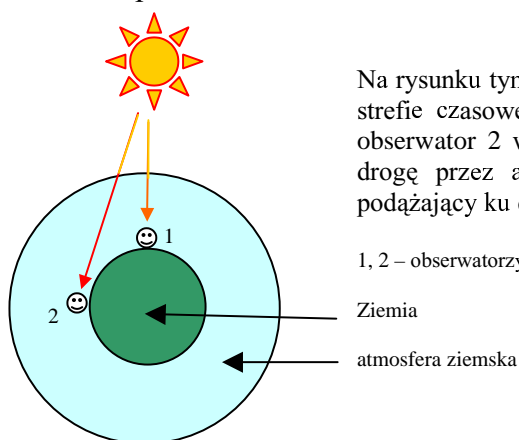


Białko jajka

Białe światło po przejściu przez plasterek ugotowanego białka jaja staje się czerwone. Zbadaj i wyjaśnij to zjawisko. Znajdź inne przykłady tego rodzaju.

Wieczorem, podczas zachodu słońca obserwujemy, że przybiera ono barwę czerwoną. Tak samo zabarwiają się chmury niedaleko słońca, mimo iż normalnie podczas dnia są białe, a słońce świeci światłem białym. Dlaczego tak się dzieje? Jest to przypadek bardzo podobny do zjawiska, jakie zachodzi, kiedy świecimy światłem białym przez plasterek jajka (jednak jest on dużo lepiej widoczny i możliwy do zaobserwowania codziennie przy dobrej pogodzie ☺). Co powoduje, że widzimy czerwone słońce? Kluczem do tych rozważań staje się atmosfera. Promienie słoneczne nim dotrą do naszego oka pokonują warstwę atmosfery, która otacza ziemię. Oczywiście jest, że atmosfera ta stawia tym promieniom jakiś opór, dlatego nie cała energia dociera do powierzchni ziemi. Zobaczmy jak wygląda droga promieni świetlnych za dnia i podczas zachodu słońca:



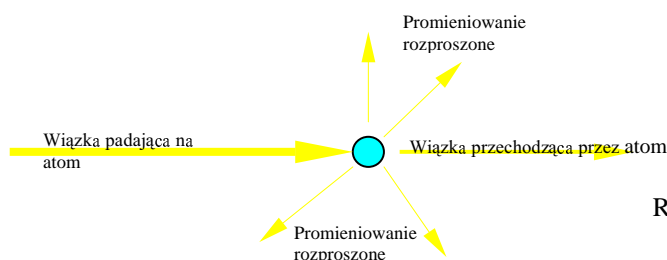
Na rysunku tym widać, że obserwator 1 znajduje się w strefie czasowej gdzie jest właśnie południe, z kolei obserwator 2 widzi zachód słońca. Wyraźnie dłuższą drogę przez atmosferę przebywa promień świetlny podążający ku drugiemu obserwatorowi.

1, 2 – obserwatorzy znajdujący się w różnych miejscach na Ziemi

Ziemia

atmosfera ziemiska

Widzimy, że podczas zachodu promienie te mają do przebycia dużo dłuższą drogę przez atmosferę niż za dnia. Jaki to ma jednak wpływ na barwę tego światła? Skupmy się na tym jak zbudowane jest powietrze naszej atmosfery. Na budowę powietrza składa się bardzo dużo elementów. Jest to mieszanina wielu gazów w różnym stężeniu, a także para wodna. Cząsteczki powietrza nie są poukładane regularnie. Tak jak w każdym innym gazie cząsteczki te poruszają się chaotycznie, przez co gdzieś jest ich więcej a gdzieś mniej. Jest to oczywiście ustawienie chwilowe i przypadkowe. Układ jest w ciągłym ruchu i cały czas się zmienia. Jaki to ma jednak wpływ na nasze zjawisko? Wiadomo, że cząstka zawieszona w próżni stanowi tarczę dla wiązki światła. Promień napotykający taką przeszkodę może zostać przez nią odbity bądź pochłonięty. Jakie są tego skutki? Oczywiście wynika z tego, że do powierzchni ziemi dociera światło o mniejszym natężeniu, niż wychodzące ze źródła. Ale zauważamy, że z wiązki światła polichromatycznego (światło białe jest wiązką wielu barw światła takich, jak w tęczy) najbardziej zmalało natężenie barw bliższych błękitu, zieleni, natomiast najmniej zmieniło się natężenie barw żółtych i czerwonych. W efekcie widzimy światło czerwone. W literaturze naukowej mówi się o rozpraszaniu światła. Cząstki molekularne nie tyle odbijają światło (ponieważ wiemy, że cząstka nie jest jednolita i światło może przez nią przejść), co po prostu absorbują energię świetlistą, a potem ją wypromieniowują, z tym że kierunek wypromieniowanej energii jest przypadkowy (rys2).



Rys 2

Wiązka światła padająca na dany atom może wzbudzić jego elektron do drgań (jest to model uproszczony, ponieważ zależy nam na zrozumieniu samego zjawiska). Wiadomo, że żaden układ nie trzyma energii w nieskończoność. Jest to zgodne z zasadą, że każdy układ dąży do zajęcia możliwie najniższego poziomu energetycznego. Elektron będzie zatem wypromieniowywał energię pochłoniętą, powoli wyhamowując swoje drgania. Prędkość wypromieniowywania tej energii jest zależna od częstości drgań elektronu (im większa częstotliwość tym większe przyspieszenie elektronu podczas ruchu, a zatem i prędkości chwilowe też są odpowiednio większe. Szybszą cząstkę łatwiej wyhamować do nieporównywalnie mniejszej prędkości, niż wolną cząstkę), która jest zależna od częstotliwości wiązki światła jaka pobudziła elektron do drgań. Zatem szybciej wypromieniowywana jest pochłonięta energia wiązki światła o większej częstotliwości.

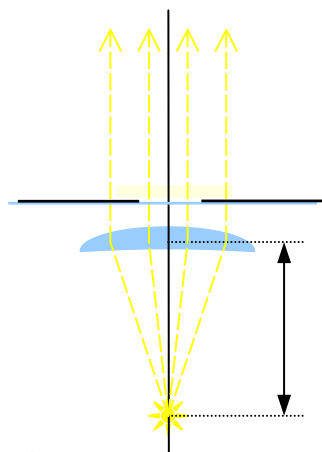
Dla uproszczenia jednak, aby nie zagłębiać się w bardzo trudnych równaniach spójrzmy na to globalnie. Jaka jest całkowita energia rozproszona we wszystkich kierunkach w jednostce czasu? W literaturze naukowej dla zobrazowania tej wielkości używa się pola powierzchni, która by zasłoniła pewną część wiązki światła. Powierzchnię tę nazywa się przekrojem czynnym na rozpraszanie i mówi nam jaka część natężenia światła została rozproszona. Ilość tego natężenia jest również opisana w jednym z najważniejszych praw tego działu. Mowi o tym prawo Rayleigha, które można zapisać równaniem:

$$I(\omega) = \frac{\omega^2 k T}{\pi^2 c^2}$$

Gdzie **T** to temperatura w skali Calvina **k** to pewna stała
c to oczywiście prędkość światła

Ponieważ energia tych promieni światła, których częstotliwość jest większa, jest wypromieniowywana szybciej to w rezultacie rozpraszanie światła o większych częstotliwościach zachodzi szybciej niż światła zbliżonego ku czerwieni. Ze wzoru widzimy, że ilość rozproszonego światła jest proporcjonalna do czwartej potęgi częstotliwości tego światła. Zatem światło o częstotliwości 2 razy większej będzie rozpraszane aż 16 razy bardziej intensywnie. Dlatego z widma światła białego przechodzącego przez atmosferę rozpraszane są bardziej częstotliwości światła zbliżającego się ku fioletowi. Na tej zasadzie działa nasza warstwa ozonowa, nie przepuszczając na powierzchnię promieni światła ultrafioletowego, które jak wiadomo jest bardzo energetyczne ze względu na bardzo dużą częstotliwość.

Zbudowaliśmy przyrząd do zbadania zjawiska zachodzącego w jajku (schemat – rys3)



Rys.3



Przez plasterek jajka przechodzi równoległa wiązka światła białego. Dzięki temu przez całą grubość plasterka jajka przechodzi wiązka światła o takim samym natężeniu. To jest ważne dla wytłumaczenia zjawiska, ponieważ, eliminujemy z rozważań zmianę natężenia w zależności od odległości od źródła. Naszym źródłem światła jest mała żaróweczka żarowa (można ją uznać jako źródła światła punktowego, ponieważ włókno, które świeci jest bardzo małe). Żarówkę umieściliśmy w ognisku soczewki, przez co uzyskaliśmy równoległą wiązkę (sprawdziliśmy to porównując rozmiary otworu w przesłonie z rozmiarami jego obrazu na bardzo odległym ekranie, czyli suficie. Różnica w wielkości była mniejsza niż milimetr, co dawało nam pewność, że na odcinku tak długim jak grubość plasterka jajka – do 1,3 cm., różnica będzie do zaniedbania). Wiązkę tę ograniczyliśmy przesłoną z czarnego papieru z dwóch powodów. Aby wyeliminować problemy związane z aberacją sferyczną soczewki oraz po to, aby wiązka ta nie była szersza od plasterków jajka, co by bardzo zaburzyło obserwację zmiany barwy jajka między środkiem plasterka a jego brzegiem. Jajko również użyliśmy takie, aby ułatwić sobie obserwację. Białko surowego jajka waliśmy do pojemniczka po filmie fotograficznym. W pokrywie zrobiliśmy dziurkę, aby swobodnie mogło się wyrównywać ciśnienie i ugotowaliśmy je. Dzięki temu mieliśmy walec zrobiony z samego białka, który można było ciąć go na dowolnie grube plastry.

W naszym doświadczeniu kładliśmy plasterki białka nad otworem w przesłonie i obserwowaliśmy barwę, jaką przybierało jajko. Zauważyliśmy, że jest ona zależna od grubości plasterka jajka, jakiego użyliśmy. Światło prawie nie zmienia swej barwy, kiedy przechodzi przez bardzo cieniutki plasterki jajka. W miarę jak plasterki są grubsze światło zmienia swój kolor dążąc do czerwieni, jednocześnie traci dość szybko natężenie. Niestety nie udało się nam osiągnąć barwy czerwonej tak, aby dało się to zarejestrować na taśmie, ponieważ miało ono tak małe natężenie, że aby je zaobserwować, musieliśmy umieścić układ w ciemni i zaciemnić również nasze źródło światła.



Barwę czerwoną (ze względu na subiektywność oceny barwy oraz bardzo małego natężenia tego światła nie mam pewności, czy na pewno było to światło czerwone, czy bardziej pomarańczowe) obserwowaliśmy, kiedy plasterki o grubości około 9 milimetrów położony był na stoliku urządzenia. Natężenie światła przechodzącego przez ten plasterki było tak małe, że musieliśmy prowadzić obserwacje w ciemni. Dodatkowo, aby nie widzieć światła pochodzącego ze źródła użyliśmy rury z czarnego (w środku) papieru, przez którą obserwowaliśmy jajko (zdjęcie powyżej).

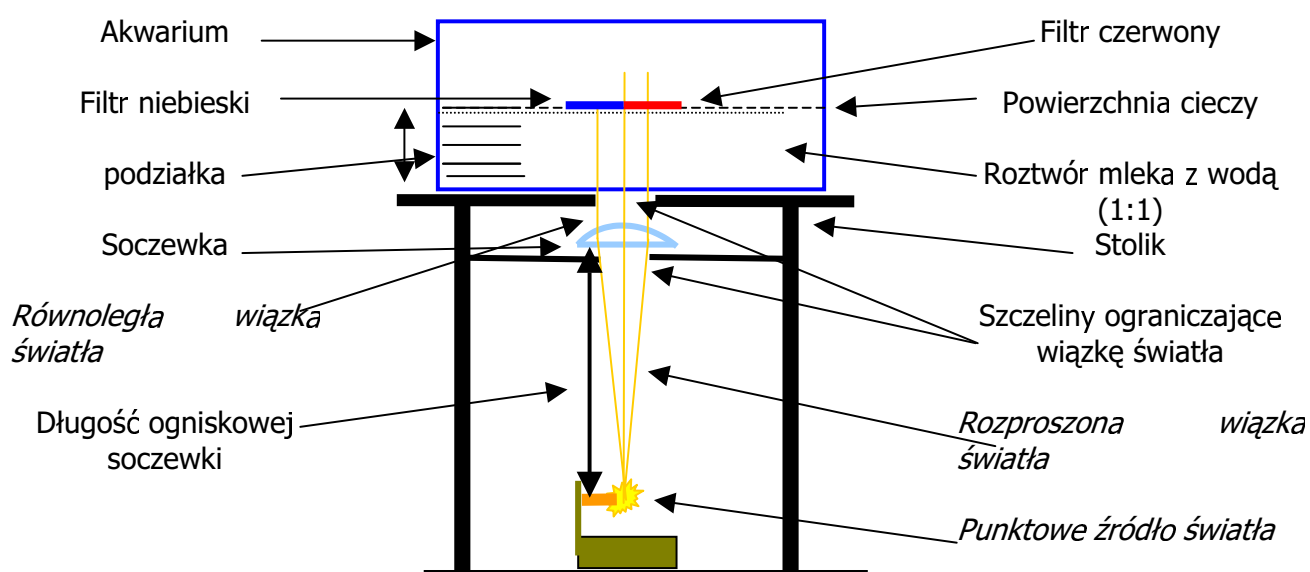
Obserwacje prowadziliśmy także dla żarówek o różnych mocach tak, aby zbadać wpływ natężenia światła wpadającego na barwę określonej grubości plasterka. Zauważyliśmy, że dla większego natężenia światła, taką samą barwę światła uzyskujemy dla grubszego plasterka.

Chciałam przy okazji podkreślić, że analiza barwy światła za pomocą oka ludzkiego jest bardzo ograniczona. Jednak natężenie światła jest tak małe, że nie sposób zbadać go inną metodą.

Lepszy efekt uzyskaliśmy, kiedy zamiast jajka użyliśmy wodnego roztworu mleka. W mleku są kropelki tłuszczu, które pełnią rolę ziarnistości rozpraszających światło. W zależności od stężenia roztworu uzyskiwaliśmy dłuższą bądź krótszą drogę, na jakiej rozpraszane było całkowicie światło niebieskie. Wiązka światła przechodząc przez warstwę cieczy powoli zmienia kolor tak jak w tęczy. Zauważamy tu też, że w zależności od grubości warstwy, przez jaką wiązka światła się przedostaje, dla danego stężenia roztworu, kolor na wyjściu jest inny. Zbliża się ku czerwieni, gdy grubość warstwy wzrasta

Ponieważ w zeszłorocznym Turnieju pojawił się podobny problem, postanowiliśmy użyć także zeszłorocznych wyników badań, aby przedstawić to zjawisko. Badaliśmy wtedy wielkość kropelek tłuszczu w mleku za pomocą bardzo podobnego urządzenia (zasada działania była taka sama, jednak użyłam wtedy innej podstawki oraz mocniejszego źródła światła. Urządzenie to korzysta z faktu, iż z widma światła białego najprędzej rozproszone zostaje światło niebieskie, (co objaśniłam we wcześniejszej części tej pracy).

Rysunek schematyczny ilustruje ogólną zasadę działania urządzenia:



Nasze doświadczenie polegało na tym, że przepuszczaliśmy równoległą wiązkę światła białego, przez roztwór mleka z wodą (jest wtedy większa dokładność pomiarowa). Na początku nalewamy niewiele cieczy i kładziemy na powierzchni filtr czerwony, niebieski. Wiadomo, że filtr niebieski przepuszcza tylko promieniowanie o długości fali odpowiadającej światłu o niebieskiej barwie, analogicznie czerwony filtr – światłu o czerwonej barwie. Obserwujemy, więc jasną plamkę na filtrze (jest to światło niebieskie i czerwone przechodzące przez filtr). Dodajemy ciągle mleka, przez co wydłuża się droga wiązki przez ciecz, a w rezultacie więcej światła ulega rozproszeniu. Wiemy jednak, że szybciej rozpraszane jest światło niebieskie, więc poziom cieczy ustalamy na takiej wysokości, na jakiej na filtrze zniknie jasna plamka po stronie niebieskiej.

Co to oznacza? Oznacza to, że z widma wiązki światła białego uległo całkowitemu rozproszeniu światło niebieskie. Następnie ustalamy poziom, na którym rozproszeniu całkowitemu ulega światło czerwone.

Te dwa punkty charakteryzują zależność stopnia rozproszenia od długości drogi (głębokości) przez roztwór. Można przewidzieć, że mleko bardziej tłuste szybciej rozproszy światło niebieskie, ponieważ ma więcej kropelek. Jednocześnie zauważyłam też, że w kolejnych doświadczeniach odległość między punktem gdzie wygasło światło niebieskie, a punktem gdzie wygasło światło czerwone może być różna nawet dla tej samej zawartości tłuszczu w mleku. Interpretuję to tym, że kropelki tłuszczu mogą się łączyć ze sobą tworząc większe kropelki, jednocześnie zmniejsza się ich ilość. W efekcie zgodnie z prawem Rayleigha większe kropelki bardziej rozpraszają światło o większych długościach, czyli szybciej jest rozpraszane światło czerwone.

Użyliśmy mleka 0%; 0,5%; 1,5%; 2%; 3% w roztworze 1 do 1 z wodą.
A oto wyniki z tamtego doświadczenia:

- Dla mleka 0% wygaszenie światła niebieskiego 6,2cm
- Dla mleka 0,5% wygaszenie światła niebieskiego 5,5cm
- Dla mleka 1,5% wygaszenie światła niebieskiego 4,5cm
- Dla mleka 2% wygaszenie światła niebieskiego 4,3cm
- Dla mleka 3% wygaszenie światła niebieskiego 4cm

Dlaczego zjawisko to jest tak słabo widoczne na jajku? Nasza teoria na ten temat jest taka:

W powietrzu, w porównaniu z białkiem jajka mamy bardzo mało cząsteczek, dlatego odległość pomiędzy ewentualnymi ziarnistościami (zgrupowaniami cząstek jak np. w kropelce mgły) jest dużo większa niż rozmiar samych ziarnistości. W jajku rolę takich ziarnistości najprawdopodobniej pełnią cząsteczki białka. Wiemy, że cząsteczki te są bardzo duże w porównaniu do innych. Jednak w jajku cząsteczek tych jest mnóstwo (białko jest zbudowane niemal z samych cząsteczek białka ☺). Dlatego odległości pomiędzy konkretnymi „ziarnistościami” są niewiele większe, a nawet mniejsze niż same ziarnistości. Prawo Rayleigha odnosi się nie tylko do zależności natężenia rozproszonego światła od częstotliwości wiązki przechodzącej przez ośrodek. Odnosi się również do zależności tegoż natężenia od budowy samego ośrodka. Mówi ono, że im większe ziarnistości w ośrodku tym większej długości fale świetlne są rozpraszane. Dokładniej mówiąc długość fali jaka zostaje rozpraszana jest porównywalna z wielkością ziarnistości. W praktyce im większe “grudki” substancji tym więcej światła zbliżającego się ku czerwieni zostaje rozpraszona. Dlatego, kiedy mamy do czynienia z białkiem jajka zjawisko rozpraszania jedynie barw niskoenergetycznych jest bardzo mało zauważalne. Ziarnistości białka jajka są tak duże i gęsto poukładane, że prawie całe pasmo widma światła białego jest szybko rozpraszane.

Wykonanie:

- Ola Sitko
- Marcin Wolak

Pomoc:

Wyniki badań do zeszłorocznego problemu TMF (rozpraszanie światła) mojego autorstwa
– Ola Sitko