

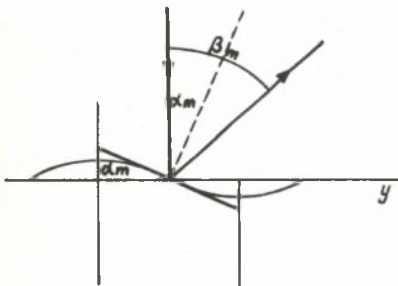
MICHAŁ KOBYLIŃSKI
Katedra Fizyki A

PROSTA METODA OPTYCZNA POMIARU AMPLITUDY
FALI POWIERZCHNIOWEJ

Streszczenie. Opracowano nową metodę optyczną pomiaru małych amplitud fal kapilarnych. Skonstruowano prosty przyrząd służący do pomiarów kąta maksymalnego odchylenia równoległej wiązki światła odbitej od sfalowanej powierzchni cieczy. Znajomość tego kąta oraz długości fali kapilarnej pozwala obliczyć amplitudę tej fali.

Metoda, którą opracowałem opiera się na pomiarze kąta maksymalnego odchylenia równoległej wiązki światła odbitej od sfalowanej powierzchni cieczy. Kąt odbicia od tej powierzchni jest największy, gdy promień świetlny pada na punkty powierzchni, w których wychylenie zmienia swój znak. Wynika to z faktu, że styczna do sinusoidy w punkcie przegięcia tworzy maksymalny kąt (α_m) z jej osią leżącą na powierzchni swobodnej cieczy: (na rys. 1 z osią Y).

Zaletą tej metody jest to, że nadaje się do pomiarów amplitud małych w stosunku do długości fali. Jak widać na rys. 1



Rys. 1

maksymalny kąt odbicia β_m przy pionowej wiązce padającej jest równy podwójnemu kątowi α_m , który tworzy styczna w punkcie przegięcia z poziomem. Kąty te leżą w płaszczyźnie pionowej zgodnej z kierunkiem promienia fali.

Związek między kątem α_m , a amplitudą (A) fali biegnącej znajdujemy wychodząc z równania fali sinusoidalnej.

$$X = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{Y}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Pochodna x względem y równa się tangensowi kąta, jaki tworzy styczna do sinusoidy w punkcie o określonej fazie

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dX}{dY} = \frac{2\pi A}{\lambda} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{Y}{\lambda} \right) \quad (2)$$

W punktach równowagi $X = 0$. Wobec tego, że w równaniu (1) $A \neq 0$, wynika $\sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{Y}{\lambda} \right) = 0$. Stąd $2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{Y}{\lambda} \right) = 0$, lub $n\pi$, dla $n = 0, 1, 2, \dots$ więc $\cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{Y}{\lambda} \right) = \pm 1$. Z równania (2) oraz powyższych wniosków wynika

$$\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{2\pi}{\lambda} A \quad (3)$$

stąd

$$A = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{tg} \alpha_m = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{tg} \frac{\beta_m}{2} \quad (3a)$$

Bardzo często ma się do czynienia z falą stojącą określoną równaniem

$$X = 2A \cos \frac{2\pi}{\lambda} Y \sin 2\pi \frac{t}{T} \quad (4)$$

Różniczkując względem Y otrzymujemy

$$\frac{dX}{dY} = - \frac{4\pi}{\lambda} A \sin \frac{2\pi}{\lambda} Y \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (5)$$

Węzły tworzą się w odległościach od źródła równych nieparzystej wielokrotności ówiartki długości fali.

$$Y = (2k - 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{dla } k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Z drugiej strony maksimum wychylenia w fali stojącej zachodzi w odstępach czasowych równych nieparzystym wielokrotnościom ówiartki okresu. Stąd

$$\sin \frac{\pi}{2} (2n - 1) = \pm 1 \quad (7)$$

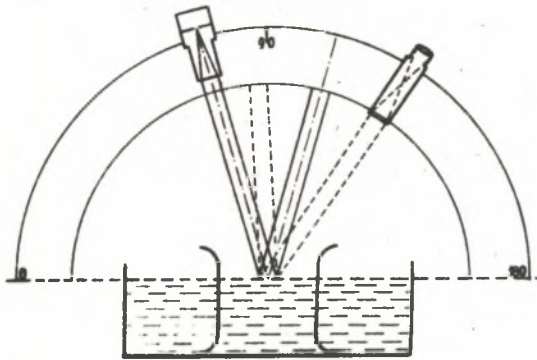
Na podstawie (6) i (7) równanie (5) przyjmuje postać

$$\frac{dX}{dY} = \frac{4\pi A}{\lambda} = \operatorname{tg} \alpha_m \quad (8)$$

Stąd

$$A = \frac{\lambda}{4\pi} \operatorname{tg} \alpha_m = \frac{\lambda}{4\pi} \operatorname{tg} \frac{\beta_m}{2} \quad (9)$$

Długość fali kapilarnej λ można wyznaczyć metodą ugięcia światła lub metodą fotografowania sfalowanej powierzchni w świetle odblaskowym. Pomiaru kąta maksymalnego odchylenia dokonujemy przy pomocy przyrządu, którego schemat przedstawia rys. 2



Rys. 2

Z - źródło skolimowanej wiązki światła, L - lunetka. Źródło światła i lunetka osadzone są na ramionach obracających się wokół osi leżącej na powierzchni odczoły i przechodzącej przez środek krzywizny skali kątovej.

Metodą tą można wyznaczać amplitudy nie przekraczające jednej czwartej długości fali. Zakres pomiaru można powiększyć przez umieszczenie źródła światła po tej samej stronie pionu, po której znajduje się luneta.

Dla przykładu przytoczę jedną serię pomiarów pracy. Długość fali $\lambda = 4,2$ mm, kąt $\alpha_m = 3^{\circ}45'$, obliczona amplituda $A = 0,026$ mm. Wszystkie podane wartości przedstawiają średnią z trzech pomiarów. Błąd metody określony wzorem $\Delta A = A \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda} - \frac{\Delta \beta_m}{\sin \beta_m} \right)$ dla powyższego pomiaru równa się 0,0018 mm.

LITERATURA

- [1] Becker H.E.R.: Die Analyse von Niederfrequenz durch Lichtbeugung an Kapillarwellen. Annalen der Physik 5, B. 36. H. 7. 1939.
- [2] Kalähne A.: Ueber die Benutzung stehender Capillarwellen auf Flüssigkeiten als Beugungsgitter und die Oberflächenspannung von Wasser und Quecksilber: Annalen d. Physik 4. B. 7. 1902.
- [3] Grummach L.: Experimentelle Bestimmung Kapillaritätskonstanten kondensirter Gase. Annale der Physik 3. p. 118. 1900.
- [4] Grummach L.: Experimentelle Bestimmung der Oberflaeochen-spannung von Flüssigkeiten und von geschmolzenen Metallen durch Messung der Wellenlänge der auf ihnen erzeugten Capillarwellen. Annale der Physik. V.9.1902.
- [5] Sommerfeld A.: Mechanik der deformierbaren Medien. V K. Theorie der Wellen. Leipzig 1949.
- [6] Rambokis Sokrates: Ueber die Phasengeschwindigkeit von Wellen endlicher Amplitude. Zeitschrift f. Meteorologie 1. 1947. H. 10.

ПРОСТОЙ ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ

Р е з ю м е

Разработан новый оптический метод измерения амплитуд капиллярных волн. сконструировано простой прибор, служащий для измерения угла максимального отклонения параллельного светового пучка, отражённого от взволнованной поверхности жидкости.

Зная этот угол, а также длину капиллярной волны, можно вычислить амплитуду этой волны.

SIMPLE OPTICAL METHOD OF THE SURFACE WAVE
AMPLITUDE MEASUREMENT

S u m m a r y

A new optical method of the small capillary waves amplitude measurement has been worked out. A simple device has been constructed, which allows measurement of the maximum deflection angle of the parallel light beam, reflected from the undulated liquid surface. Knowledge of this angle as well as knowledge of the capillary wave length allows the computation of this wave's amplitude.