LABORATORIUM
OPTYKA GEOMETRYCZNA I FALOWA

Instrukcja do ćwiczenia nr 45

Temat: Sprawdzanie prawa Malusa.
Wyznaczanie rozkładu natężenia światła spolaryzowanego

I. Wymagania do ćwiczenia

1. Światło jako fala elektromagnetyczna.
2. Polaryzacja przez odbicie i podwójne załamanie.
3. Polaryzatory.
4. Wielkości fotometryczne.

<u>Literatura</u>

Skrypt PRz, Fizyka I pracownia, Rzeszów 2017, str. 215-217, str. 236-250
D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki t. 2, PWN W-wa, 2015, str. 672-698
J. Halaunbrenner, M. Kmiecik, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Politechnika Krakowska 1990, str. 244-248.
B. Jaworski, A. Dietław, Kurs Fizyki t.3, PWN Warszawa, 1984, str. 202-220.

II. Wprowadzenie do tematyki ćwiczenia

Skrypt PRz, Fizyka I pracownia, Rzeszów 2015, str. 215-217

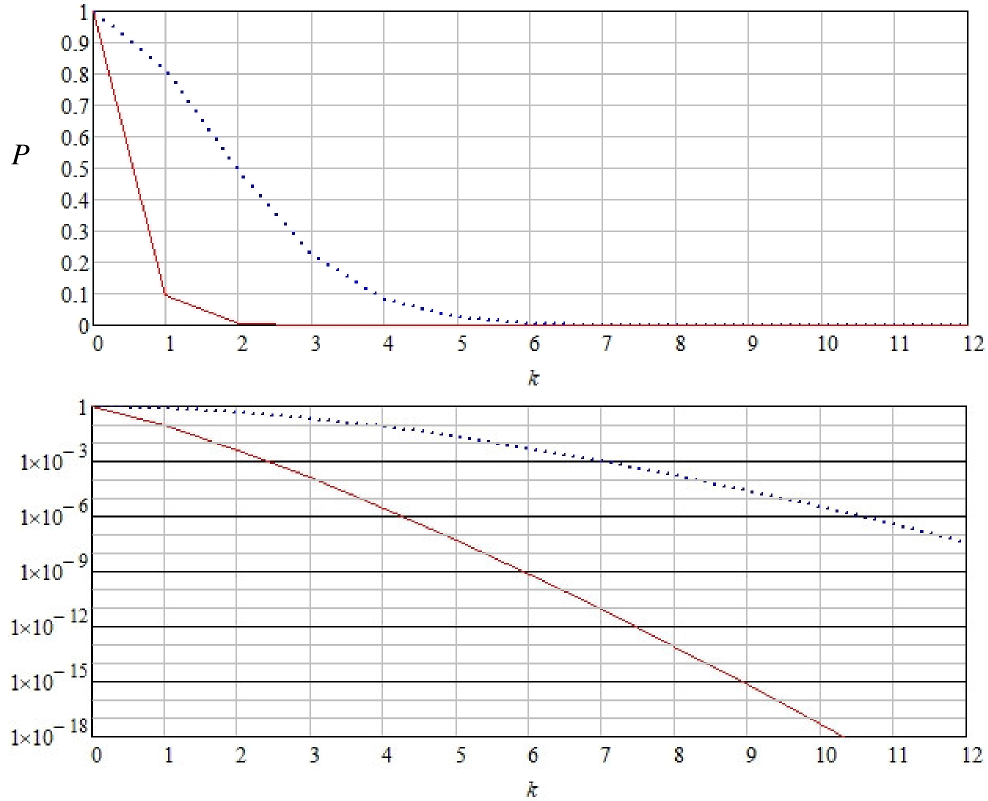
Jeżeli wykonano n pomiarów, których błędy podlegają jakiemuś rozkładowi prawdopodobieństwa, i z tego k pomiarów różni się od wartości uznawanej za prawdziwą o więcej niż dwu-(lub trzy)-krotne odchylenie standardowe, to można obliczyć prawdopodobieństwo tego, że tak się stało. Wszystkie te pomiary można uznać za n prób Bernouliego z k porażkami, gdzie prawdopodobieństwo q porażki podczas jednej próby jest prawdopodobieństwem uzyskania odchylenia pomiaru od wartości uznawanej za prawdziwą o więcej niż dwu-(lub trzy)-krotne odchylenie standardowe. To prawdopodobieństwo za jednym pomiarem q można policzyć znając rozkład prawdopodobieństwa błędu pomiarowego. Natomiast prawdopodobieństwo uzyskania k takich porażek według wzoru Bernouliego jest równe

$$P'_{k,n} = \binom{n}{k}(1-q)^{n-k}q^k$$

Bardziej bezpieczne jest rozważenie prawdopodobieństwa tego, że k **lub więcej** pomiarów różni się od wartości uznawanej za prawdziwą o więcej niż dwu-(lub trzy)-krotne odchylenie standardowe. Prawdopodobieństwo to jest sumą powyższych prawdopodobieństw $P'_{k,n}$ dla $\kappa = k,\ldots,n$, co daje

$$P_{k,n} = \sum_{\kappa=k}^{n} P'_{\kappa,n} = \sum_{\kappa=k}^{n}\binom{n}{\kappa}(1-q)^{n-\kappa}q^{\kappa}$$

Jeżeli pojedynczy pomiar podlega rozkładowi normalnemu (Gaussa), to prawdopodobieństwo q jest równe 0.046 w przypadku dwukrotnego (lub większego) odchylenia standardowego i 0.0027 w przypadku trzykrotnego (lub większego) odchylenia standardowego. Prawdopodobieństwo $P_{k,n}$ w zależności od k przedstawiono na poniższych wykresach dla całkowitej liczby pomiarów n=36.

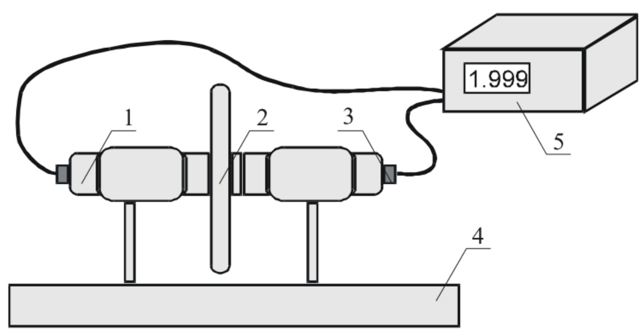


Rys. 1. Wykresy prawdopodobieństwa tego, że spośród 36 punktów pomiarowych podlegających rozkładowi normalnemu, *k* lub więcej punktów odchyli się od wartości oczekiwanej o

- podwójną niepewność pomiaru lub więcej (krzywa przerywana),
- potrójną niepewność pomiaru lub więcej (krzywa ciągła).

Pierwszy wykres – skala liniowa, drugi wykres – skala logarytmiczna.

III. Metodologia wykonania pomiarów



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

1. Włączyć układ pomiarowy. Odczekać ok. 3 min aż urządzenie się nagrzeje.
2. Zmieniać co 10º kąt ustawienia analizatora 3 obracając skalę kątową 2 i odczytywać kolejne wartości oświetlenia *E* w luksach, wpisując je do tabeli pomiarowej. Za każdą zmianą odczekać ok. 10 sek. na ustabilizowanie się wskazań.
3. Pomiary przeprowadzić dla pełnego kąta (360°)

Tabela pomiarów i obliczeń

α	E	$u(\alpha)$	$u(E)$	E_{obl}
[°]	[lx]	[°]	[lx]	[lx]

IV. Obliczenia

1. Sporządzić wykres $E(\alpha)$ w biegunowym układzie współrzędnych.
2. Na tym samym wykresie nanieść krzywą teoretyczną za pomocą punktów $E_{obl}(\alpha)$ obliczonych z prawa Malusa. Jako natężenie światła padającego E_o w prawie Malusa przyjąć średnią arytmetyczną z dwóch maksimów mierzonego natężenia E.
3. Niepewności pomiarowe $u(E)$, u(α) określić jako niepewności standardowe typu B. Nanieść te niepewności na wykres w formie prostokątów (a dokładniej trapezów) niepewności.
4. Ponieważ część punktów pomiarowych może oddalać się od krzywej teoretycznej na odległość większą niż rozmiar prostokąta/trapezu niepewności, oszacować prawdopodobieństwo takiego odstępstwa (przy założeniu obowiązywania prawa Malusa i założeniu przypadkowości błędów pomiarowych podlegających rozkładowi normalnemu). W tym celu policzyć:
   - k_2 – liczbę punktów odchylonych o podwójną (lub więcej) niepewność od krzywej teoretycznej,
   - k_3 – liczbę punktów odchylonych o potrójną (lub więcej) niepewność od krzywej teoretycznej,

   a następnie skorzystać z wykresów prawdopodobieństwa (rys. 1).
5. Sformułować wnioski wynikające z otrzymanych wyników (zwłaszcza w przypadku, gdy wyznaczone prawdopodobieństwo jest bardzo małe; wtedy można odpowiednio do tych wniosków dostosować dane pomiarowe i wykres, oczywiście informując o sposobie „dostosowania”).