

Przedstawiamy Czytelnikom propozycję lekcji o pierwszej zasadzie termodynamiki. W kolejnych numerach będziemy umieszczali wybrane przez nauczycieli najciekawsze – ich zdaniem – fragmenty różnych podręczników i poradników metodycznych. Prosimy o nadsyłanie propozycji. Oczywiście jest, że nauczyciel nie jest w stanie przeglądać nawet pobieżnie tego co jest w księgarniach lub w katalogach. Przez zwrócenie uwagi na szczególnie oryginalne ujęcia, na takie podejście, które podobało się nauczycielowi i uczniom – będzie można stworzyć coś w rodzaju banku scenariuszy lekcji. Taki dokument na pewno przyjmie każdy nauczyciel z zadowoleniem.

Poniższa propozycja pochodzi z mojej „Mojej Fizyki” wydanej przez WSzPWN oraz z Przewodnika autorstwa Elżbiety Krawczyk i WD tego samego wydawnictwa.

Z PODRECZNIKA

Rozważania nad butelką Moja Fizyka T1 s 138 - 142

„...a co to to co to to kto to tak pcha
że wali, że pędzi, że bucha buch buch?
to para gorąca wprawiła go w ruch”

Julian Tuwim „Lokomotywa”



Proponuję ci teraz wykonanie najprostszego pod słońcem doświadczenia. Pusta szklana butelka po occie czy winie i moneta stanowią całą aparaturę potrzebną do doświadczenia. Kilka kropel wody rozprowadź palcem po obwodzie szyjki butelki i przykryj otwór monetą. Woda potrzebna jest po to by szczelnie oddzielić powietrze w butelce od oceanu atmosfery.

Doświadczenie polega teraz na objęciu butelki dłońmi i obserwowaniu monety, która od czasu do czasu uniesie się by pozwolić ... no właśnie. Dlaczego się uniesie?

czas na myślenie

Ta wolna przestrzeń obrazować ma czas potrzebny na uporządkowanie swoich przemyśleń. Warto mieć swoją odpowiedź by porównać ją z tym co będzie niżej napisane.

Moneta może się unieść, gdy w odpowiednim miejscu pojawi się siła równa co najmniej połowie jej ciężaru.

Skąd się wzięła ta siła?

Zanim „bramy więzienia zostały zamknięte” cząsteczki powietrza wewnątrz butelki były tak samo wolne jak te znajdujące się na zewnątrz. Poruszały się bezładnie z podobną średnią prędkością. Uderzały w każdy milimetr kwadratowy powierzchni z obu stron w butelkę jednakowo często i jednakowo intensywnie. Zamknięcie butelki monetą niczego nie zmieniło.

Ciepłe ręce, które teraz przyłożono do butelki, choć ogrzewają zarówno powietrze w butelce jak i powietrze na zewnątrz powodują, że wewnątrz butelki temperatura się podniesie. A na zewnątrz nie?

Na zewnątrz też, tylko, że włożenie elektrycznej grzałki do filiżanki z wodą może spowodować zagotowanie się wody w filiżance w ciągu kilku minut a ta sama grzałka w oceanie wody nigdy nie zagotuje.

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{cm}$$

to zdanie zapisane w formie „wzoru” wyraża właśnie tę myśl, którą można odczytać: przyrost temperatury Δt systemu przy dostarczeniu energii ΔQ jest tym większy im mniejsza jest masa m materiału pobierającego tę energię. c jest stałą materiałową, którą nazywamy ciepłem właściwym i definiujemy jako

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta t}$$

A więc ciepłe ręce zwiększyły temperaturę powietrza w butelce. Można to wyrazić inaczej: ciepłe ręce ogrzały gaz czyli zwiększyły średnią energię kinetyczną cząsteczek powietrza w butelce, a to z kolei znaczy, że zwiększyły średnią prędkość cząsteczek (bo przecież nie masę!). Mamy teraz szybsze (średnio biorąc) cząsteczki w butelce niż na zewnątrz. Mamy więc od wewnątrz mocniej bombardujące butelkę cząsteczki niż z zewnątrz. Ciśnienie pochodzące od bombardowania ścian przez cząsteczki

zrobiło się większe od środka niż od strony zewnętrznej. Coś chce rozsadzić butelkę. Może przesada, butelka się nie da, szkło jest mocne, ale moneta? Silniej uderzana od dołu niż od góry może tego „nie wytrzymać” i podniesie się. W tej samej chwili część powietrza (pewna ilość molekuł - powiedzmy sto miliardów) ucieknie z butelki nim moneta opadnie, nim się brama zamknie. Teraz jest nadal „zbuntowany” tłum w butelce ale tych buntowników-cząsteczek jest mniej, więc mimo mocniejszego uderzania nie potrafią pokonać zewnętrznych przeciwników, słabszych ale za to w większej ilości (liczonych np na każdy milimetr kwadratowy).

Przerwę tutaj z dwóch powodów opowiadanie o zbuntowanych molekułach: po pierwsze, by odświeżyć pamięć i przypomnieć, że ilość tych molekuł w objętości butelki jest milion razy większa niż ilość sekund istnienia Wszechświata, a po drugie, by dać ci znowu czas na zastanowienie. Czy tylko o tym doświadczeniu mowa? Czy czasem nie mówimy o zasadzie działania silnika w twoim samochodzie? A może o tym jak działa karabin, zabawka - równie jak samochód - niebezpieczna.



W obu tych urządzeniach podgrzewany gaz popycha tłok, który albo bezpośrednio (karabin) albo pośrednio (samochód) wykonuje pracę.

Zapiszmy to co odkrył James Prescott Joule w latach 1850tych, a mianowicie, że energia mechaniczna (podnoszenie monety) jak i cieplna (ogrzewanie butelki) są tylko różnymi formami, różnymi przejawami energii. Jeśli tak to można napisać równanie równoważności tych dwóch form:

$$\Delta Q = \Delta W$$

Przypomnijmy sobie, że ciśnieniem nazywaliśmy siłę jaka przypada na jednostkę powierzchni

$p = F/A$, zatem siła podnosząca monetę może być wyrażona przez pA

Pracę ΔW wykonaną przez tę siłę można z grubsza policzyć jako siła \cdot pAh

gdzie h to wysokość na jaką podniesiona została moneta. Ah wyraża objętość o jaką powiększył się obszar zajmowany przez gaz – oznaczmy to przez ΔV , przyrost objętości.

Jeśli nie mamy zastrzeżeń do logiczności takiego rozumowania, to możemy zapisać, że ilość dostarczonej energii gazowi w butelce ΔQ została zużyta na pracę nad monetą (podniesienie jej energii potencjalnej).

Zatem

$$\Delta Q = p\Delta V$$

Wiemy z doświadczenia, że to nie mogło być tak, że cała energia płynąca od naszych rąk ΔQ nie mogła zamienić się na pracę, bo przecież gaz się ogrzał a na to ogrzanie musiał coś z tej energii uszczknąć. Ile? Wyżej już napisaliśmy. Związek wzrostu temperatury Δt z ilością energii jaka jest do tego potrzebna wygląda tak: $\Delta Q = mc\Delta t$

Czy nie logicznym będzie podsumowanie naszych rozważań przez wyrażenie w ogólnej formie doświadczalnie potwierdzonej prawdy o tym co dzieć się może z dostarczoną do układu energią cieplną?

$$\Delta Q = mc\Delta t + p\Delta V$$

Wygląda to ładnie. Rozszerzając to (a mamy nadzieję, że przyroda nam pozwoli) na inne niż butelka z monetą przypadki, ośmielamy się zawyrokować:

Jeśli dostarczymy układowi ciepła w ilości ΔQ (dżuli) to układ zamknięty (taki co tego majątku nie roztrwoni) zużytkuje tę energię na podwyższenie swojej energii wewnętrznej, ΔU (dżuli) (bo nie musi to być zmiana temperatury Δt może to być np. rozrywanie wewnętrznych związków, jak przy topnieniu, czy parowaniu) albo na wykonanie pracy ΔW (dżuli)

A więc jeszcze raz

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

Tak wygląda jeden z ważniejszych fragmentów wielkiej zasady zachowania energii.

Nazywamy go

Pierwszą Zasadą Termodynamiki.

Gdy nadal trzymamy butelkę w objęciach naszych ciepłych dłoni sytuacja może się powtórzyć i tak będzie aż powietrze w butelce będzie miało taką temperaturę jak nasze ręce.

Tu przechodzimy do jednej z ważniejszych reguł gry. Energia cieplna może być dostarczana samoczynnie ze źródła tylko do ciał o niższej temperaturze niż ta jaką posiada źródło. To znaczy? Matka może swoim ciałem ogrzać zmarznięte dziecko tylko do takiej temperatury jaką sama posiada.

Wszystkie procesy w przyrodzie tak przebiegają, że energia cieplna płynie „z góry na dół” czyli od ciał o wyższej temperaturze do ciał o temperaturze niższej.

Tak jest i w innych przypadkach: narciarz zjeżdża z góry w dół, a pod górę trzeba płacić. Prąd płynie ze strefy o wyższym potencjale do obszaru niższego potencjału - a „pod górę” trzeba energię elektryczną „pompować” (dynamo, bateria, akumulator). Tak samo powietrze z opony będzie uchodziło tylko tak długo dopóki ciśnienie w oponie jest większe niż na zewnątrz - jak się chce by było odwrotnie, trzeba pompować.

Zastanówmy się przez chwilę co by się stało, gdybyśmy naszą butelkę zamiast obejmować ciepłymi rękami obłożyli lodem? Idąc tą samą drogą rozumowania co poprzednio, można by przewidzieć, że ciepła butelka i znajdujące się w niej powietrze, mając kontakt z czymś o niższej temperaturze oddawać by zaczęły część swojej energii by ogrzać (lub topić) lód. Ciśnienie w butelce stało by się mniejsze niż na zewnątrz, butelka byłaby teraz mocniej bombardowana z zewnątrz niż od środka, była by ściskana a więc moneta byłaby przyciskana do szyjki butelki. Można by butelkę odwrócić do góry dnem i moneta nie powinna spaść! Zróbmy doświadczenie. Proponuję - jak to często się w technice stosuje - skorzystać z gumowej podkładki. Kładziemy gumową uszczelkę pod monetą zwilżamy mokrym palcem, wykonujemy podstawowe doświadczenie z ogrzewaniem, po kilku podniesieniach monety odsuwamy dłonie, pozwalamy butelce ostygnąć i po ewentualnym przyłożeniu ręcznika zamoczonego w zimnej wodzie lub woreczka z lodem delikatnie obracamy butelkę do góry dnem. Moneta, jeśli się ma cierpliwość do Przyrody i zdobędzie trochę wprawy, nie powinna odpaść. Różnica ciśnień będzie wystarczająca by dać sobie radę z ciężarem monety i od dołu przyciskać ją do butelki.

Fizycy już od prawie dwóch wieków znają matematyczne wyjaśnienie opisanych wyżej zjawisk. Wiedzą, że dla gazów (dokładniej dla gazów idealnych lub doskonałych) można określić stałą (już wiesz, że to jest bardzo pożyteczne) wielkość, która mimo zmieniających się bez przerwy warunków zachowuje swoją wartość. Wygląda to tak

$$pV/nT = \text{const.}$$

Przeczytajmy tę zależność: dla wszystkich gazów doskonałych (bez względu np. na ich chemiczne właściwości) co byśmy z tymi gazami nie robili, iloczyn ciśnienia (p) i objętości (V), podzielony przez iloczyn temperatury (T) i ilości cząsteczek (n) jest taki sam. Aż trudno uwierzyć.

Masz powietrze w oponie samochodu stojącego na słońcu, i acetylen w butli stalowej w warsztacie spawalniczym. Wszystko inne: inne gazy, inne ciśnienia, inna objętości, inne temperatury, inne ilości cząsteczek (inne miejsce, inny właściciel, inne przeznaczenie, inna cena). Wszystko inne tylko pV/nT takie samo. Jeśli to prawda to warto wiedzieć ile to **konstans** wynosi.

Zanim podam tę wielkość muszę wyraźnie podkreślić, że wielkość tej stałej, jej liczbowa wartość zależy od tego w jakich jednostkach zmierzymy p, V i T . Warto jeszcze dodać, że temperatura musi być mierzona w takich jednostkach, które zapewnią, że nigdy nie będzie ona miała wartość zero. Wiesz już chyba, że taka skala temperatur istnieje i nazywa się skalą Kelwina, w której wszystkie temperatury są dodatnie, a która przelicza się na znaną nam skalę Celsjusza przez odjęcie 273 stopni.

A zatem: jeśli ciśnienie wyrazimy w paskalach ($1\text{Pa} = \text{N/m}^2$), objętość w metrach sześciennych (m^3), zaś T w kelwinach (K), to nasza stała, której przydzielono symbol k i nazwano stałą Boltzmana wynosi

$$k = 1,380651 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Niewyobrażalnie mała wielkość (dla porównania: 10^{-23} masy Ziemi to tyle co worek ziemniaków).

SCENARIUSZ LEKCJI 45 min. Przewodnik dla Nauczyciela Cz 1 s 143-145

Temat: Pierwsza Zasada Termodynamiki (Lekcja Pierwsza)

Rozdział z podręcznika: Rozważania nad butelką

Przebieg lekcji:

Doświadczenie z butelką (opis w podręczniku)

Przygotowujemy zestaw dla każdego ucznia:

Butelka najlepiej od 0.3litra w górę.

Moneta - najlepiej 1 zł.

Naczynie z niewielką ilością wody (przykrywka od słoika)

Skrawki (kwadraciki) papieru nieco większe od monety 2-3 szt.

To doświadczenie może każdy uczeń wykonać indywidualnie. Jak przy każdej takiej okazji, nauczyciel wie najlepiej na ile klasa jest zdyscyplinowana ,by nie doprowadzić do niebezpiecznej sytuacji - butelki muszą być szklane.

Będziemy dokonywali obserwacji a potem przeanalizujemy wyniki doświadczenia.
Uwaga! Jak najmniej dotykać butelkę przed doświadczeniem!!

Przebieg doświadczenia: (15 minut)

1. Butelka otwarta stoi na stole. Czy butelka jest pusta? Jak wyobrażamy sobie zachowanie się cząsteczek powietrza w butelce?
Możemy przypomnieć jaki jest mechanizm wywierania ciśnienia na ściany naczynia. A na kartę papieru trzymaną w ręce?
Ta lekcja jest na temat bardzo istotny! Warto tą kartką się przez chwilę zainteresować. Czy ktoś może zasugerować jak zmniejszyć ciśnienie z jednej strony kartki? Może będzie ktoś w klasie, kto będzie wiedział. Dmuchać równoległe do powierzchni.
Obserwujemy przesunięcie w stronę z której dmuchamy. Przesunięcie mogło być spowodowane tylko niejednakowym ciśnieniem powietrza z obu stron.
Chwila refleksji --- ciekawy temat do zadania domowego. Może ktoś, kto wie o czym mowa przygotuje krótką notatkę do gazetki ściennej?
Wracamy do butelki.
2. Palcem zmoczonym wodą zwilżamy szyjkę butelki i przykrywamy ją monetą np. 1 zł.
3. Obejmujemy obiema dłońmi butelkę i obserwujemy zachowanie się monety . Powinno się zauważyć i usłyszeć kilka podskoków monety. Po kilku „pyknięciach” proponujemy
4. usunąć monetę a zamoczonym uprzednio w wodzie kawałkiem papieru, i przykryć szyjkę butelki
5. Po odczekaniu minuty lub więcej powinno się zauważyć wklęśnięcie papieru na szyjce butelki.

Takie doświadczenie nie odbywa się w ciszy. Każdy ma swoją butelkę ale podpatruje też innych. Ktoś próbuje z kilkoma monetami, ktoś podkłada papiera pod monetę. Wszystko dozwolone. Wszystko prowadzi do tych samych wniosków. Głośne uwagi są dozwolone. Potem koniec zabawy i spróbujemy zapisać wnioski:

Dyskusja: (20 minut)

Ogrzane ręce były źródłem energii cieplnej ΔQ , która to energia mimo słabo przewodzącego szkła dotarła do bilionów cząsteczek gazu w butelce powodując zwiększenie ich średniej prędkości co objawić się musiało wzrostem temperatury

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{cm}$$

Uczniowie powinni próbować dopatrzeć się związku między tą zależnością a swoim doświadczeniem i zaraz zaproponować następny, rozumując słusznie, że nie tylko oddali energię ciepłą swoich rąk by podnieść temperaturę powietrza w butelce, ale też by wykonać pracę. Moneta została podniesiona, był jeszcze do tego hałas. A więc wzór powyższy nie jest poprawny ponieważ tylko część dostarczonej energii ΔQ została spożytkowana na podwyższenie temperatury.

Ktoś powie: e, co to za praca podnieść monetę. Możemy od razu zaproponować by spróbować oszacować ilość pracy potrzebnej do wywołania obserwowanego efektu. Ciekawy problem dla

zainteresowanych. Moneta jak drzwi na zawiasach uchyliła się z jednej strony. Pracę można by oszacować jako $\frac{1}{2} mg$ (monety) \times wysokość na jaką krawędź się podniosła.

Należy zatem poprawnie zapisać jak została wykorzystana energia cieplna ΔQ .

Ten następny związek może być tylko taki:

$$\Delta Q = mc\Delta T + \Delta W$$

Czy pokusimy się o szacunkowe określenie ilości energii biorącej udział w obserwowanym procesie to zależy tylko od czasu jakim dysponujemy, od zainteresowania klasy, od naszego wyboru.

Na dobrą sprawę, można spróbować oszacować wielkości wszystkich trzech członów tego równania, które warto napisać na tablicy dużymi literami pod nazwą

Pierwsza Zasada Termodynamiki

(dla przypadku naszej butelki).

Można, a nawet powinno się – jak sądzimy – zwrócić uwagę na powszechność zjawiska zaobserwowanego w naszym doświadczeniu. Oto przykłady:

1. W samochodzie energia dostarczana jest na skutek spalania mieszanki. Część traci się na ogrzewanie silnika (butelki) a część na przemieszczanie tłoka (kartonika lub monety);
2. W karabinach i innych armatach energia dostarczana pochodzi ze spalania materiałów wybuchowych i jest tracona częściowo na ogrzewanie (butelki) karabinu a (zgodnie z życzeniem konstruktora) głównie na ruch pocisku (monety);
3. W lokomotywach parowych gorąca para dostarczana do cylindrów (butelka) wywierała na tłoki (moneta) ciśnienie wystarczające by wprawić w ruch dziesiątki wagonów wypełnionych towarem.
4. Czyta się o tragicznych wypadkach wybuchu gazu w mieszkaniach na skutek czego ściany budynku się wały. Tu też były ciepłe ręce, butelka i moneta.
5. Eksplodują miny, bomby i granaty na wojnie. Łód spiętrzony na rzekach rozsadza się materiałami wybuchowymi.
6. Eksplodują Supernowe (gwiazdy, które nie wytrzymały ciśnienia wewnętrznego) i musiały umrzeć

Można poszerzyć listę by zilustrować tę największą chyba z Zasad jakimi rządzi się przyroda

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

i warto by każdy uczestnik lekcji zapamiętał ten wiele znaczący zapis:

Energia dostarczona z zewnętrznego źródła jest do odnalezienia we wzroście energii wewnętrznej „odbiorcy” i w pracy jaką „odbiorca” wykonał.

Temu równaniu poświęcone są ostatnie strony pierwszego tomu „Mojej Fizyki”.

Można na wiele sposobów pokazać, jak dla różnych przypadków spełnia się to równanie.

Na zakończenie pokazujemy doświadczenie: Ogrzewamy powietrze w pustej otwartej butelce (np. w gorącej wodzie) i odwracamy butelkę do góry dnem zanurzając szyjkę w naczyniu z wodą. Od tej chwili powietrze w butelce uwięzione stanowi układ zamknięty.

Obserwujemy efekt doświadczenia i próbujemy od uczniów uzyskać wyjaśnienie przyczyn takiego zachowania się cieczy (i oczywiście gazu) w oparciu o pierwszą zasadę termodynamiki.

$\Delta Q < 0$ Powietrze w butelce oddaje energię otoczeniu

$\Delta U < 0$ temperatura powietrza obniża się

$\Delta W < 0$ bo to nie gaz pracuje (objętość maleje), a nad gazem wykonywana jest praca. Powietrze jest ściskane przez zewnętrzne ciśnienie.

Na zakończenie lekcji pytanie: Jaki miernik (przyrząd) może być użyty by stwierdzić czy energia wewnętrzna gazu (cieczy, substancji) wzrosła czy zmalała?

Odp.: termometr

Pytanie trudne: dla najbardziej dociekliwych, do domu.

Zjawiska meteorologiczne mogą służyć za ilustrację spełniania się Praw Przyrody.

Jaki zauważasz związek między tymi zjawiskami a Pierwszą Zasadą Termodynamiki?