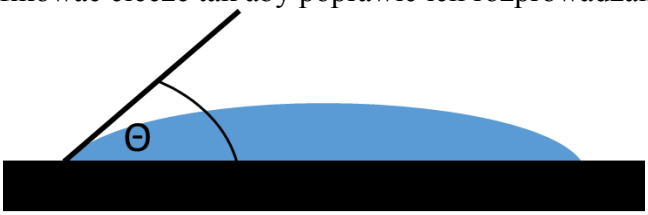
C2. Wyznaczanie kąta zwilżania powierzchni metodą siedzącej kropli.

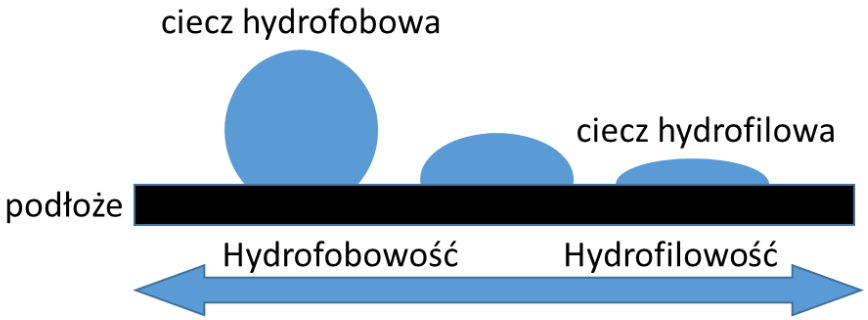
***Celem ćwiczenia** jest poznanie zjawisk zwilżalności, hydrofobowości i hydrofilowości powierzchni oraz eksperymentalne wyznaczenie kąta zwilżania.*

Kąt zwilżania jest to kąt, jaki tworzy styczna do powierzchni kropli pomiarowej osadzonej na powierzchni ciała stałego, w punkcie styku trzech faz stałej, ciekłej i gazowej. Kąt zwilżania mówi nam, jak dobrze (lub słabo) ciecz rozprowadzi się po powierzchni. Kąty zwilżania stanowią użyteczny wskaźnik między innymi w procesach produkcji farb, lakierów oraz emulsji. Wskaźnik zwilżania pozwala modyfikować ciecze tak aby poprawić ich rozprowadzanie.



Rysunek 1 Zaznaczony kąt zwilżania dla cieczy naniesionej na płaskie podłoże.

Wielkość kąta zwilżania zależy od właściwości fizycznych cieczy, podłoża oraz warunków otaczającej atmosfery.

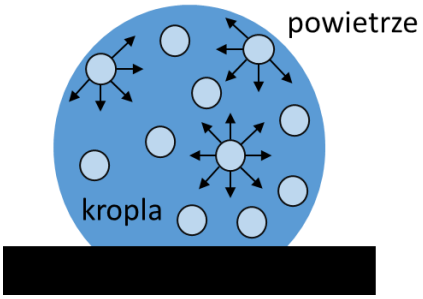


Rysunek 2 Zachowanie się cieczy, w zależności od jej zwilżalności, na danym podłożu.

Rysunek 2 przedstawia trzy różne krople na powierzchni. Kropla znajdująca się najbardziej po lewej stronie ma duży kąt zwilżania, ponieważ nie rozchodzi się po stałej powierzchni. Kropla znajdująca się najbardziej po prawej stronie ma mały kąt zwilżania, ponieważ dobrze się rozprowadza. To rozprzestrzenianie się kropli na podłożu znane jest jako „zwilżanie".

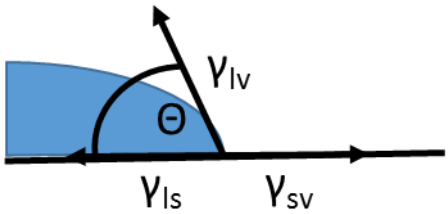
Zwilżalność jest procesem polegającym na pokrywaniu się makroskopową warstwą cieczy powierzchni w danej atmosferze, gdy ciecz pozostaje fazą niestabilną jako faza objętościowa. Warstwa taka tworzy się na skutek oddziaływania powierzchni preferujących kontakt z fazą ciekłą. Jeżeli dana powierzchnia jest dobrze zwilżalna daną cieczą, to mówimy, że jest ona **hydrofilowa**. Przeciwieństwem tego zjawiska jest brak zwilżalności. Powierzchnie niezwilżalne danymi cieczami nazywamy **hydrofobowymi**.

Napięcie powierzchniowe kropli określone jest przez interakcje między jej cząsteczkami składowymi. Cząsteczki składowe kropelki cieczy przedstawiono na rysunku 3. W większości objętości kropli siły międzycząsteczkowe oddziałują na cząsteczkę jednakowo ze wszystkich stron. Jednak na powierzchni kropli nie ma cząsteczek cieczy po stronie zewnętrznej. Cząsteczki na powierzchni są ze sobą silniej związane niż cząsteczki w wnętrzu kropli, ponieważ nie są przyciągane ze wszystkich stron. Oznacza to, że cząsteczką składowym cieczy trudniej jest pokonać powierzchnię niż poruszać się w masie we wnętrzu kropli.



Rysunek 1 Cząsteczki kropelki cieczy.

Gdy kropla styka się z powierzchnią, należy wziąć pod uwagę trzy granice: powierzchnia, ciecz i otaczającą je atmosfera (zwykle powietrze).



Rysunek 2 Wykres sił w punkcie, w którym krawędź kropli napotyka stałą powierzchnię. Trzy strzałki przedstawiają siły wywierane przez napięcia powierzchniowe na trzech płaszczyznach: ciecz-powierzchnia, ciecz-atmosfera i powierzchnia-atmosfera.

W punkcie, w którym krawędź kropli napotyka stałą powierzchnię, każda siła odpycha się od punktu równowagi, tak aby kropla była w równowadze. Siły są zrównoważone i można je opisać następującym równaniem:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{ls} + \gamma_{lv} \cos \Theta$$

Napięcie powierzchniowe ciecz-atmosfera to cosθ stąd:

$$\cos \Theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{ls}}{\gamma_{lv}}$$

Z powyższego równania wynika że:

Jeśli $\gamma_{sv}<\gamma_{ls}$, to cosθ jest ujemny, a zatem kąt θ jest mniejszy od 90°, to kropla jest zwilżająca. Zjawisko takie zajdzie gdy podłożem będzie ciało stałe o wysokiej energii powierzchniowej (metal) lub kropla będzie cieczą o niskim napięciu powierzchniowym.

Jeśli $\gamma_{sv}> \gamma_{ls}$, cosθ jest dodatni, a zatem kąt θ jest większy od 90°, to kropla nie jest zwilżająca. Może to mieć miejsce w przypadku podłoża z ciała stałego o niskiej energii powierzchniowej lub gdy kropla jest cieczą o wysokim napięciu powierzchniowym (woda).

Stąd gęstość energii powierzchniowej (jednostki: J/m^2) zrównujemy z napięciem powierzchniowym (jednostki: N/m):

$$Gęstość\ Energii\ Powierzchniowej = \frac{Energia}{Powierzchnia} = \frac{J}{m^2}$$

$$Energia = Siła\ x\ Odległość = Nm$$

$$Gęstość\ Energii\ Powierzchniowej = \frac{Siła\ x\ Odległość}{Powierzchnia} = \frac{Nm}{m^2} = \frac{N}{m}$$

Literatura uzupełniająca:

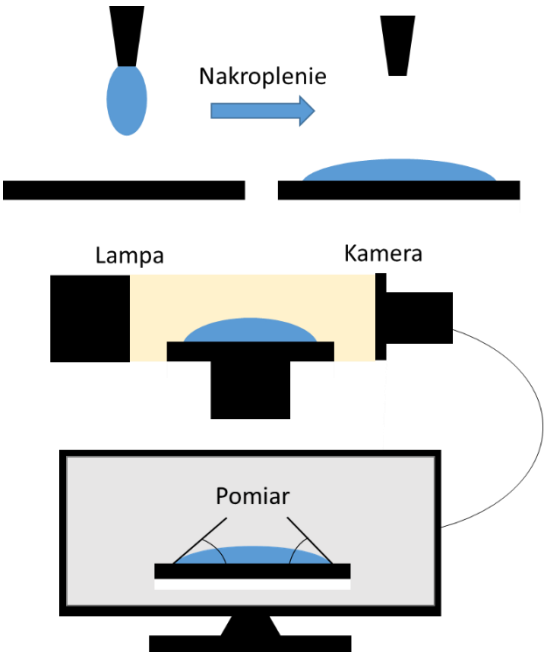
1. S. Przestalski – Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki, Zobacz też: symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki* (**https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/**) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*).

C2 .Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: komputer, goniometr, strzykawka, statyw, zlewka



1. Uruchamiamy komputer oraz goniometr, zdejmujemy osłonę z kamery.
2. Uruchamiamy program Ossila Contact Angle
3. Wybrane podłoże kładziemy na stoliku, strzykawkę napełniamy wodą i montujemy na statywie w pozycji pionowej.
4. Robimy jedną kroplę wody na wybranej powierzchni, wcześniej upewniając się czy powierzchnia leży płasko.
5. W programie Ossila Contact Angle uruchamiamy kamerę goniometru klikając przycisk „start kamera”, zaznaczamy Analyze Recorded Image następnie klikamy przycisk „Record” w celu wykonania zdjęcia. Całość kończymy klikając przycisk „Stop Camera”
6. Przechodzimy do zakładki Analyze, zaznaczamy contact angle.
7. Następnie w zakładce Analyze, w okienku z wykonanym zdjęciem kropli wody, zaznaczamy kroplę tak aby nie zaznaczyć jej odbicia na podłożu.
8. Klikamy przycisk „Analyze”.
9. Sprawdzamy czy program poprawnie wybrał kąty zwilżania, jeżeli nie ponownie zaznaczamy kroplę. Odczytujemy wartość „Average Angle”, którą wpisujemy do odpowiedniej tabelki.
10. Wycieramy kroplę
11. Powtarzamy kilkukrotnie punkty 4 do 10.

Tabela 1 temperatura pomiaru: t = ……[^{o}C]

Rodzaj cieczy: ……

Rodzaj podłoża: ……..……

numer kropli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kąt zwilżania θ_1										

Wartość średnia $\theta_{1śr}$ = ……

Błąd wartości średniej $\Delta\theta_{1śr}$ = ……..…….

Zestawienie ($\theta_{1śr} \pm \Delta\theta_{1śr}$) = ……..……..…….

Tabela 22 temperatura pomiaru: t = ……[^{o}C]

Rodzaj cieczy: ……

Rodzaj podłoża: ……..……

numer kropli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kąt zwilżania θ_2										

Wartość średnia $\theta_{2śr}$ = ……

Błąd wartości średniej $\Delta\theta_{2śr}$ = ……..…..

Zestawienie ($\theta_{2śr} \pm \Delta\theta_{2śr}$) = …..……..…….

Opracowanie wyników

1. Odczytujemy wartość temperatury t.
2. Obliczamy średnie wartości kąta zwilżania $\theta_{śr}$.
3. Bezwzględny błąd pomiaru wartości kąta zwilżania dla badanego podłoża jako trzykrotną wartość odchylenia standardowego, czyli:

$$\Delta\theta_{śr} = 3SD = 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\theta_{śr} - \theta_i)^2}{n(n-1)}}$$

4. Dla obu podłoży zestawiamy otrzymane średnie kąta zwilżania $\theta_{śr}$ z odpowiednio zaokrąglonymi błędami bezwzględnymi $\Delta\theta_{śr}$, czyli ($\theta_{1śr} \pm \Delta\theta_{1śr}$) oraz zestawienie ($\theta_{2śr} \pm \Delta\theta_{2śr}$).
5. Określamy czy dane podłoże jest hydrofilowe czy hydrofobowe.