

Co w zeszycie

Ten zeszyt *Neutrino* poświęcony jest głównie Izaakowi Newtonowi, którego słusznie uważa się za geniusza wszech czasów, tego, który pchnął naukę na nowe tory, co niewątpliwie spowodowało rozwój naszej cywilizacji.

Newton jest twórcą mechaniki. Doniosłość mechaniki, jej matematycznego języka, chcemy Wam w niniejszym zeszycie wyjaśnić. Newton zaproponował też teorię grawitacji, która objaśniała nie tylko zjawiska na Ziemi, ale także w naszym układzie planetarnym. W swoim długim życiu zajmował się bardzo poważnie optyką (eksperymentował), a także teologią, alchemią i historią. W tym zeszycie macie okazję zapoznać się z tzw. pierścieniami Newtona oraz z prawem ostygnięcia Newtona, zastosowanym do opisu ochładzającej się kawy. Zapraszamy do lektury.

Z.G-M



Spis treści

Izaak Newton (1642–1727) – geniusz wszech czasów.....	1
Równania Newtona – początek nowożytnej nauki	4
Pierścienie Newtona	8
Jak szybko stygną ciała? Prawo stygnięcia Newtona.....	12
Badanie własności izolacyjnych termosów. Zastosowanie prawa stygnięcia Newtona.....	14
Współczynnik załamania światła równy $\sqrt{2}$	18
Zadania z Lwiątką	20
Zadania różne	21



IV Finał Eksperymentu Łańcuchowego, Kraków, 28 maja 2016

Izaak Newton (1642–1727) – geniusz wszech czasów

Ludzkość miała szczęście, że urodzony w 1642 roku (roku śmierci Galileusza) syn niepiśmiennego rolnika, w dodatku wcześniak (legenda głosi, że Izaak był taki maleńki, iż mieścił się w litrowym garnku) nie tylko przeżył, lecz wykształcił się, został wielkim uczonym, a jego talent i zdolności mogły w pełni rozkwitnąć. Złożyło się na to wiele sprzyjających okoliczności. Po pierwsze Izaak, chociaż był słabowity, wyrósł na całkiem krzepkiego chłopca, a jako mężczyzna wykazywał niezłą kondycję fizyczną mimo prowadzenia bardzo niezdrowego trybu życia. Jak na owe czasy dożył sędziwego wieku, z bujnymi włosami i brakiem tylko jednego zęba. Po drugie Izaak Newton urodził się we właściwym miejscu i we właściwym czasie. Woolsthorpe to wprawdzie wiejska farma w hrabstwie Lincolnshire w środkowowschodniej Anglii, jednak, jak widzimy na załączonej ilustracji, nie jest to zwykła wiejska chata, ale raczej dość zamożny piętrowy dom, do tego położony blisko Grantham, gdzie mieściła się znana Królewska Szkoła, do której uczęszczał Izaak.



Woolsthorpe – rodzinny dom Newtona

źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Woolsthorpe_manor.jpg, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2112481>



Królewska Szkoła w Grantham

źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Isaac_Newton#/media/](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Isaac_Newton#/media/File:The_Original_Kings_School_Grantham.jpg)
[File:The_Original_Kings_School_Grantham.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Isaac_Newton#/media/File:The_Original_Kings_School_Grantham.jpg)

Ponadto, stosunkowo niedaleko znajdował się Uniwersytet w Cambridge, jeden z wiodących europejskich ośrodków naukowych.

W rodzinie i otoczeniu Izaaka znaleźli się wykształceni ludzie. Czas, w którym mu przyszło działać, był również optymalny. W Anglii, i ogólnie w Europie, zaczynała rozwijać się nauka, działały uniwersytety, pracowali znakomici naukowcy, powstało Królewskie Towarzystwo Naukowe. Newton miał z kim prowadzić naukowe dysputy.

Gdyby te wyżej wymienione okoliczności nie zaistniały, zapewne rozwój nauki potoczyłby się, jeśli nie inaczej, to na pewno znacznie wolniej.

Przypatrzmy się, jak to się stało, iż osierocony jeszcze przed swym narodzeniem przez ojca Izaak, już jako wybitnie uzdolniony dziewiętnastolatek rozpoczął studia w Trinity College w Cambridge.



Trinity College_w Cambridge

źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Trinity_College_%28Cambridge%29#/media/File:TrinityCollegeCamGreatCourt.jpg (widok współczesny)

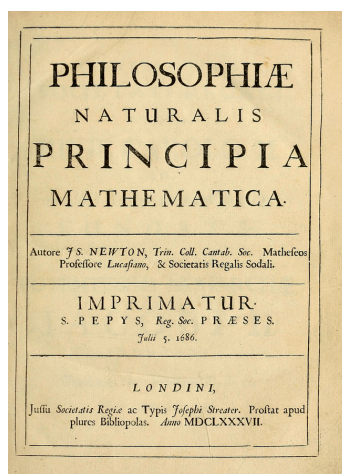
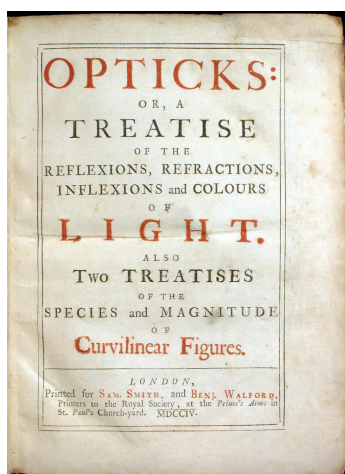
Matka trzyletniego Newtona wyszła ponownie za mąż za Barnabę Smitha, który jako pastor był człowiekiem wykształconym. Podobno Izaak go nie znosił, co może być zrozumiałe, gdyż ten zabrał mu matkę. Izaaka wychowywała babcia, która wysłała go do wiejskiej szkoły. Musiał być bystrym chłopcem, ponieważ zdecydowano się go posłać do cieszącej się bardzo dobrą renomą (do dzisiaj!) Królewskiej Szkoły w Grantham.

Na szczęście nie musiał mieszkać w internacie, tylko w domu zaprzyjaźnionego aptekarza, kolejnego wykształconego człowieka, którego spotkał na swej drodze. W domu aptekarza było laboratorium, w którym to już wtedy mogły rozwinąć się u Newtona zainteresowania alchemią. Newton też dużo majsterkował. To dość częsta cecha u chłopców uzdolnionych do nauk ścisłych. Newton zdołał się odnaleźć w grupie rówieśniczej. Nabył tężyzny fizycznej i potrafił właściwie wykorzystywać swoją przewagę intelektualną. Możliwe, że w czasach dzieciństwa bez matki i ciepła domu rodzinnego, w trudnych latach szkolnych należy szukać przyczyn późniejszego osławionego trudnego charakteru Newtona. Był zazdrosnym samotnikiem, kwerulantem (czyli człowiekiem kłótliwym, procesującym się o swoje racje). Zażarcie walczył o priorytety, z trudem uznawał osiągnięcia kolegów naukowców.

Matka Izaaka Hannah, pomimo iż w Izaaku, swym najstarszym synu, widziała następcę i zarządcę zgromadzonego majątku, za namową swego brata Williama Ayscougha (kolejny wykształcony człowiek w rodzinie Izaaka) zde-

cydowała, iż Izaak po skończeniu szkoły w Grantham rozpocznie studia na Uniwersytecie w Cambridge. Tym razem Izaak zamieszkał w domu dyrektora szkoły Stokesa, który przygotowywał młodego Newtona do studiów. To wtedy miał on pierwszą okazję zapoznania się z *Elementami* Euklidesa. W wymagającej szkole w Grantham Newton studiował intensywnie między innymi łacinę, grekę i hebrajski. To mu się bardzo przydało w czasie późniejszych studiów historycznych. Pomimo iż rodzina nie była bardzo biedna, Newton, aby utrzymać się w Trinity College, zajmował funkcję *subsizara*, czyli mówiąc wprost, musiał usługiwać swoim kolegom studentom. Trzymał się raczej w ich towarzystwie, a nie z innymi *subsizarami*. Musiało to być dla Newtona czasami poniżające i mogło wpłynąć na kształtowanie jego charakteru.

W czasie studiów Newtona w Cambridge utworzono słynną później katedrę matematyki Lukasa, którą objął Isaac Barrow. Profesor Barrow bezbłędnie rozpoznał geniusz Newtona. W 1665 roku Newton uzyskał tytuł bakałarza. Wtedy to nawiedziła Anglię epidemia dżumy, uniwersytet zamknięto, a Newton schronił się w rodzinnej wsi, gdzie bardzo intensywnie pracował przez prawie dwa lata. W efekcie przygotował zręby swojej mechaniki i teorii grawitacji. Miał wtedy doznać „ośnienia”, obserwując spadające z jabłoni jabłko. Po powrocie do Trinity College kariera naukowa Newtona nabrała rozpędu. W 1667 Newton został członkiem Trinity College, a w 1669 roku następcą Barrowa w katedrze matematyki. Rozpoczął się okres jego bardzo intensywnej pracy naukowej i przygotowania do druku wielkich dzieł: *Principiów* i *Optyki*.



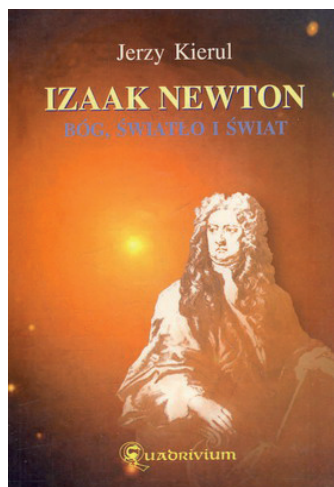
Newton był nie tylko teoretykiem, lecz i zręcznym eksperymentatorem. Jego *Optyka* została oparta na własnoręcznie wykonanych doświadczeniach. Rozwinął teorię koloru. Bardzo poważnie zajmował się alchemią, historią i teologią. Wiele jego prac i przemyśleń z tych dziedzin zostało w rękopisach.

Po odejściu z uniwersytetu ostatnie lata Newton spędził jako urzędnik państwowy. Jeszcze za życia cieszył się ogromnym prestiżem: był członkiem parlamentu i za naukowe zasługi otrzymał posadę zarządcy mennicy (*nota bene* dobrze płatną), został też uhonorowany tytułem szlacheckim. Był członkiem,



Herb Izaaka Newtona

źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton



a następnie dożywotnim prezesem Królewskiego Towarzystwa Naukowego. Pochowano go z honorami w katedrze w Westminster.

Podsumowując, Newton łączył geniusz matematyka i przyrodnika z erudycją filologa, historyka, teologa i alchemika, a także z energią i przedsiębiorczością wielkiego administratora, jakim okazał się będąc zarządcą Mennicy Królewskiej i Prezydentem Królewskiego Towarzystwa Naukowego.

Polecamy czytelnikom *Neutrina* książkę Jerzego Kierula *Izaak Newton. Bóg, światło i świat* (Oficina Wydawnicza Quadrvium, Wrocław 1996) oraz nieocenioną *Historię Fizyki* Andrzeja Kajetana Wróblewskiego. W Wikipedii również można znaleźć rzetelne materiały na temat tego uczonego.

Z.G-M

Równania Newtona – początek nowożytnej nauki

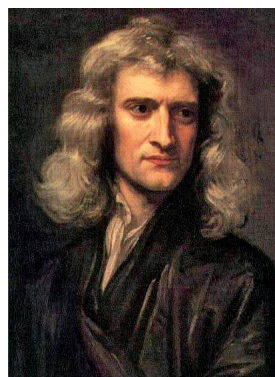
W 2016 roku obchodzimy stulecie opublikowania przez Alberta Einsteina Ogólnej Teorii Względności (OTW), czyli nowej teorii grawitacji. Do czasu Einsteina, przez prawie trzysta lat, królowały i były rozwijane mechanika Newtona oraz jego teoria grawitacji.

Mechanika Newtona osiągnęła bardzo zaawansowany stopień wyrafinowania matematycznego i do tej pory święci sukcesy. Dowodem jest doskonała zgodność z doświadczeniem i potencjał przewidywania wyników eksperymentów. Mechanika niutonowska bynajmniej nie utraciła swej ważności i użyteczności z powodu teorii Einsteina. Einstein wskazał tylko granice stosowalności teorii Newtona, a następnie zaproponował opis pozwalający na poszerzenie rozumienia naszej rzeczywistości do całego Kosmosu.

Dzięki mechanice Newtona mogła się rozwinąć nowożytna fizyka, a wraz z nią nasza techniczna cywilizacja. Potęgą mechaniki niutonowskiej polega

na jej uniwersalności i użyciu do jej sformułowania potężnego narzędzia, jakim jest rachunek różniczkowy i całkowy. Generacje uczonych przed Newtonem, pochodzące z różnych cywilizacji, miały spore osiągnięcia w wielu dziedzinach fizyki, jak na przykład w statyce (maszyny proste, budownictwo) czy w optyce. Jednakże to właśnie Newton wprowadził do dziedziny fizyki zupełnie nowe podejście.

Aby zrozumieć, na czym polegało epokowe dokonanie Newtona, przypomnijmy dominujące przez stulecia poglądy Arystotelesa na istotę i przyczyny ruchu.



Izaak Newton

źródło: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg>

Wszystko, co się porusza, musi być poruszane przez coś; bo jeżeli nie ma źródła ruchu w sobie, jasne jest, że jest poruszane przez coś innego, co je porusza.

Arystoteles, *Fizyka*, Księga VII, 241b

W języku bardziej współczesnym można to wyrazić:

- 1) Ciało nie poddane wpływom zewnętrznym znajduje się w spoczynku; ta starożytna zasada bezwładności jest konsekwencją przyjętych własności ruchów naturalnych.
- 2) Prędkość ciała wprawianego w ruch przez zewnętrzną przyczynę jest proporcjonalna do działającej siły (*dynamis*) i odwrotnie proporcjonalna do oporu, jaki stawia ośrodek.

Historia fizyki, Andrzej Kajetan Wróblewski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 31.

Sformułowanie Arystotelesa brzmi bardzo „rozsądnie” i większość ludzi podziela ten pogląd do dzisiaj.

Natomiast Newton zapostulował w swoim słynnym dziele „*Principia*”:

Aksjomaty, czyli prawa ruchu:

I Prawo

Każde ciało pozostaje w swym stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego po linii prostej, dopóki siły przyłożone nie zmuszą go do zmiany tego stanu.

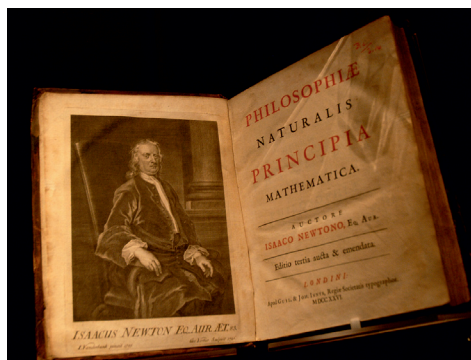
II Prawo

Zmiana ruchu jest proporcjonalna do przyłożonej siły poruszającej i następuje wzdłuż prostej, wzdłuż której siła ta jest przyłożona.

III Prawo

Każdemu działaniu towarzyszy zawsze przeciwne i równe przeciwdziałanie, to jest wzajemne działania dwóch ciał na siebie są zawsze równe i skierowane przeciwnie.

Historia fizyki, Andrzej Kajetan Wróblewski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 129.



Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica

źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Philosophiæ_Naturalis_Principia_Mathematica#/media/File:Manchester_John_Rylands_Library_Isaac_Newton_16-10-2009_13-54-26.JPG

W szkole natomiast spotykacie się z prawami Newtona w postaci:

I zasada dynamiki

Jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub działające siły się równoważą (czyli siła wypadkowa $\vec{F}_w = \vec{0}$), to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

II zasada dynamiki

Jeśli działające na ciało siły nie równoważą się (czyli siła wypadkowa $\vec{F}_w \neq \vec{0}$), to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem, które jest wprost proporcjonalne do siły wypadkowej $\vec{F}_w$, a współczynnikiem proporcjonalności jest odwrotność masy ciała:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_w}{m}$$

III zasada dynamiki

Jeśli ciało A działa na ciało B pewną siłą $\vec{F}_{AB}$, to ciało B oddziałuje na ciało A siłą $\vec{F}_{BA}$ o tej samej wartości, tym samym kierunku, lecz przeciwnym zwrocie:

$$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$$

Fizyka i astronomia. Vademecum maturzysty, Katarzyna Cieślak, Witold Zawadzki, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2008.

Sformułowanie współczesne, szkolne, w porównaniu ze sformułowaniem Newtona i regułą Arystotelesa brzmi dla nas bardziej „obco”, zawiera bowiem terminy fizyczne takie jak siła, przyspieszenie. Niektórym mogłoby się wydawać, że sformułowanie Newtona tylko koryguje pogląd Arystotelesa. Jednak tak nie jest!

Co przeoczył Arystoteles i pokolenia uczonych po nim? Przecież faktycznie doświadczenie uczy nas, że dla podtrzymania ruchu potrzebne jest działanie siły, że ruch ustaje „sam z siebie”. My wiemy, że powodem są **siły hamujące** – tarcie i opory zmieniające ruch. Newton, a przed nim i Galileusz, potrafili wyobrazić sobie ruch bez sił tarcia i oporu, ruch swobodny bez sił, ruch wieczny. Dzisiaj wiemy, że w przestrzeni kosmicznej w taki właśnie sposób, ze stałą prędkością po liniach prostych, poruszają się cząstki promieniowania kosmicznego. Tak mogłyby poruszać się statki kosmiczne mknące ku odległym gwiazdom. Nauczyliśmy się, że gdy wszystkie siły równoważą się, to ciała nie muszą spoczywać, ale mogą także poruszać się „wiecznie” ze stałą prędkością po linii prostej.

Gdzie tkwi moc praw Newtona? W tym, że II prawo Newtona wyraża się poprzez **równanie Newtona**, które wiąże z sobą wielkości fizyczne, takie jak siła i przyspieszenie, relacją równania, które, o czym nie wspomina się w szkole, jest tak zwanym równaniem różniczkowym. Występujące w tym równaniu przyspieszenie (chwilowe, a nie w przedziale czasowym Δt) jest pojęciem różniczkowym. Pojęciem różniczkowym jest także prędkość chwilowa $\vec{v}$. **Geniusz Newtona zasadza się w tym, że stworzył na użytek mechaniki rachunek**

nek różniczkowy i całkowy. Dzięki niemu mógł wyprowadzić na przykład prawa Keplera, które Kepler w pewnym sensie jedynie odgadł na podstawie obserwacji. Równania Newtona, to coś znacznie więcej niż ich werbalny opis językiem brzmiącym jak mowa potoczna.

Stosując prawa Newtona **możemy obliczać trajektorie ruchów ciał**, na które działają rozmaite siły. Ruchy planet, rakiet, samochodów, samolotów, piłki i piłkarzy, itd. Dzięki użyciu komputerów i rozwoju matematyki rozwiązuje się coraz bardziej skomplikowane przykłady. Matematycy, fizycy i inżynierowie ciągle mają ręce pełne roboty.

W szkole nie wprowadza się rachunku różniczkowego i całkowego, dlatego uczniowie zapoznają się tylko z najprostszymi przykładami (stałe siły, tak zwane rzuty, ruch wahadła).

Kiedy mechanika Newtona przestaje nam wystarczać, czyli nie sprawdza się? Dla ciał poruszających się z dużymi prędkościami, bliskimi prędkości światła. Takie prędkości mają na przykład cząstki nadlatujące z Kosmosu oraz te przyspieszane w akceleratorach. Do ich opisu potrzebna jest mechanika relatywistyczna, zaproponowana przez Alberta Einsteina.

Newton stworzył również teorię grawitacji. Jak sam wspominał, najważniejsza idea wpadła mu do głowy w czasie obserwacji jabłka spadającego z drzewa. Newton zdał sobie sprawę, że to za sprawą tej samej siły grawitacji spadają jabłka i trzymany jest „na uwięzi” przez Ziemię Księżyc, a Ziemia – przez Słońce. Newton odgadł wzór na wartość siły grawitacji, czyli przyciągania się ciał posiadających masę:



źródło: <https://www.flickr.com/photos/25105021@N08/5809444353/>

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

gdzie m_1 , m_2 są masami przyciągających się ciał, r to odległość między ich środkami mas, a G jest stałą, nazwaną stałą grawitacji. Jest ona tak mała, że skutek działania siły grawitacji obserwuje się dopiero, gdy przynajmniej jedna z mas jest duża (np. Ziemia). Dlatego czujemy i obserwujemy przyciąganie przez Ziemię, a nie zauważamy wzajemnego przyciągania się ciał na Ziemi.

Newton zapostulował absolutną przestrzeń i czas, a w tej przestrzeni – natychmiastowe oddziaływanie na odległość. Pomimo, że we wzorze Newtona siła maleje z kwadratem odległości między ciałami, uważamy oddziaływanie grawitacyjne za długi zasięgowe. W zasięgu oddziaływania Słońca znajdują się bardzo odległe planetoidy i rozmaite okruchy kosmiczne. Przestrzeń dla Newtona w oczywisty sposób była przestrzenią, w której obowiązuje znana nam geometria Euklidesa z wszystkimi jej konsekwencjami. Gdy wysyłamy rakietę w Kosmos, to do obliczenia trajektorii wystarcza nam fizyka Newtona, ale gdy chcemy się posługiwać GPS-em, to musimy już sięgnąć do teorii grawitacji Einsteina, bowiem mamy do czynienia z potrzebą niewiarygodnej dokładności.

Podsumujmy: teoria Newtona narodziła się stosunkowo późno (XVII wiek), jeśli idzie o rozwój nauki i naszej cywilizacji. Do czasu jej powstania fizyka Arystotelesa wydawała się dobrze tłumaczyć otaczający świat. Ponieważ zrozumienie i stosowanie mechaniki Newtona wymaga zaawansowanego aparatu matematycznego, nie powinno dziwić, że można mieć z tym poważne trudności. Samo zapamiętanie szkolnych sformułowań nie gwarantuje zrozumienia.

Nie wpadajmy jednak w kompleksy, jeśli mamy trudność w zrozumieniu. Uważa się, że w czasach Newtona jedynie kilkanaście osób rozumiało jego teorię!

Czy wobec tego jesteśmy w szkole bez szans? Nie jest tak źle. Przerobienie z namysłem wielu przykładów, stopniowo coraz trudniejszych, wykonanie doświadczeń i uważne obserwacje natury przybliżą zrozumienie praw Newtona i ich konsekwencji. No i na koniec uwaga: przecież nie wypada nie znać praw, które doprowadziły nas tu, gdzie się znajdujemy, z naszymi planami podboju Kosmosu czy rozwikłania tajemnicy życia. Uważam, iż współczesny człowiek powinien znać na pamięć prawa Newtona, tak jak zna dziesięcioro przykazań.

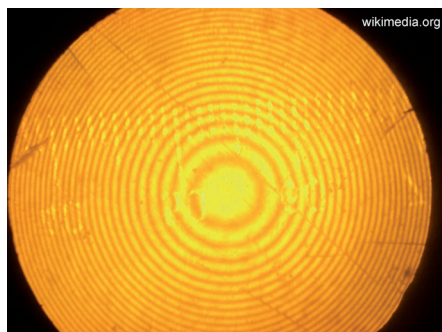


To kanon naszej cywilizacji. I choć od znajomości przykazań nikt nie staje się automatycznie lepszy, tak i wykłepanie praw Newtona nie chroni przed arystotelesowskim myśleniem o ruchach, ale jednak podpowiada to właściwe. Patrząc na spadające z drzewa jabłko, miejmy na uwadze, że spada za przyczyną tej samej siły, która formuje galaktyki.

Z.G-M

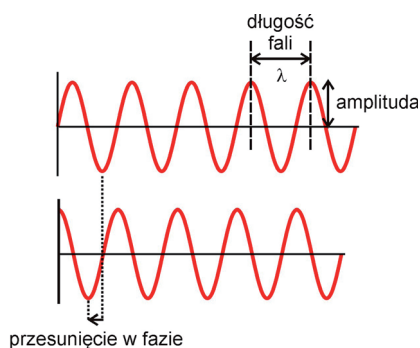
Pierścienie Newtona

Pierścienie Newtona to zjawisko optyczne, które obserwuje się w przypadku, gdy światło przechodzi przez cienką warstwę pomiędzy płaską i wypukłą powierzchnią. Takie warunki można otrzymać umieszczając w powietrzu lub w wodzie wypukłą soczewkę szklaną na płaskiej szklanej płytce. Oświetlając taki układ prostopadłe z góry lub z dołu, można zaobserwować obraz w kształcie ciemnych i jasnych pierścieni. Zjawisko to zostało nazwane na cześć Newtona, który jako pierwszy dokładnie je opisał.



Rys. 1. Pierścienie Newtona

Aby zrozumieć mechanizm powstawania pierścieni Newtona, trzeba przyjrzeć się uważnie własnościom fal świetlnych, a w szczególności zjawisku interferencji światła. Fale świetlne można scharakteryzować podając ich parametry, takie jak częstotliwość, długość fali w danym ośrodku, amplitudę oraz fazę.



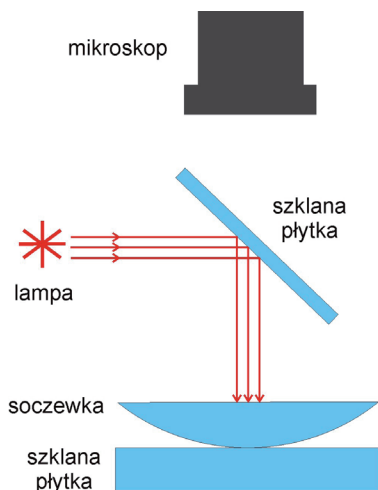
Rys. 2. Parametry fali świetlnej i przesunięcie w fazie

Zjawisko interferencji światła polega na nakładaniu się fal świetlnych o tej samej częstotliwości i amplitudzie, pomiędzy którymi różnica faz nie zmienia się w czasie. Fale takie określa się jako *spójne*. Jeśli w danym punkcie przestrzeni spotkają się grzbiety dwóch spójnych fal świetlnych, to mówi się, że fale te są zgodne w fazie. W wyniku ich nakładania następuje wzmocnienie, czyli wzrost intensywności światła. Jeśli natomiast grzbiet jednej z fal napotka dolinę drugiej (fale o przeciwnych fazach), dochodzi do wygaszenia, co oznacza brak światła w danym punkcie. Jeśli fale nie są ani zgodne, ani przeciwnie w fazie, ich nakładanie się powoduje częściowe osłabienie lub wzmocnienie fali.



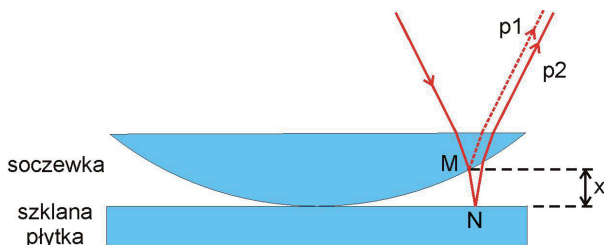
Rys. 3. Interferencja fal zgodnych i przeciwnych w fazie

Najprostszy układ pozwalający zaobserwować pierścienie składa się z wypukłej soczewki umieszczonej na szklanej płytce. Pomiedzy szklanymi powierzchniami znajduje się cienka warstwa powietrza o grubości wzrastającej stopniowo w miarę oddalania się od środka soczewki. Światło z umieszczonej w pobliżu lampy kierowane jest na szklaną płytkę i po odbiciu od niej pada prostopadłe na soczewkę. Dla uproszczenia założmy na początek, że lampa wysyła promieniowanie monochromatyczne, czyli że wszystkie emitowane przez nią fale mają identyczną częstotliwość, a więc również tę samą długość fali. Pierścienie Newtona można obserwować przez umieszczony nad układem mikroskop.



Rys. 4. Układ eksperymentalny do obserwacji pierścieni Newtona

Na poniższym rysunku, aby lepiej prześledzić bieg promieni, światło nie pada prostopadłe na soczewkę, lecz pod pewnym kątem. Część padających na soczewkę promieni ulega odbiciu od jej dolnej wewnętrznej powierzchni (p1), a część przedostaje się do warstwy powietrza i odbija się od szklanej płytki (p2), po czym przedostaje się ponownie do soczewki.



Rys. 5. Schemat interferencji prowadzących do powstania pierścieni Newtona

Promienie p1 i p2 ulegają interferencji i w zależności od ich przesunięcia w fazie może dojść do wzmocnienia, częściowego osłabienia lub całkowitego wygaszenia fali. Przesunięcie fal w fazie zależy od tego, jaką odległość przebędzie promień p2 w powietrzu. Oznaczamy przez x grubość warstwy powietrza oddzielającej soczewkę od szklanej płytki w punkcie M. Całkowite wygaszenie światła (czyli ciemny pierścień) nastąpi, gdy promienie p1 i p2 spotkają się w przeciwfazie (czyli przesunięte w fazie o nieparzystą wielokrotność 180°). Z uwagi na zmianę fazy fali świetlnej o 180° przy odbiciu od granicy powietrze-szkło (punkt N), warunek całkowitego wygaszenia zostanie spełniony, gdy na drogę $2x$ faza zmieni się o parzystą wielokrotność 180° . Stąd dostajemy warunek $2x = k \cdot \lambda$, skąd

$$x = k \frac{\lambda}{2},$$

gdzie k oznacza dowolną liczbę naturalną ($k = 0, 1, 2, 3$ itd.), a λ to długość fali padającego na układ światła. Przykładowo, $k = 0$ odpowiada grubości warstwy powietrza $x = 0$. Oznacza to, że w punkcie, w którym soczewka styka się z płytką, następuje całkowite wygaszenie światła i powstający w ten sposób środkowy prążek interferencyjny jest ciemny (rys. 6).

Jeśli do oświetlenia układu użyjemy lampy sodowej emitującej światło o długości fali w powietrzu $\lambda = 589,3 \text{ nm}$, to całkowite wygaszenie nastąpi w miejscach, w których grubość warstwy powietrza wynosi kolejno:

$$x_0 = 0 \cdot \frac{589,3}{2} = 0$$

$$x_1 = 1 \cdot \frac{589,3}{2} = 294,65 \text{ nm} \approx 0,29 \mu\text{m}$$

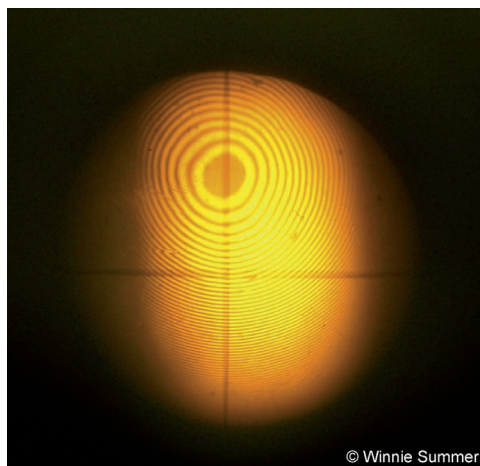
$$x_2 = 2 \cdot \frac{589,3}{2} = 589,3 \text{ nm} \approx 0,59 \mu\text{m}$$

$$x_3 = 3 \cdot \frac{589,3}{2} = 883,95 \text{ nm} \approx 0,88 \mu\text{m} \quad \text{itd.}$$



Jeśli szklana płytka jest całkowicie płaska, a soczewka ma idealnie równą powierzchnię i jest symetryczna, to warstwa powietrza w pewnej odległości od jej środka ma tę samą grubość na całym obwodzie soczewki. W takim wypadku obraz interferencyjny będzie się składał z naprzemiennych jasnych i ciemnych prążków w kształcie idealnych okręgów.

Niewielkie nierówności obydwu szklanych powierzchni powodują zniekształcenia prążków. Dzięki temu, obserwując pierścienie Newtona, można badać dokładność wykonania elementów optycznych.



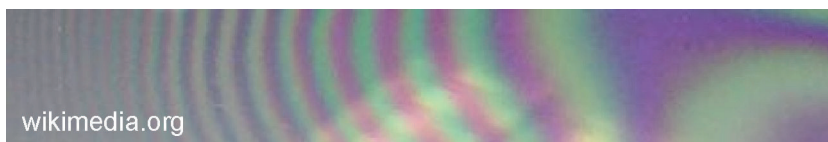
Rys. 6. Prążki Newtona. Zniekształcenia wynikają z nierówności szklanych powierzchni

Mierząc promień pierścieni Newtona można też bardzo precyzyjnie wyznaczyć promień zakrzywienia powierzchni soczewki.

Jeśli natomiast zna się dokładnie kształt obydwu stykających się powierzchni, to obserwacja prążków interferencyjnych może posłużyć do wyznaczenia długości fali padającego promieniowania. Umieszczając pomiędzy szklanymi powierzchniami krople różnych cieczy i mierząc promień pierścieni Newtona można też wyznaczyć współczynnik załamania światła badanych cieczy.

Pierścienie Newtona obserwuje się również oświetlając układ od spodu. W tym wypadku środkowy prążek jest jasny, a nie ciemny, jak w przypadku światła padającego na soczewkę od góry (rys. 1).

Jeśli padające światło nie jest monochromatyczne, lecz składa się z fal o różnych długościach, dla każdej z nich promienie pierścieni będą nieco inne. Układy prążków nakładają się na siebie i w rezultacie otrzymuje się obraz wielokolorowych pierścieni Newtona.



Rys. 7. Powiększenie wielokolorowych pierścieni Newtona

Więcej informacji o zjawisku interferencji światła można znaleźć w numerze 26 *Neutrino*.

KC

Jak szybko stygną ciała? Prawo stygnięcia Newtona

Różnego rodzaju termosów używa się w zimie, by utrzymać jak najdłużej wysoką temperaturę, np. kawy, a w lecie, aby utrzymać chłód napoju.

Jak szybko stygną ciecze w termosie? Zależy to oczywiście od własności termoizolacyjnych termosu. Stygnięciem rządzi tak zwane prawo stygnięcia Newtona. Mówi ono, że proces zachodzi tym szybciej, im większa jest różnica pomiędzy temperaturą T stygnącego ciała a temperaturą otoczenia T_{zew} . Czyli, że ciało stygnie szybciej na początku procesu oraz stopniowo coraz wolniej, gdy temperatura ciała zbliża się do temperatury otoczenia. Materiały posiadają zróżnicowane własności izolujące. Wiemy, że gazy źle przewodzą ciepło. Stąd pomysł podwójnych szyb w oknach oraz podwójnych ścianek w termosach. Do izolacji używa się też „nadmuchanego” powietrzem styropianu, a można również stosować „ubranka” puchowe. Powyższe stwierdzenie możemy wyrazić językiem matematyki:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} \propto (T - T_{zew}) ,$$

gdzie ΔT to zmiana temperatury, a Δt to przyrost (zmiana) czasu.

Jeśli wprowadzimy współczynnik proporcjonalności k , stanowiący o własnościach materiału izolującego, to otrzymamy

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = -k(T - T_{zew})$$

Jeśli k jest małe, to $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ jest małe, co oznacza, że ciało stygnie powoli, jeśli k jest duże, to ciało stygnie szybko. W postaci różniczkowej, czyli po zamianie ΔT i Δt na różniczki dT i dt , równanie stygnięcia ma postać

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{zew})$$

Równanie powyższe nosi nazwę równania stygnięcia Newtona. Rozwiązując to równanie otrzymamy zależność temperatury ciała T od czasu t .

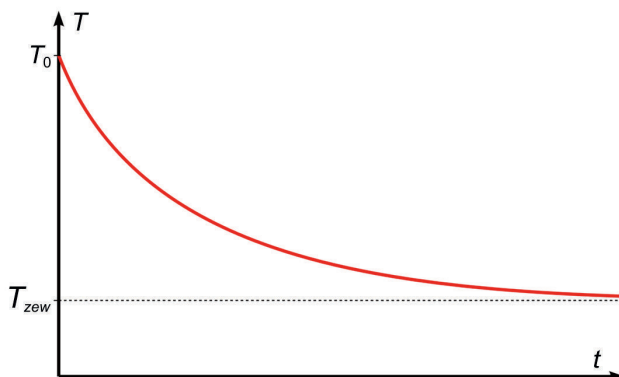
Wykresem tej zależności jest krzywa o równaniu:

$$T = T_{zew} + (T_0 - T_{zew}) \exp(-kt)$$

(T_0 oznacza temperaturę ciała w chwili początkowej, T_{zew} temperaturę otoczenia), przedstawiona na rysunku.

Zakładamy, że ucieczka ciepła z termosu nie powoduje wzrostu temperatury otoczenia. Otoczenie jest bardzo duże i ma ogromną pojemność cieplną.





Dokonując pomiarów temperatury T stygnącej substancji w funkcji czasu t , można wyznaczyć współczynnik k .

Zachęcamy do lektury bloga Kamili Zdybał, która zbadała własności izolacyjne różnych termosów.

Z.G-M

Badanie własności izolacyjnych termosów. Zastosowanie prawa stygnięcia Newtona

(<https://wszechswiatnauki.wordpress.com>)

Przepis na doświadczenie

Zaplanowałam doświadczenie następująco: nalewam gorącą wodę do termosu i będę mierzyć jej temperaturę w termosie oraz temperaturę na zewnątrz termosu w równych odstępach czasowych; wybrałam odstępy dwuminutowe.

Jedyną rzeczą, która może być niewiadoma w równaniu ostygnięcia, to stała proporcjonalności k . Ta stała będzie różna dla każdego pojemnika i będzie przez to określać jego parametry termiczne. Wszystkie inne wyrazy prawa stygnięcia możemy wyznaczyć doświadczalnie.

ΔT obliczymy jako różnicę dwóch następujących po sobie temperatur wody w termosie: $T_{i+1} - T_i$.

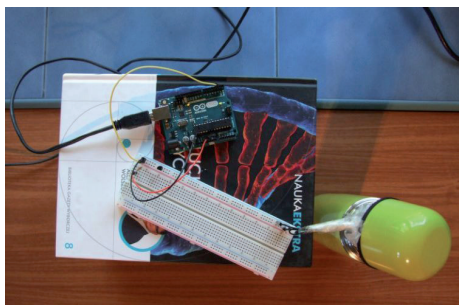
Δt to odstęp czasowy pomiędzy pomiarami tych temperatur, czyli 2 minuty.

T to aktualna temperatura wody w termosie, ustaliłam, że obliczę ją jako średnią arytmetyczną dwóch ostatnich pomiarów temperatury wody: $\frac{T_{i+1} + T_i}{2}$

T_{zew} to aktualna zewnętrzna temperatura.

Podsumowując, wszystko co wystarczy mierzyć, to T_i – temperaturę wewnątrz termosu i $T_{zew,i}$ – temperaturę powietrza na zewnątrz termosu w różnych chwilach czasu t_i .

Stanowisko pomiarowe



Stanowisko pomiarowe – termos

Temperatura w termosie była mierzona wykonaną przeze mnie wodoszczelną sondą z czujnikiem temperatury, podłączoną do płytki Arduino, a temperatura na zewnątrz – takim samym czujnikiem temperatury, umieszczonym na płytce stykowej na stosie książek. Ważne jest, aby termometr mierzący temperaturę powietrza znajdował się wystarczająco daleko od termosu, żeby ciepło oddawane przez termos do powietrza nie zakłócało jego odczytów.

Wykonałam 40 pomiarów temperatury w odstępach dwuminutowych, co dało mi około 80 minut wolnego czasu na oglądanie YouTube'a.

Tabela z początkowymi danymi.

Pomiar	Temperatura chwilowa cieczy w termosie (°C)	ΔT (°C)	T_{zew} (°C)	$k\left(\frac{1}{s}\right)$
1	77,56		23,19	
2	76,69	-0,87	23,25	0,000134
3	75,75	-0,94	23,25	0,000148
4	74,87	-0,88	23,31	0,000141
5	74,06	-0,81	23,44	0,000132
6	73,25	-0,81	23,44	0,000134
7	72,50	-0,75	23,44	0,000126
8	71,69	-0,81	23,44	0,000139
9	70,94	-0,75	23,50	0,000131
10	70,25	-0,69	23,56	0,000122
11	69,56	-0,69	23,56	0,000124

Stała k była obliczana dla każdego pomiaru jako:

$$k = -\frac{\Delta T}{\Delta t(T - T_{zew})}$$



I tak przykładowo dla pierwszego pomiaru było to:

$$k = -\frac{76,69 - 77,56}{120s(77,13 - 23,22)}$$

Obliczyłam następnie średnią stałą k z 40 pomiarów i okazała się ona równa:

$$k = 0,000124 \frac{1}{s}$$

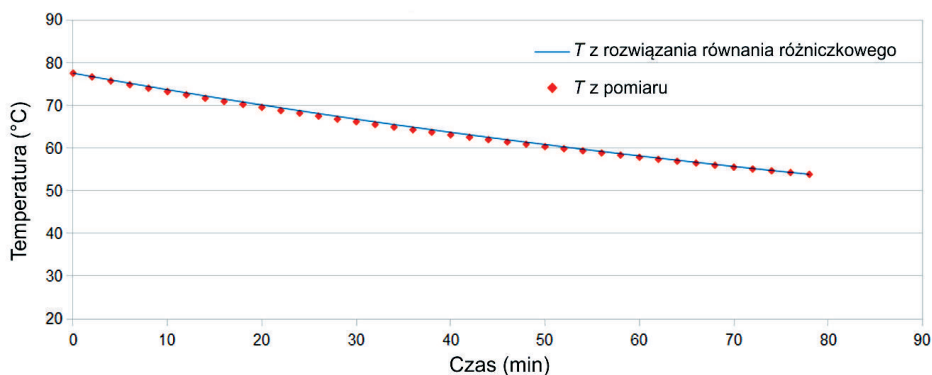
Od Redakcji: W powyższych rozważaniach brakuje analizy niepewności pomiarowej.

Interpretacja wyników

Narysowałam następnie wykres zależności temperatury w termosie od czasu, podstawiając wyznaczoną stałą k do rozwiązania równania różniczkowego:

$$T(t) = (77,56 - 23,61)e^{-0,000124t} + 23,61$$

Naniosłam też moje punkty pomiarowe.

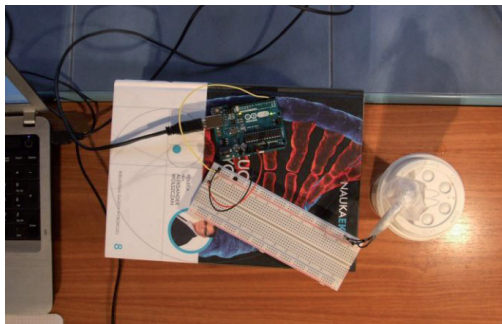


Wykres zależności temperatury wody w termosie od czasu

Jak widać na wykresie, prawo stygnięcia Newtona jest spełnione.

Parametry termiczne papierowego kubka na kawę

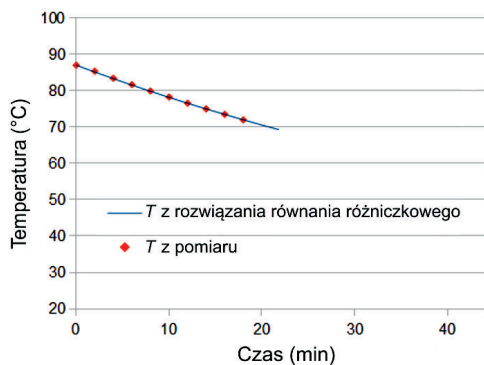
Zachęcona wynikami pomiarów postanowiłam sprawdzić jeszcze, jak szybko będzie się chłodzić kawa w papierowym kubku. Doświadczenie przebiegało dokładnie tak samo jak dla termosu, z tym tylko wyjątkiem, że wykonałam 10 pomiarów.



Stanowisko pomiarowe – papierowy kubek

Stała k dla papierowego kubka na kawę

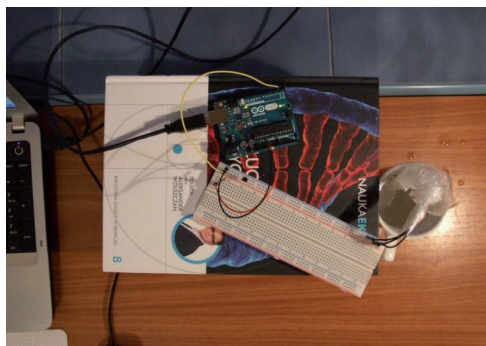
$$k = 0,000251 \frac{1}{s}$$



Wykres zależności temperatury wody w papierowym kubku od czasu

Parametry termiczne kubka ceramicznego

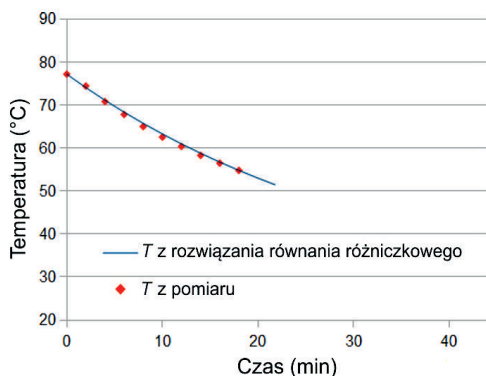
Ostatni eksperyment z tej serii został przeprowadzony dla zwykłego ceramicznego kubka.



Stanowisko pomiarowe – kubek ceramiczny

Stała k dla ceramicznego kubka:

$$k = 0,000503 \frac{1}{s}$$



Wykres zależności temperatury wody w kubku ceramicznym od czasu

Wnioski końcowe

Wszystkie zmierzone doświadczalnie temperatury rzeczywiście można dopasować funkcją wykładniczą. Zwycięzcą w konkursie na najlepiej izolujące naczynie na kawę zostaje termos z Tesco. Papierowy kubek ma parametry termiczne lepsze od domowego kubka ceramicznego.

Ostatecznym porównaniem własności izolujących tych trzech naczyń na kawę jest sporządzona przeze mnie tabelka, w której na podstawie danych doświadczalnych przedstawiłam temperaturę kawy po godzinie, jeśli jej początkowa temperatura wynosiła 80°C, a naczynie ustawiono w pomieszczeniu o temperaturze 20°C.

TERMOS Z TESCO:	$T_k = 58^\circ\text{C}$
PAPIEROWY KUBEK NA KAWĘ:	$T_k = 44^\circ\text{C}$
KUBEK CERAMICZNY:	$T_k = 30^\circ\text{C}$



Dodatek

Zobaczyłam niedawno następującą informację w sklepie sportowym, na półce z termosami:

IZOLACJA TERMICZNA:

Temperatura początkowa:	96°C
po 6 godzinach:	76°C
po 12 godzinach:	63°C
po 24 godzinach:	48°C



Była to specyfikacja pewnych termosów, które kosztowały około 90 zł. Na pierwszy rzut oka informacja wydaje się bardzo pocieszająca – gdziekolwiek wezmę ten termos, po 6 godzinach herbata będzie wciąż gorąca. Jeśli zabiorę termos, na przykład na wyprawę na Alaskę, po upływie doby herbata będzie wciąż na tyle gorąca, że aby ją wypić, trzeba będzie ją studzić (do temperatury ciała $36,6^{\circ}\text{C}$, żeby się nie poparzyć). Prawda?

Niekoniecznie. Jeśli rozumiesz już dostatecznie dobrze prawo stygnięcia Newtona, zauważysz, że nie podano jednego bardzo istotnego parametru – **nie napisano, w jakiej zewnętrznej temperaturze przeprowadzono pomiary**, które doprowadziły do powyższych rezultatów. A ma to przecież znaczenie. Jeśli takie parametry termos osiąga dopiero, gdy temperatura wokół niego wynosi 30°C , to dane te przestają robić wrażenie. Rzadko potrzebujemy gorącej herbaty w upał. Prawo stygnięcia Newtona mówi, że tempo stygnięcia jest proporcjonalne do różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz termosu.

Jeśli ta różnica jest niewielka*, to i stygnięcie herbaty będzie bardzo wolne. Oczywiście wszyscy zdajemy sobie sprawę z tego, że ta niepełna (aczkolwiek wierzę, że prawdziwa dla pewnego zestawu danych) informacja ma zachęcić do kupna termosu tych, którzy nie znają powyższej zależności; warto więc znać fizykę!

* Od Redakcji: Sprawdźcie, jakie temperatury otoczenia są ukryte w rozważaniach producenta termosów reklamowanych powyżej.

Problem do przemyślenia

Wyobraź sobie, że właśnie nalałeś do kubka gorącą kawę, ale zamierzasz ją wypić dopiero za pół godziny. Chcesz, żeby kawa była z mlekiem, ale ponieważ nie masz go jak zagrzać, będziesz wlewać do kubka z kawą zimne mleko (o $T = 6^{\circ}\text{C}$), wyjęte z lodówki. Masz jednak wybór:

1. Możesz nalać zimnego mleka od razu po zrobieniu kawy.
2. Możesz nalać zimnego mleka tuż przed wypiciem, po upływie pół godziny.



Którą opcję powinieneś wybrać, by kawa z mlekiem była możliwie najcieplejsza, kiedy sięgniesz po nią za pół godziny?

Kamila Zdybał

Współczynnik załamania światła równy $\sqrt{2}$

Rozwiązywanie w liceum standardowych zadań dotyczących załamania światła jest żmudne. Istotnym elementem obliczeń jest znajdowanie za pomocą kalkulatora wartości funkcji sinus, kiedy znamy kąt – lub odwrotnie, znajdowanie kąta, gdy znamy wartość funkcji sinus (to drugie działanie jest półlegalne, bo w liceum nie wprowadza się funkcji *arcus sinus*, a trzeba się nią posłużyć).

Zabawne możliwości prowadzenia obliczeń pojawiają się wtedy, gdy wartość współczynnika załamania światła przyjąć za równą $n = \sqrt{2} \approx 1,414$.

Po pierwsze – w takim przypadku od razu możemy obliczyć kąt graniczny β_{gr} , dla którego

$$\sin \beta_{gr} = \frac{1}{n} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

czyli $\beta_{gr} = 45^\circ$.

Po drugie, łatwo obliczyć kąt załamania β , jeżeli kąt padania $\alpha = 45^\circ$, bo wtedy:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \quad (2)$$

czyli $\beta = 30^\circ$.

Możliwość wykorzystania tych prostych zależności ilustrują poniższe zadania.

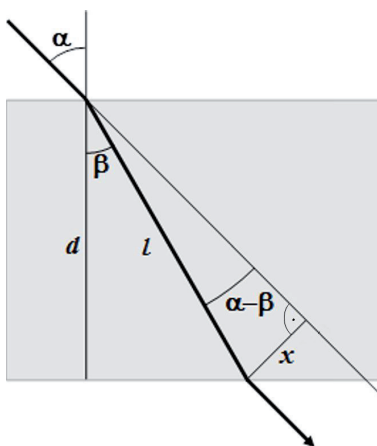
Zadanie 1

Przezroczysta płytka płasko-równoległa ma grubość równą d i współczynnik załamania światła α równy $n = \sqrt{2} \approx 1,414$. Na płytkę pada promień światła pod kątem $\alpha = 45^\circ$. Promień po przejściu przez płytkę jest równoległy do promienia padającego, ale przesunięty o x w stosunku do przedłużenia promienia padającego (rysunek). Obliczyć wartość x .

1. Jeżeli kąt $\alpha = 45^\circ$, to kąt $\beta = 30^\circ$, co już wiemy.

2. Na rysunku widać, że

$$\frac{d}{l} = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3)$$



więc

$$l = \frac{2d}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

3. Dalej:

$$\frac{x}{l} = \sin(\alpha - \beta) \quad (5)$$

Stąd ostatecznie:

$$x = l \sin(\alpha - \beta) = l(\sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta) = \\ = \frac{2d}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{2} \right) = \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{6}} d \approx 0,3d. \quad (6)$$

Zadanie 2

Pryzmat ma kąt łamiący $\varphi = 60^\circ$ i współczynnik załamania światła $n = \sqrt{2}$. Na lewą ściankę pryzmatu pada promień pod kątem $\alpha = 45^\circ$. Oblicz kąt całkowitego odchylenia promienia przez pryzmat.

Jerzy Ginter
Wydział Fizyki UW

Zadania z Lwiątką

1. Dlaczego w futrze jest człowiekowi ciepło?
 - A. Bo drogo kosztuje.
 - B. Bo futro jest ciemne i dobrze pochłania ciepło.
 - C. Bo między włosami futra jest powietrze, które słabo przewodzi ciepło.
 - D. Bo wskutek pocierania wytwarza się dużo ładunków elektrycznych.
 - E. Bo futro zachowało ciepło ciała zwierzęcia, z którego pochodzi.
2. Termos rozgrzaliśmy wrzątkiem, a następnie napełniliśmy go herbatą o temperaturze 100°C i zamknęliśmy. Temperatura otoczenia wynosi 20°C . Szybkość stygnięcia jest wprost proporcjonalna do różnicy między temperaturą herbaty a temperaturą otoczenia. Po 8 godzinach temperatura herbaty spadła do 60°C . Po następnych 8 godzinach spadnie
 - A. do 20°C ,
 - B. do 25°C ,
 - C. do 32°C ,
 - D. do 40°C ,
 - E. do 48°C .
3. Podgrzewamy na gazowej kuchence wodę w garnku bez pokrywki. Najdłużej trwa podgrzewanie
 - A. od 50°C do 52°C .
 - B. od 60°C do 62°C .
 - C. od 70°C do 72°C .
 - D. od 80°C do 82°C .
 - E. od 90°C do 92°C .



4. Podczas stygnięcia 2 kg wody (ciepło właściwe $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$) o 5°C wydzielą się pewna ilość energii. Taka ilość energii wystarczyłaby, aby podnieść skrzynię o masie 100 kg na wysokość (przyjmij $g = 10 \text{ N/kg}$)
- 4,2 cm,
 - 42 cm,
 - 4,2 m,
 - 42 m,
 - 420 m.

Poprawne odpowiedzi:
1. C; 2. D; 3. E; 4. D

Zadania różne

- Ilość paliwa potrzebna do wystrzelenia pocisku z Ziemi na Księżyc jest:
 - większa od ilości paliwa potrzebnej do wystrzelenia pocisku z Księżyc na Ziemi,
 - mniejsza od ilości paliwa potrzebnej do wystrzelenia pocisku z Księżyc na Ziemi,
 - równa ilości paliwa potrzebnej do wystrzelenia pocisku z Księżyc na Ziemi,
 - większa lub mniejsza, w zależności od masy pocisku.
- Korek zanurzony w wodzie i puszczone swobodnie wypływa na powierzchnię wody poruszając się w pierwszej fazie ruchu ze stałym przyspieszeniem (zaniedbane opory). Gdy eksperyment taki przeprowadzimy w kabinie sztucznego satelity (pomijamy efekty spójności cieczy i przylegania), to korek:
 - pozostanie zanurzony w wodzie,
 - wypłynie na powierzchnię ruchem jednostajnym,
 - wypłynie na powierzchnię ruchem jednostajnie przyspieszonym z tą samą wartością przyspieszenia co na Ziemi,
 - wypłynie na powierzchnię ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem większym niż na Ziemi.
- Wyobraźmy sobie, że istnieje planeta o dwukrotnie większym promieniu od ziemskiego, a mimo to o takim samym przyspieszeniu grawitacyjnym na jej powierzchni. Średnia gęstość takiej planety musiałaby być:
 - cztery razy większa od gęstości Ziemi,
 - o połowę mniejsza niż gęstość Ziemi,
 - dwa razy większa niż gęstość Ziemi,
 - taka sama jak gęstość Ziemi.



Poprawne odpowiedzi:
1. (a); 2. (a); 3. (b)