

Fizyka I (mechanika) 1100 - 1AF14

Fizyka I 1100 - 1B01

Wykład 14

Jerzy Łusakowski

Plan wykładu

Doświadczenie Michelsona - Morley'a

Elementy hydromechaniki

Hipoteza eteru

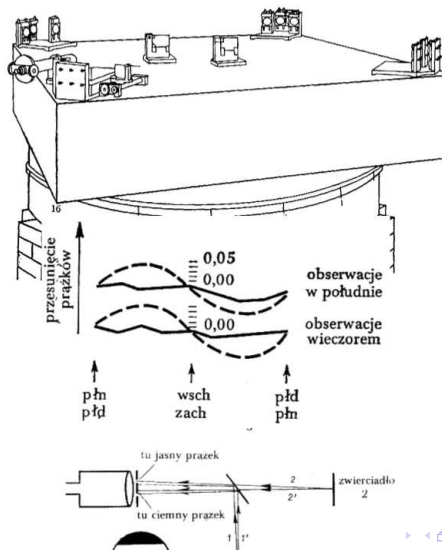
Eter - hipotetyczna substancja rozciągająca się wszędzie (nawet w próżni), przenikająca wszystko.

Eter był “potrzebny”, aby wyjaśnić zagadnienie rozchodzenia się światła - wydawało się, że musi istnieć jakiś ośrodek, w którym światło się rozchodzi.

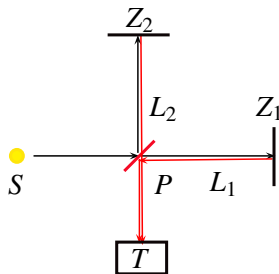
Eter wiązano z absolutną, nieruchomą przestrzenią Newtona.

Eter, gdyby istniał, musiałby mieć niewykrełe właściwości - byłby bardzo sprężysty (ogromna wartość prędkości światła), a jednocześnie doskonale przezroczysty i przenikliwy (np. ruch planet odbywa się bez zauważalnego oporu).

Interferometr Michelsona



Hipoteza eteru i doświadczenie Michelsona - Morley'a



Z_1 , Z_2 - zwierciadła, T - teleskop, S - źródło światła

Obserwowano obraz interferencyjny promieni odbitych od zwierciadeł Z_1 i Z_2 .

Obraz interferencyjny powstaje w wyniku różnicy dróg $P \rightarrow Z_1 \rightarrow P$ oraz $P \rightarrow Z_2 \rightarrow P$.

Hipoteza eteru i doświadczenie Michelsona - Morley'a

Przypuśćmy, że ramię PZ_1 jest skierowane zgodnie z ruchem Ziemi względem eteru. Ziemia porusza się względem eteru z prędkością v_Z , zaś światło - z prędkością c . Względem interferometru światło porusza się z taką prędkością c' , że wynikająca z tego prędkość światła względem eteru jest równa c . Oznacza to, że gdy światło porusza się w interferometrze w kierunku ruchu Ziemi (droga $P \rightarrow Z_1$), jego prędkość względem interferometru wynosi $c - v_Z$, a gdy przeciwnie - prędkość jest równa $c + v_Z$. Czas potrzebny na przebycie drogi $P \rightarrow Z_1 \rightarrow P$ wynosi:

$$\Delta t_1 = \frac{L_1}{c - v_Z} + \frac{L_1}{c + v_Z} = \frac{2L_1}{c} \gamma^2,$$

gdzie

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \beta = \frac{v_Z}{c}.$$

Hipoteza eteru i doświadczenie Michelsona - Morley'a

Dla promienia poruszającego się w drugim ramieniu, prędkość w układzie interferometru c' musi spełniać zależność:

$$c^2 = c'^2 + v_z^2, \quad \text{czyli} \quad c'^2 = c^2 - v_z^2.$$

Czas potrzebny na przebycie drogi $P \rightarrow Z_2 \rightarrow P$ wynosi:

$$\Delta t_2 = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - v_z^2}} = \frac{2L}{c} \gamma.$$

Różnica $\Delta t_1 - \Delta t_2$ powoduje różnicę fazy promieni docierających do lunety i pojawieniu się obrazu interferencyjnego.

Hipoteza eteru i doświadczenie Michelsona - Morley'a

Badano, czy obraz się zmieniał, gdy interferomer był obracany wokół osi pionowej o 90° - oczekujemy wtedy zmiany $\Delta t_1 - \Delta t_2$. Nie zaobserwowano zmiany obrazu interferencyjnego.

W doświadczeniu Kennedy'ego i Thorndike'a prowadzono obserwacje przez wiele miesięcy, szukając zmiany obrazu interferencyjnego wywołanego ruchem Ziemi wokół Słońca.

Wszystkie te doświadczenia dały wynik negatywny,
co doprowadziło do
odrzućcenia hipotezy o istnieniu eteru.

Płyny: gazy i ciecze

Płynem jest to, co może płynąć, czyli ciecz lub gaz.

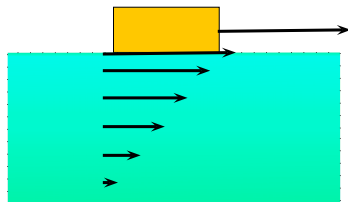
Istotne różnice pomiędzy cieczą a gazem:

- ▶ w gazie nie powstają napięcia styczne, które są obecne w cieczy lepkiej. Siły te pojawiają się wskutek przekazu pędu między sąsiednimi warstwami poruszającej się cieczy. W *cieczy nielepkiej* zwanej inczej *idealną* nie występują napięcia styczne.
- ▶ gaz wypełnia całą objętość naczynia, natomiast ciecz tylko pewną jego część - pojawia się *powierzchnia swobodna*

Siła lepkości

Siła lepkości jest siłą *tarcia wewnętrznego* pojawiającą się podczas ruchu cieczy rzeczywistej, czyli lepkiej.

- ▶ Siła oporu działająca na ciało poruszające się w cieczy lub gazie (ogólnie - w płynie).
- ▶ Zależy od wielu czynników, jak: prędkość, gęstość płynu, rozmiary ciała,...
- ▶ Będziemy rozpatrywać najprostszy przypadek, gdy siła lepkości jest proporcjonalna do prędkości poruszającego się ciała.



Opis dynamiki płynu

Dynamikę płynu opisują dość skomplikowane równania, których wyprowadzenie daleko wykracza poza zakres niniejszego wykładu.

Równania te wiążą ze sobą wielkości, które są istotne dla przepływów: gęstość płynu, jego prędkość, lepkość, temperaturę, siły zewnętrzne, napięcie powierzchniowe, oddziaływanie ze ściankami, obecność przeszkód, źródeł, ścieków, itd.

Należy także uwzględnić zasady zachowania: pędu, energii, momentu pędu, masy, bilansu entropii, uwzględnić ściśliwość, przewodnictwo cieplne, itd.

Podstawowe prawa hydromechaniki

Ograniczymy się do podania najprostszych praw hydromechaniki. Są to:

- ▶ prawo Archimedesesa
- ▶ prawo Pascala
- ▶ prawo Bernoulliego
- ▶ prawo Younga - Laplace'a

Podstawowe prawa hydromechaniki

Wszystkie te prawa wynikają z ogólnej analizy przepływów cieczy.

- ▶ Prawo Archimedesesa wynika z warunku równowagi sił dla ciała pływającego. Prawo to odnosi się do przypadku statycznego, więc jest słuszne dla każdego płynu.
- ▶ Prawo Pascala obrazuje ciśnienie w cieczy idealnej w przypadku ruchu oraz dla każdej cieczy w przypadku stacjonarnym.
- ▶ Prawo Bernoulliego jest wyrazem zasady zachowania energii mechanicznej dla cieczy idealnej.
- ▶ Prawo Younga - Laplace'a i prawa Plateau są wyrazem zasady zachowania energii związanej z napięciem powierzchniowym
- ▶ prawa Plateau

Prawo Archimedesesa

Archimedes z Syrakuz (287 - 212 p.n.e.)

Na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu, równa liczbowo ciężarowi wypartej cieczy.

Prawo Pascala

Blaise Pascal (1623 - 1662)

Jeśli na płyn znajdujący się w zamkniętym zbiorniku wywierane jest ciśnienie zewnętrzne, to (pomijając ciśnienie hydrostatyczne) ciśnienie wewnątrz zbiornika jest wszędzie jednakowe i równe ciśnieniu zewnętrznemu.

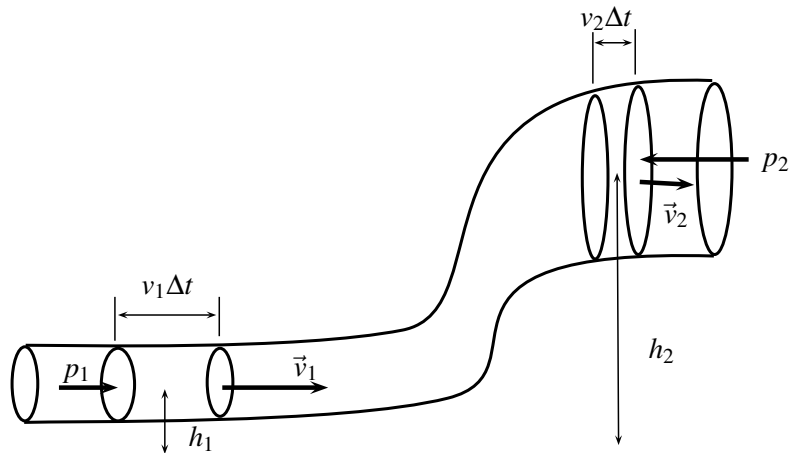
Prawo Pascala

Prawo Pascala można także sformułować w sposób uwzględniający ciśnienie hydrostatyczne:

*Ciśnienie w płynie na tym samym poziomie jest stałe. Różnica ciśnień między warstwami znajdującymi się na głębokości h_1 i h_2 wynosi:
 $\Delta p = \rho g(h_2 - h_1)$, gdzie ρ jest gęstością cieczy, a g - przyspieszeniem ziemskim.*

Prawo Pascala należy rozumieć w taki sposób, że ciśnienie wywierane na mały element powierzchni (na tyle mały, aby można uznać, że znajduje się na określonej głębokości) nie zależy od tego, w jaki sposób ten element jest ustawiony w stosunku do pionu.

Równanie Bernoulliego



Równanie Bernoulliego (1700 - 1782)

Zmiana energii kinetycznej elementu płynu o masie

$\Delta m = v_1 S_1 \Delta t = v_2 S_2 \Delta t$ jest równa

$$\frac{\Delta m v_2^2}{2} - \frac{\Delta m v_1^2}{2}.$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii, zmiana ta jest równa pracy sił zewnętrznych - siły grawitacji i parcia hydrostatycznego:

$$\begin{aligned} -\Delta m g (h_2 - h_1) + (-p_2 S_2 v_2 + p_1 S_1 v_1) \Delta t &= \\ = -\Delta m g (h_2 - h_1) + (-p_2 + p_1) \Delta m / \rho. \end{aligned}$$

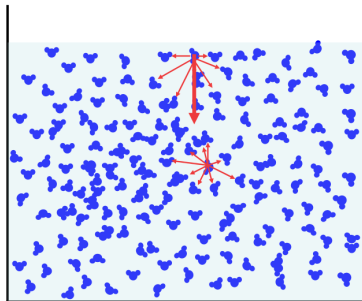
Stąd

$$p + \rho g h + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const.}$$

W przewężeniach ciecz płynie szybciej, więc ciśnienie jest mniejsze.

Napięcie powierzchniowe

Napięcie powierzchniowe



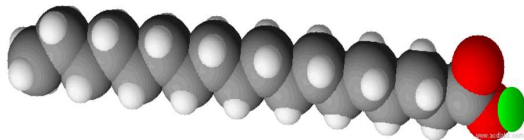
Napięcie powierzchniowe definiujemy jako pracę na jednostkę powierzchni potrzebną do powiększenia powierzchni rozdziału faz.

Mydło

Rolą detergentów jest zmniejszenie napięcia powierzchniowego.

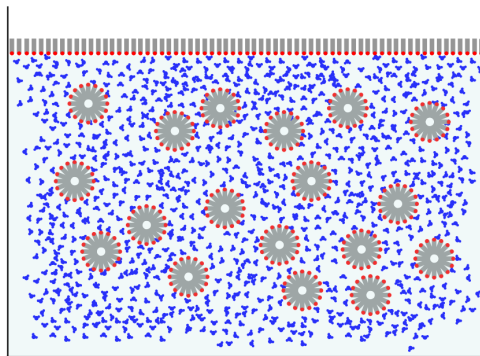
Cząsteczka mydła

Stearynian sodu: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COONa}$

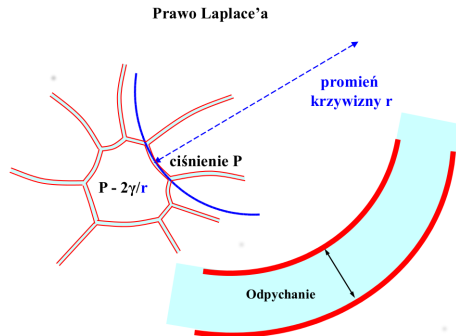


Warstwa detergentu na powierzchni wody

Zmniejszenie napięcia powierzchniowego



Prawo Laplace'a



Zakrzywienie powierzchni prowadzi do zmian ciśnienia:

$$\Delta p \sim \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Prawa Plateau

Prawa Plateau – sucha piana

Joseph Antoine Ferdinand Plateau, 1801 - 1883

Przecinać mogą się tylko
trzy płaszczyzny na raz,
i to pod kątem 120°



W wierzchołkach mogą
spotkać się tylko cztery
krawędzie (które są ułożone
jak wysokości
czworościanu)



1873
Statique Expérimentale et Théorique
des Liquides soumis
aux seuls Forces Moléculaires

1976
Jean E. Taylor – dowód

F. J. Almgren, J. E. Taylor,
Scientific American 241, 82 (1976)



Żyjątka

Rola napięcia powierzchniowego w rozwoju organizmów

