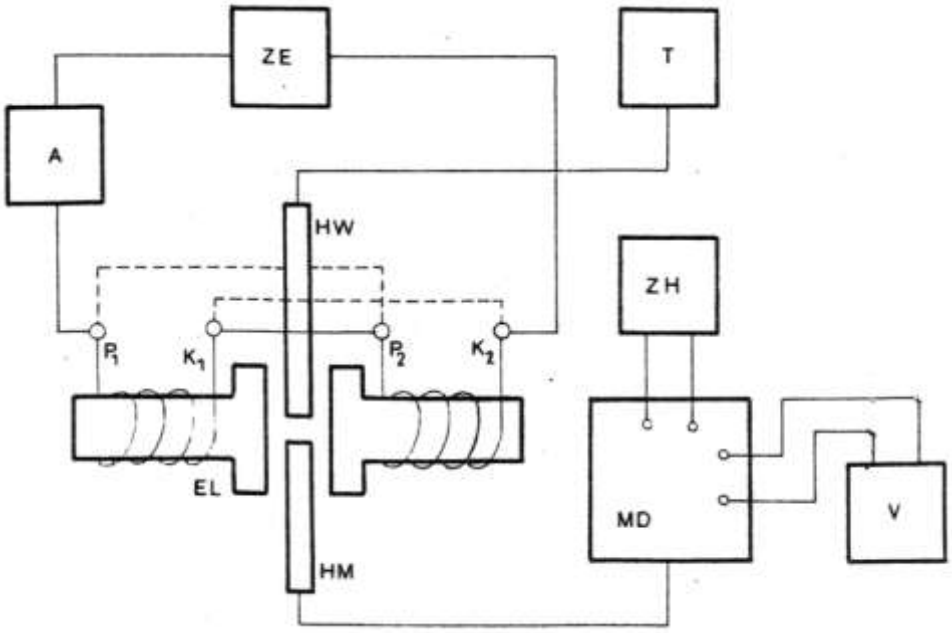
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT Warszawa (wszystkie wydania).
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego,* PWN Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Grubość płytki hallotronu $c = 10^{-4}$m.

Wykonanie zadania:



Rys. 1. Schemat zestawu pomiarowego. EL elektromagnes złożony z dwóch cewek (P_1, P_2 – początki, K_1, K_2 – końce cewek), ZE – zasilacz prądowy elektromagnesu, A – amperomierz w układzie elektromagnesu, T – teslomierz, HW – hallotron wzorcowy (sonda teslomierza), HM – hallotron badany, MD - model do pomiaru własności hallotronu, ZH - zasilacz prądowy hallotronu badanego, mA – miliamperomierz w układzie hallotronu badanego, V – woltomierz.

W ćwiczeniu mierzy się zależność poprzecznego napięcia U_H, generowanego w hallotronie badanym (napięcie Halla) od wartości natężenia prądu I, płynącego przez hallotron (prąd sterujący). Podczas pomiarów stała pozostaje wartość indukcji pola magnetycznego B.

1. Zestawić układ pomiarowy. Cewki elektromagnesu połączyć zgodnie z zaleceniem prowadzącego (szeregowo lub równolegle).
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia włączyć wszystkie podzespoły zgodnie z instrukcją techniczną.
3. Przeprowadzić zerowanie teslomierza (zgodnie z instrukcją techniczną). Sonda teslomierza (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegunnikami elektromagnesu.
5. Dokonać symetryzacji elektrod hallotronu badanego. W tym celu należy odsunąć hallotron badany (ostrożnie, aby nie uszkodzić jego płytki) od elektromagnesu , tzn. usunąć go z pola magnetycznego. Następnie nastawić za pomocą pokrętła zasilacza ZH prąd sterujący o natężeniu 20 mA. Obserwować wskazania woltomierza V . Gdy jego wskazania ustalą się, potencjometrem „zerowanie" w modelu MD doprowadzić wartość wskazana woltomierza do minimum. Po tych czynnościach można przystąpić do pomiarów.
6. Umieścić hallotron badany symetrycznie miedzy nabiegunnikami elektromagnesu, uważając, aby nie dotykał do sondy teslomierza. Te czynności wykonywać bardzo ostrożnie, aby nie uszkodzić obydwu hallotronów.
7. Ustalić z prowadzącym zajęcia wartość indukcji pola magnetycznego B. Indukcję pola magnetycznego B nastawić na żądaną wartość za pomocą odpowiednich pokręteł regulujących prąd wyjściowy zasilacza elektromagnesu ZE. Wartość B odczytać na teslomierzu.
8. Nastawić za pomocą potencjometru zasilacza ZH prąd zasilający hallotron (prąd sterujący) I. Wartość prądu I odczytać na miliamperomierzu cyfrowym mA .
9. Odczytać na woltomierzu V napięcie Halla U_H .
10. Zmieniać wartość natężenia prądu sterującego I . Zakres zmian I ustalić z prowadzącym zajęcia.
11. Po każdorazowym nastawieniu prądu sterującego I odczytywać napięcie Halla U_H .
12. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli, podając I w amperach, B w teslach, U_H w woltach.

Opracowanie wyników:

Z teorii wiadomo, że poprzeczne napięcie generowane w zjawisku Halla U_H zależy od natężenia prądu I płynącego przez hallotron (prądu sterującego) oraz od indukcji pola magnetycznego B , w którym ten hallotron jest umieszczony:

$$U_H = R_H \frac{I\,B}{c} \qquad (1)$$

gdzie c jest grubością hallotronu, R_H jest stałą Halla, której wyznaczenie jest celem ćwiczenia. Stałą Halla można wyznaczyć dwoma sposobami (sposób opracowania ustalić z prowadzącym zajęcia).

Sposób I – wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów:

1.Wyniki pomiarów nanieść na wykres, w którym na osi x odłożyć wartości natężenia prądu sterującego I , na osi y – wartości napięcia U_H .

2.Równanie prostej przedstawiającej zależność U_H od I przy B = const. obliczyć metodą najmniejszych kwadratów. To równanie ma postać:

$$U_H = a\,I + b \qquad (2)$$

gdzie a jest współczynnikiem kierunkowym prostej, b jest wyrazem wolnym, który w przypadku opisanej wyżej zależności wynosi zero (w granicach niepewności wyznaczania b).

3.Porównując równania (1) i (2) otrzymuje się:

$$R_H = \frac{a\,c}{B} \qquad (3)$$

4.Stałą Halla obliczyć z wyrażenia (3) .
Uwaga! Przed wstawieniem danych do wzoru (3) należy ustalić jednostkę współczynnika kierunkowego *a*.

5.Narysowac na wykresie prostą opisana równaniem (2).

6.Niepewność pomiaru stałej Halla obliczyć metodą różniczkowania wzoru (3), uwzględniając niepewność pomiaru indukcji pola magnetycznego ΔB oraz niepewność wyznaczania współczynnika kierunkowego Δa.

Sposób II – bezpośrednio z wyników pomiarów:

1.Z wyrażenia (1) otrzymuje się:

$$R_H = U_H \frac{c}{I\,B} \qquad (4)$$

2.Wstawić dane z tabeli pomiarowej do wzoru (4) i obliczyć wartości stałej Halla dla poszczególnych pomiarów.

3.Obliczyć wartość średnią stałej Halla ze wszystkich pomiarów.

4.Obliczyć dla jednego pomiaru niepewność wyznaczania stałej Halla ΔR_H metodą różniczkowania wzoru (4). Należy uwzględnić przy tym dokładność pomiaru natężenia prądu ΔI, napięcia Halla ΔU_H i indukcji magnetycznej ΔB .

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 11.4. Wyznaczanie rezystancji poprzecznej hallotronu

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

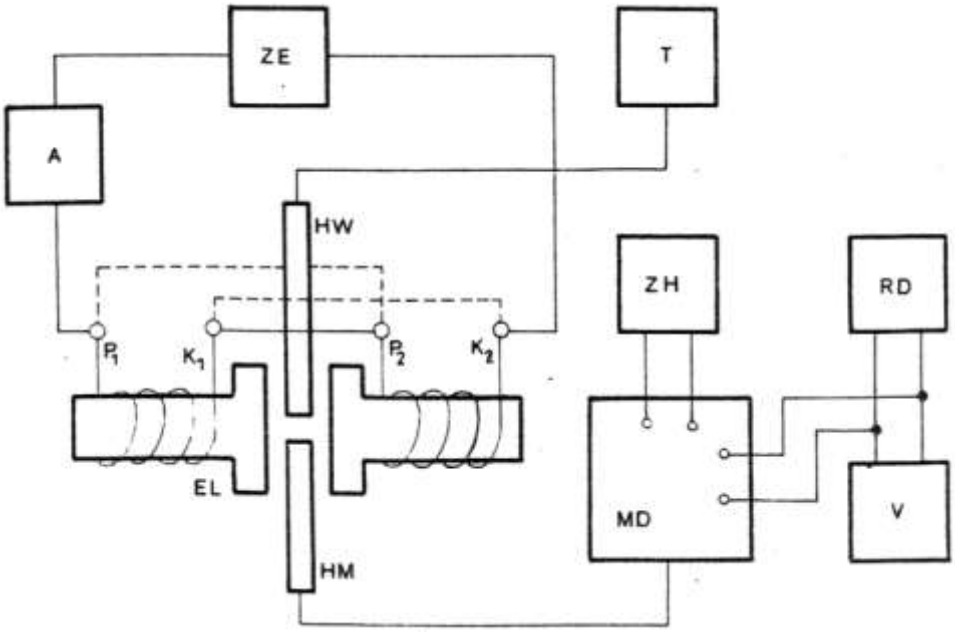
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym i magnetycznym
2. Zjawisko Halla
3. Podstawowe prawa dotyczące obwodów elektrycznych

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT Warszawa (wszystkie wydania).
3. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego,* PWN Warszawa 199

Wykonanie zadania:



Rys. 1. Schemat zestawu pomiarowego. EL elektromagnes złożony z dwóch cewek (P_1, P_2 – początki, K_1, K_2 – końce cewek), ZE – zasilacz prądowy elektromagnesu, A – amperomierz w układzie elektromagnesu, T – teslomierz, HW – hallotron wzorcowy (sonda teslomierza), HM – hallotron badany, MD - model do pomiaru własności hallotronu, ZH - zasilacz prądowy hallotronu badanego, mA – miliamperomierz w układzie hallotronu badanego, V – woltomierz, RD – opornik dekadowy.

W ćwiczeniu mierzy się poprzeczne napięcie generowane w hallotronie przy różnych wartościach zewnętrznej rezystancji R_p nastawianych na oporniku dekadowym RD. Podczas pomiarów stała pozostaje wartość prądu sterującego I oraz wartość indukcji pola magnetycznego B.

1. Zestawić układ pomiarowy. Cewki elektromagnesu połączyć zgodnie z zaleceniem prowadzącego (szeregowo lub równolegle).
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia włączyć wszystkie podzespoły zgodnie z instrukcją techniczną.
3. Przeprowadzić zerowanie teslomierza (zgodnie z instrukcją techniczną). Sonda teslomierza (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegunnikami elektromagnesu.
5. Dokonać symetryzacji elektrod hallotronu badanego. W tym celu należy odsunąć hallotron badany (ostrożnie, aby nie uszkodzić jego płytki) od elektromagnesu , tzn. usunąć go z pola magnetycznego. Następnie nastawić za pomocą pokrętła zasilacza ZH prąd sterujący o natężeniu 20 mA. Obserwować wskazania woltomierza V . Gdy jego wskazania ustalą się, potencjometrem „zerowanie" w modelu MD doprowadzić wartość wskazana woltomierza do minimum. Po tych czynnościach można przystąpić do pomiarów.
6. Umieścić hallotron badany symetrycznie miedzy nabiegunnikami elektromagnesu, uważając, aby nie dotykał do sondy teslomierza. Te czynności wykonywać bardzo ostrożnie, aby nie uszkodzić obydwu hallotronów.
7. Odłączyć opornik dekadowy RD.
8. Nastawić za pomocą potencjometru zasilacza ZH prąd sterujący I (odczytać na miliamperomierzu cyfrowym mA). Wartość natężenia prądu podaje prowadzący zajęcia.
9. Indukcję pola magnetycznego B nastawić na żądaną wartość (podaje prowadzący zajęcia) za pomocą odpowiednich pokręteł regulujących prąd wyjściowy zasilacza elektromagnesu ZE. Wartość B odczytać na teslomierzu.
10. Odczytać na woltomierzu V napięcie Halla U_H .
11. Dołączyć opornik dekadowy RD i dla wartości rezystancji $R_p = 10$ kΩ zmierzyć za pomocą woltomierza V napięcie poprzeczne U_p.
12. Zmierzyć napięcie U_p dla kilku wartości rezystancji 500 Ω < R_p < 10 kΩ. Liczbę punktów pomiarowych ustalić z prowadzącym zajęcia.
13. Wyniki pomiarów wstawić do tabeli.

Opracowanie wyników:

Napięcie poprzeczne U_p mierzone w ćwiczeniu zależy od rezystancji hallotronu R_x i rezystancji opornika dekadowego R_p . Po analizie obwodu elektrycznego (rys. 1) otrzymuje się następujące wyrażenie:

$$U_p = \frac{U_H}{1+\frac{R_x}{R_p}} \qquad (1)$$

gdzie: U_H – napięcie Halla.

Rezystancję poprzeczną hallotronu można wyznaczyć dwoma sposobami (sposób opracowania ustalić z prowadzącym zajęcia).

Sposób I – wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów:

Przekształcając wzór (1) otrzymuje się:

$$\frac{1}{U_p} = \frac{R_x}{U_H}\frac{1}{R_p} + \frac{1}{U_H} \qquad (2)$$

Oznaczając: $x = \frac{1}{R_p}$, $y = \frac{1}{U_p}$, $a = \frac{R_x}{U_H}$, $b = \frac{1}{U_H}$, otrzymuje się równanie prostej:

$$y = a\,x + b \qquad (3)$$

Wynika stąd, że odwrotność U_p jest liniową funkcją odwrotności R_p oraz, że:

$$R_x = a\,U_H \qquad (4)$$

1.Obliczyć dla wszystkich pomiarów wartości $y = \frac{1}{U_p}$ oraz $x = \frac{1}{R_p}$.

2.Metodą najmniejszych kwadratów obliczyć współczynnik kierunkowy *a* i wyraz wolny *b* prostej (3).

3.Obliczyć ze wzoru (4) rezystancję poprzeczną hallotronu R_x
Uwaga! Przed wstawieniem danych do wzoru (4) należy ustalić jednostkę współczynnika kierunkowego *a*.

4.Nanieść obliczone wartości *x* i *y* na wykres.

5.Narysowac na wykresie prostą opisana równaniem (3).

6.Niepewność pomiaru rezystancji poprzecznej hallotronu obliczyć metodą różniczkowania wzoru (4), uwzględniając niepewność pomiaru napięcia Halla ΔU_H oraz niepewność wyznaczania współczynnika kierunkowego Δa.

Sposób II – bezpośrednio z wyników pomiarów:

1.Z wyrażenia (1) otrzymuje się:

$$R_x = R_p\left(\frac{U_H}{U_p} - 1\right) \qquad (5)$$

2.Wstawić dane z tabeli pomiarowej do wzoru (5) i obliczyć wartości R_x dla wszystkich pomiarów.

3.Obliczyć wartość średnią rezystancji poprzecznej R_x ze wszystkich pomiarów.

4.Obliczyć dla jednego pomiaru niepewność wyznaczania rezystancji poprzecznej ΔR_x metodą różniczkowania wzoru (5). Należy uwzględnić przy tym dokładność pomiaru napięcia poprzecznego ΔU_p, napięcia Halla ΔU_H i niepewność ustawienia rezystancji ΔR_p, wynikająca z klasy opornika dekadowego.

Autor instrukcji:

Maria Żurawicz

J 13.1. Ogniwa słoneczne. Wyznaczanie charakterystyk ogniw słonecznych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

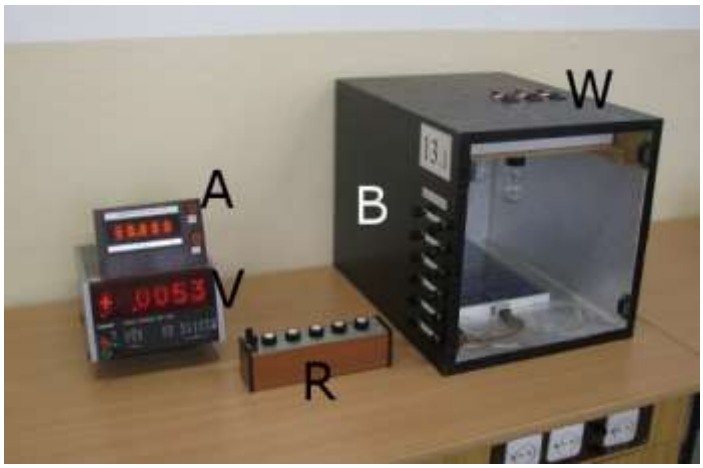
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Półprzewodnik. Energetyczny model pasmowy półprzewodnika
2. Złącze p-n
3. Struktura ogniwa słonecznego
4. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa słonecznego
5. Współczynnik wypełnienia FF

Literatura:

1. Instrukcja do ćwiczenia J13.1 – dostępna w bibliotece i w sali 102.
2. W. Marciniak, *Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone*, WNT, W-wa 1987.
3. Z.M. Jarzębski, *Energia słoneczna: konwersja fotowoltaiczna*, PWN, W-wa 1990.
4. E. Klugmann, E. Klugmann-Radziemska, *Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii,* Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 2005.

Wykonanie zadania:

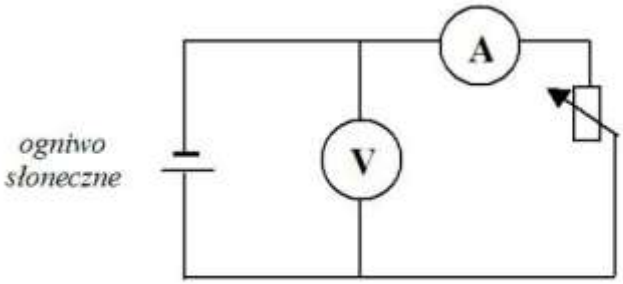


Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

B – skrzynia z baterią słoneczną i oświetleniem
R – opornik dekadowy
A – amperomierz
V – woltomierz
W – włączniki oświetlenia baterii słonecznej

UWAGA! Sugerowane jest wykonanie charakterystyki prądowo-napięciowej wybranego ogniwa słonecznego podczas zajęć. Należy w tym celu **przygotować na zajęcia arkusz papieru milimetrowego formatu A4**.

1. Zestawić obwód pomiarowy zgodnie z Rys. 2.



Rys. 2 Schemat obwodu pomiarowego

2. Przeprowadzić pomiary wartości natężenia prądu *I* płynącego w obwodzie zewnętrznym (generowanego pod wpływem światła) w zależności od wartości napięcia *U* na zaciskach ogniwa (która ustalana jest przez regulację wartości oporu w obwodzie zewnętrznym, R). W tym celu należy:
   a) Ustawić wartość oporu R na oporniku dekadowym na 0 Ω.
   b) włączyć oświetlenie ogniwa słonecznego wszystkimi trzema włącznikami W (Rys. 1)
   c) zapisać wskazania woltomierza i amperomierza.
   d) dokonywać zmian oporu w zakresie 0Ω - 100Ω. Po każdorazowej zmianie należy zanotować wskazania mierników dla określonego oporu, jak również odpowiadające im wartości oporu.
   e) Wyniki pomiarów wpisać do tabeli, której przykładowy wygląd przedstawiono poniżej:

Tabela 1. Wyniki pomiarów

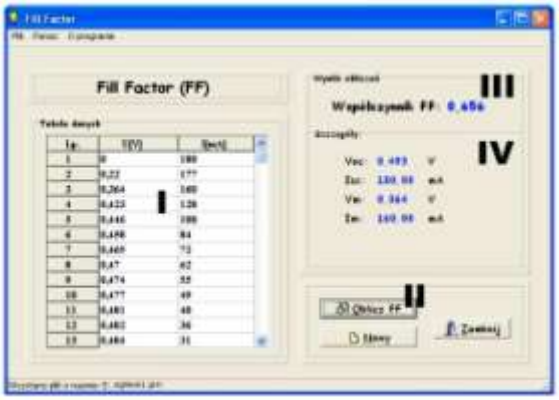
Nr ogniwa:			
Lp	R[Ω]	U[V]	I[A]
1			
2			
..			
..			
..			
n			

Uwaga! Wartość oporu powinna być tak dobierana, aby zmiana napięcia dokonywana była co ok. 0,05 V. W zakresie od 0,3V do 0,45 V sugerowane jest zmniejszenie kroku pomiarowego np. do 0,02V lub 0,03V w celu większej dokładności pomiarów. Dla jednego ogniwa należy wykonać co najmniej 30 pomiarów.

3. Na podstawie wyników pomiarów sporządzić wykres zależności *I=f(U)* dla danego ogniwa lub baterii. **Uwaga! Wykres należy wykonać ręcznie na papierze milimetrowym.**

4. Obliczyć wartość współczynnika wypełnienia *FF* charakterystyki danego ogniwa słonecznego przy użyciu programu komputerowego o nazwie ***Fill Factor***, znajdującego się na wyposażeniu Pracowni.
   W tym celu należy:

a) Dane pomiarowe wprowadzić do obszaru **I** okna programu pamiętając, żeby część ułamkową liczby oddzielać przecinkiem (a nie kropką). Możliwa jest korekta błędnie wprowadzonej liczby.
b) Określić z wykresu charakterystyki wartości prądu zwarcia I_{sc} (tj. wartości I dla U=0) oraz napięcia obwodu otwartego V_{oc} (tj. wartości U dla I=0) i wprowadzić do programu razem z danymi pomiarowymi.
Uwaga! Obliczenie współczynnika *FF* <u>nie jest możliwe</u> bez podania ww. wartości.
c) Kliknąć przycisk *Oblicz FF* (obszar **II** w oknie programu). Program, po obliczeniu współczynnika *FF*, wyświetli wynik w części **III** okna. Zanotować wartość współczynnika.
d) Zanotować także wartości V_m, I_m, V_{sc}, I_{sc} wyświetlone w części **IV** okna programu.



Rys. 3 Główne okno programu **Fill Factor** (Opis poszczególnych obszarów – w tekście)

5. Odszukać w tabeli pomiarów wartość oporu R, dla której otrzymano maksymalną moc wyjściową P_m (obliczoną jako iloczyn wartości natężenia prądu I_m oraz napięcia V_m wskazanych przez program Fill Factor). Prostokąt o wymiarach $I_m \cdot V_m$ należy nanieść na wykres charakterystyki ogniwa, podobnie jak prostokąt $I_{sc} \cdot V_{oc}$, który odpowiada mocy idealnej ogniwa.

6. Obliczyć niepewność wyznaczenia współczynnika FF metodą różniczkowania uwzględniając, że :

$$FF = f(V_m, I_m, V_{oc}, I_{sc})$$

oraz

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}.$$

Niepewności pomiarów bezpośrednich wartości napięcia i natężenia wynikają z klasy odpowiednio woltomierza i amperomierza. Dodatkowo należy uwzględnić niepewność odczytu wielkości V_{oc} i I_{sc} z wykresu charakterystyki ogniwa.

<u>Autor instrukcji:</u>

Sławomir Gułkowski