

„Świetliste wzory”

Kornelia Kaczmarek Uniwersyteckie Liceum Ogólnokształcące
Opiekun: mgr Mariusz Kamiński

Wprowadzenie

Zjawisko tzw. „świeatlistych wzorów” stanowi wizualną manifestację interferencyjno-dyfrakcyjnego charakteru propagacji światła w ośrodkach o złożonej geometrii. Oświetlenie zwisającej kropli wody kolimowaną wiązką laserową prowadzi do powstania układów prążków o strukturze pierścieniowej, będących wynikiem superpozycji fal odbitych, załamanych i wielokrotnie wewnątrznie odbitych. Zjawisko to mieści się w formalizmie teorii Miego, będącej ścisłym rozwiązaniem równań Maxwella dla rozpraszania elektromagnetycznego na kulistej dielektrycznej mikrostrukturze.

Metoda eksperymentalna

Eksperyment przeprowadzono w układzie osiowo-symetrycznym. Kroplę wody umieszczono na końcu kapilary z tworzywa sztucznego o średnicy 4mm, przymocowanej do statywu, a następnie oświetlanej kolimowaną wiązką lasera półprzewodnikowego ($\lambda = 650 \text{ nm}$, $P = 5 \text{ mW}$). Wzory interferencyjne rejestrowano na białym ekranie umieszczonym w odległości 25cm od kropli wody. Zmieniano objętość kropli, a także kąt padania wiązki w celu zbadania wpływu parametrów opto-geometrycznych na morfologię uzyskiwanych wzorów. Wyniki rejestrowano aparatem cyfrowym telefonu komórkowego o rozdzielczości 50 Mpx

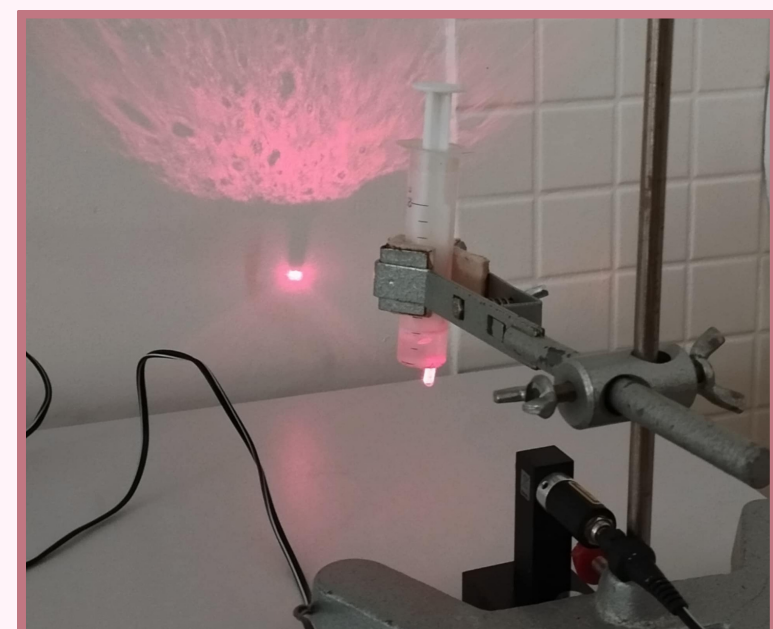
Ramy teoretyczne-Teoria Miego

Teoria Miego opisuje dokładne rozwiązanie równań Maxwella dla rozpraszania światła przez sferyczne cząstki dielektryczne, uwzględniając jednocześnie odbicie, załamanie, dyfrakcję i interferencję fal elektromagnetycznych. Natężenie światła rozproszonego $I(\theta)$ w funkcji kąta, wyraża się jako sumę składowych multipolowych:

$$I(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} (|a_n|^2 + |b_n|^2)$$

a_n i b_n - współczynniki Miego, x - parametr rozmiaru cząstki, n - względny współczynnik załamania, r - promień kropli, λ - długość fali światła

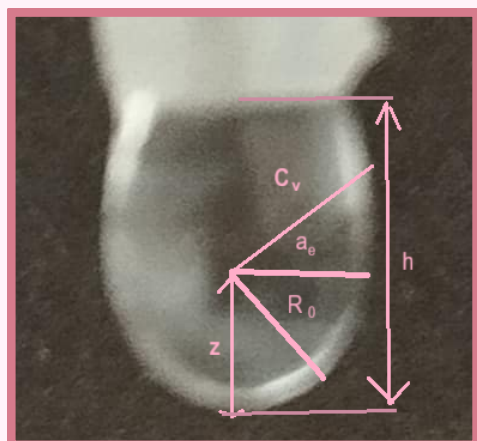
W przypadku zwisającej kropli wody promienie świetlne padające z obszarów oddalonych od jej płaszczyzny równikowej mogą, po jednym lub kilku procesach odbicia bądź załamania, powrócić do tej płaszczyzny, jednak ich udział w całkowitym rozpraszaniu jest znikomy. Kropla pozostaje układem o symetrii osiowej, co sprawia, że ogólny mechanizm oddziaływania światła jest zbliżony do tego, jaki opisuje się dla cząstki sferycznej. Zarówno kątowa dyspersja promieni, jak i współczynniki Fresnela pozostają niezmiennie względem modelu idealnej sfery. Różnica pojawia się natomiast w zakresie dywergencji fali elektromagnetycznej na powierzchni cząstki, która zależy od rzeczywistego kształtu kropli. W konsekwencji prowadzi to do odmiennych rozkładów natężenia pola rozproszonego w porównaniu z przypadkiem idealnie sferycznym, co należy uwzględnić przy precyzyjnej analizie fotometrycznej, i co obrazuje poniższe zdjęcie.



ρ i ρ_n (ρ_d) oznaczają odpowiednio gęstość masową ośrodka otaczającego oraz gęstość masową kropli.

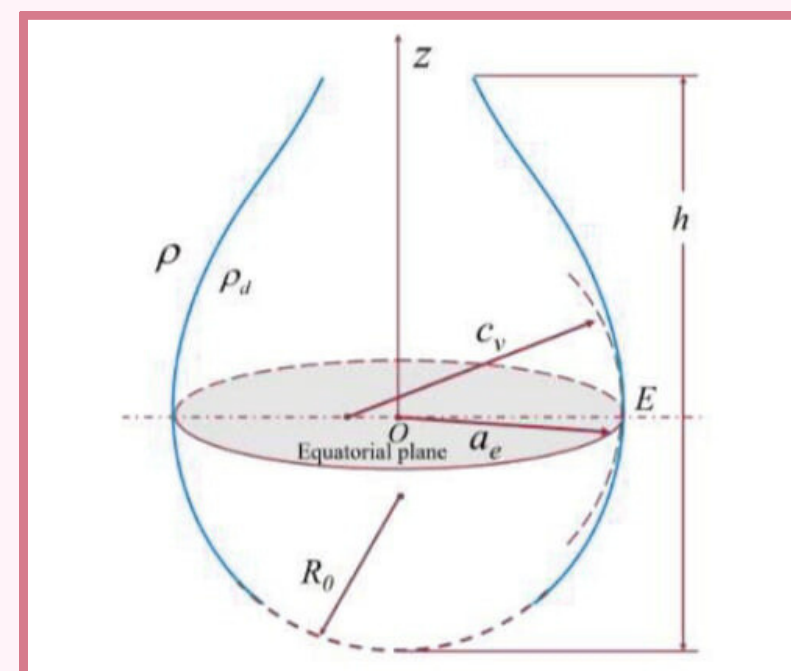
Należy zauważyć, że a_e to promień kropli w płaszczyźnie równikowej, natomiast c_v oznacza promień krzywizny kropli w kierunku pionowym.

Wyznaczanie parametrów fizycznych kropli wody



W przypadku kropli zwisającej z końca kapilary możliwe jest bezpośrednie określenie parametrów kropli na podstawie zdjęcia wykonanego w rzucie bocznym. Znając skalę obrazu podaną w pikselach, posłużono się programem ImageJ, w celu uzyskania danych, poprzez prosty pomiar geometryczny w programie przystosowanym do analizy obrazów.

	pole	min	max	kąt	długość
R0		208	60	158 63.435	116.276
h		504	64	159 89.773	252.002
z		232	64	121 90.000	116.000
Cv		255	68	200 31.578	127.945
ae		454	60	168 0.505	227.009

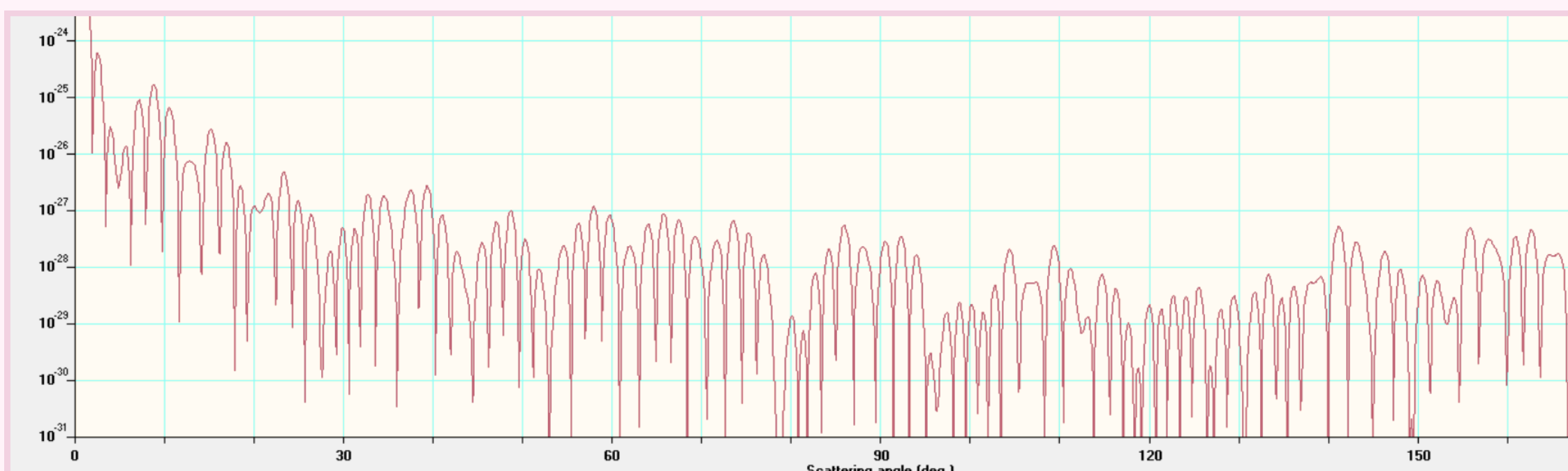


Wnioski

Analiza jakościowa wykazała, że uzyskane wzory cechują się wrażliwością na geometrię powierzchni kropli. Dla kropli zbliżonych do sferycznych, rozkłady intensywności w płaszczyźnie poziomej odpowiadają modelowi teoretycznemu kropli kulistej. W obszarach bardziej oddległych od tej płaszczyzny obserwuje się wyraźne różnice wynikające z deformacji górnych i dolnych partii kropli wskutek grawitacji. W przypadku silnie zdeformowanych struktur wzory rozpraszania przyjmują złożony, wielomodalny charakter, zawierając informacje o rozkładzie krzywizn powierzchni cieczy. Eksperyment potwierdził, że nawet prosty układ kropla-laser-ekran pozwala na rejestrację złożonych efektów falowych, będących podstawą współczesnych technik optyki.

Bibliografia

- Bohren, C. F., & Huffman, D. R, Absorption and Scattering of Light by Small Particles, New York: Wiley-Interscience, 1983
- Frackowiak, B, & Tropea, C. , Analysis of the fluorescence signal from a single droplet using a model based on the Lorenz-Mie theory and on ray-tracing methods, ILASS-Europe 2010
- Lock, J. A. ,Theory of the observations made of high-order rainbows from a single water droplet, Applied Optics, 1987
- Qinyao LI, Qingwei Duan, Kuan Fang Ren, Xiang'e Han, Light scattering patterns of pendant drops. I. Experimental investigation, 2025



Obliczanie Mie rozpraszania przez kroplę wody o promieniu 10 μm światła czerwonego o długości fali = 0,65 μm (dla polaryzacji prostopadłej i równoległej) przy rozdzielczości kątowej 1° .