

Hopeho experiment

PROJEKT NA VOLITELNOU FYZIKU

Daniel Mihatsch | Gymnázium Trutnov | 2015/16

Hopeho experiment

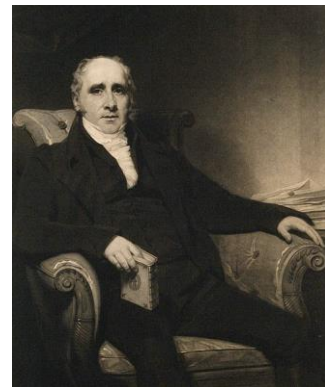
ÚVOD

Ve třetím ročníku na gymnáziu jsem dostal za úkol vybrat si projekt na volitelnou fyziku. Pro svoji práci jsem si zvolil Hopeho experiment, který dokazuje, že v rozmezí mezi 0°C a 4°C hustota vody s rostoucí teplotou stoupá. Výstupem projektu by měla být názorná ukázka toho, že při 0°C bude hustota vody nižší než při 4°C .

Jako inspirace pro tento projekt mi posloužila internetová stránka fyzikalnipokusy.cz.

THOMAS CHARLES HOPE

Skotský fyzik a chemik, který žil od roku 1766 do roku 1844. Vystudoval univerzitu v Edinburghu a univerzitu v Paříži. V roce 1787 začal působit na univerzitě v Glasgow a o dva roky později se stal profesorem medicíny. V letech 1791 – 92 dosáhl prvního velkého úspěchu, když objevil nový prvek Stroncium.



obr. 1

Hopeho přístroj

Tento jednoduchý přístroj, který slouží k demonstraci zkoumané anomálie vody, navrhl T. Ch. Hope v roce 1805. Přístroj se skládá z dutého válce, který je naplněn vodou, a který umožňuje ve dvou místech (při horním okraji a při spodním okraji) měřit teplotu. V prostřední části se nachází rezervoár na chladicí směs.



<http://fyzikalnipokusy.cz/>

obr. 2

Plovoucí ledové kry

T. Ch. Hope se dále zabýval touto anomálií a zkoumáním teplotní objemové roztažnosti vody. Ve svých úvahách nakonec došel k vysvětlení, proč ledové kry plavou. Vysvětlením tohoto jevu se budu zabývat v následující části, která se týká zmíněné teplotní objemové roztažnosti vody.

TEPLOTNÍ OBJEMOVÁ ROZTAŽNOST

Teplotní objemová roztažnost je jev, který se uplatňuje u kapalin, plynů i pevných látek. Látka zahřátá o určitou teplotu zvětší svůj objem na základě vztahu:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t$$

V tomto vztahu vycházíme z předpokladu, že těleso má při teplotě t_0 objem V_0 a při teplotě t objem V . Změnu objemu potom zapíšeme $\Delta V = V - V_0$ a změnu teploty $\Delta t = t - t_0$.

Pokud rozepíšeme změnu objemu, dostaneme upravený vztah:

$$V = V_0(1 + \beta \Delta t)$$

Teplotní součinitel objemové roztažnosti

Koeficient β se nazývá teplotní součinitel objemové roztažnosti.

Nejpřesnějším vyjádřením této fyzikální veličiny je vztah:

$$\beta = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dt}$$

Tento vztah udává, o kolik m^3 se zvětší objem $1 m^3$ při zahřátí o 1 kelvin.

Teplotní součinitel objemové roztažnosti je charakteristická vlastnost dané kapaliny, která zároveň definuje podmínky, za kterých změna probíhá.

Změna hustoty

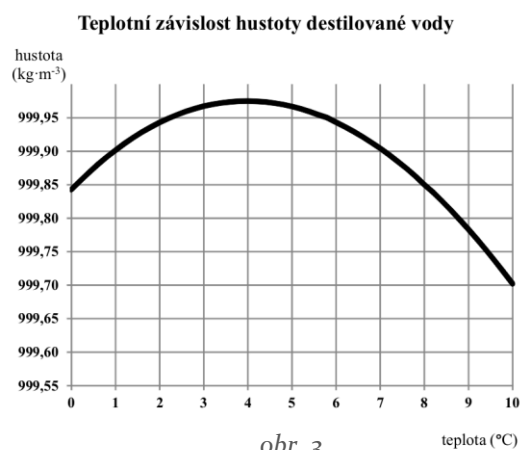
Vzhledem k tomu, že hmotnost tělesa zůstává konstantní, musí při změně objemu dojít také ke změně hustoty. Pokud dosadíme za objem V vztah $\frac{m}{\rho}$ a za objem V_0 vztah $\frac{m}{\rho_0}$ dostaneme po zkrácení a úpravě vztah:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta \Delta t}$$

Ze vztahu vyplývá, že pokud objem tělesa s teplotou roste, hustota musí (při zachování hmotnosti) klesat.

Anomálie vody

Hodnota koeficientu β závisí kromě druhu látky také na teplotě. Pro většinu látek nabývá koeficient kladných hodnot (objem tělesa se s rostoucí teplotou zvětšuje). V případě vody je ale situace odlišná. V rozmezí $0^\circ\text{C} - 3,98^\circ\text{C}$ nabývá koeficient záporných hodnot (objem se zmenšuje a hustota naopak roste). Hustota vody je nejvyšší při teplotě $3,98^\circ\text{C}$, dalším zvyšováním hustota opět klesá. Celou situaci ilustruje následující graf.



obr. 3

Význam anomálie vody

Tato anomálie je z hlediska existence života velmi důležitá. Při ochlazování vody k bodu mrazu totiž klesá nejdříve ke dnu voda o teplotě 3,98 °C, čímž vytlačuje chladnější vodu k hladině. Voda na hladině poté zamrzá a vytváří příkrov, pod kterým se udrží život i v zimě.

Ledové kry

Anomálie vody se projevuje také při zamrznání. Voda na rozdíl od jiných kapalin při zamrznání zvětšuje svůj objem, což zapříčiňuje (podle výše uvedených poznatků) snižování hustoty. Led má tedy nižší hustotu než kapalná voda. Tuto anomálii pozoroval už T. Ch. Hope a následně vysvětlil, proč ledové kry plavou.

POMŮCKY

Při měření teploty jsem používal dva měřáky (spodní 10010221A a horní 10010225A). Pro přípravu chladicí směsi jsem použil ledovou tříšť, kuchyňskou sůl a plastovou misku.

Sestrojený Hopeho přístroj

Vzhledem k tomu, že jsem neměl k dispozici profesionální Hopeho přístroj, sestrojil jsem si tento aparát sám ze dvou hliníkových plechovek, které jsem slepil chemoprenem a do prostřední části přilepil plastovou misku, která sloužila jako rezervoár na chladicí směs. Měřáky pro měření teploty jsem do válce s vodou nezaváděl ze strany (bylo by těžké otvory dostatečně utěsnit), ale ze shora připevněné na špejli, čímž jsem zajistil, aby byli v požadovaných výškách.



POSTUP EXPERIMENTU

Pozn. Vzhledem k tomu, že je potřeba při experimentu dosáhnout teploty okolo 0 °C, rozhodl jsem se provádět experiment venku, kde se teplota pohybovala okolo 3-4 °C.

Příprava

Před začátkem experimentu bylo nutné vodu, kterou jsem používal vychladit v mrazáku na výchozí teplotu 5 °C. Také Hopeho přístroj jsem nechal vychladit tím, že jsem ho nechal zhruba hodinu venku.

Jakmile měla voda ideální výchozí teplotu, vлил jsem ji do válce a čekal než se teplota v celém válci (tj. horní i dolní měřák) ustálí.

Chladicí směs

Následovala příprava směsi, která bude sloužit k chlazení vody až k 0 °C. Z kostek ledu, které jsem si nechal vytvořit v mrazáku den dopředu, jsem udělal ledovou tříšť. Tříšť jsem přesypal do misky a zalil ji trochou vody. Nyní jsem začal přisypávat sůl, která led rozpouští, ale zároveň

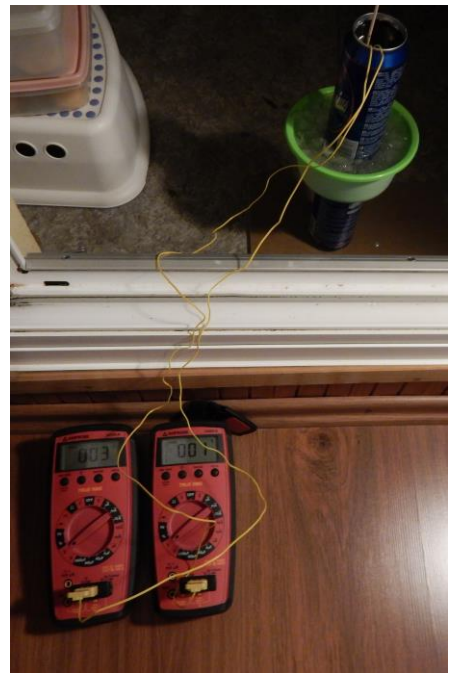


snižuje teplotu výsledné směsi. Za stálého míchání se mi podařilo dosáhnout teploty směsi zhruba $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Experiment

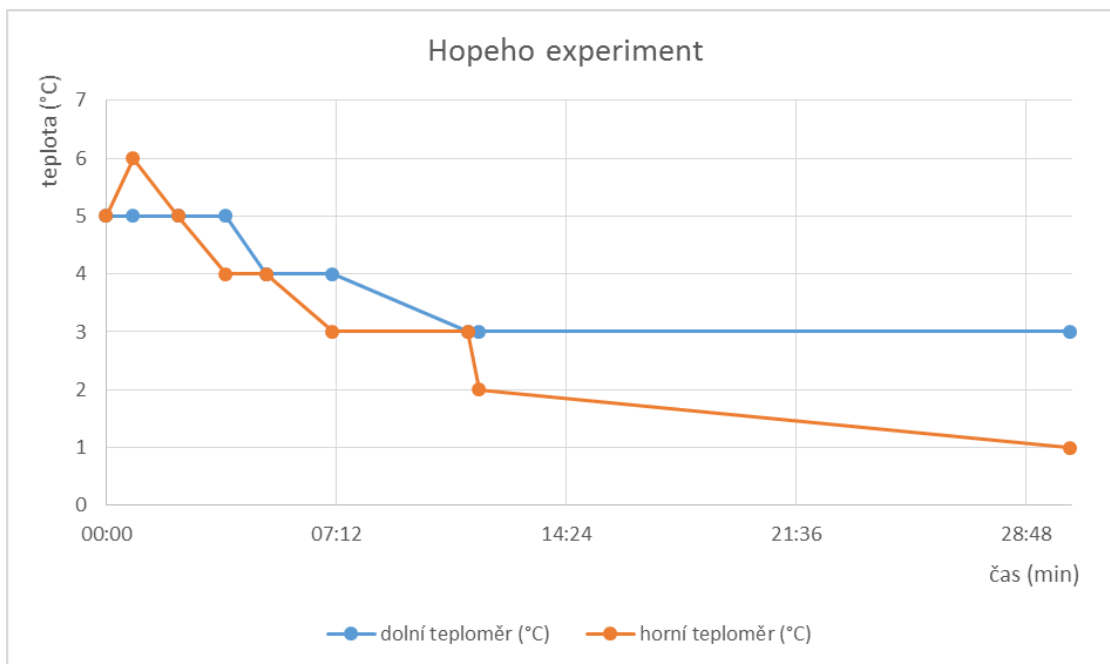
Když jsem měl připravený Hopeho přístroj s vychlazenou vodou a chladicí směs, mohl jsem se pustit do samotného experimentu. Chladicí směs jsem vлил do rezervoáru a spustil stopky.

Celé měření trvalo zhruba 30 minut, během kterých teplota pomalu klesala. Po uplynutí asi 45 minut od začátku experimentu se teplota opět začala zvyšovat, což naznačovala, že chladicí směs je již neúčinná, měření bylo tedy ukončeno.



ZÁVĚR

Vzhledem k tomu, že jsem měl k dispozici pouze teploměry, které jsou schopny rozlišovat jen celé stupně, nebylo měření přesné a teplota se měnila skokově. Zde je výsledek, který jsem naměřil:



Voda s počáteční teplotou 5 °C se ochlazovala nejdříve v horní části (s největší pravděpodobností ovlivněno okolním prostředím) a při dosažení 4 °C klesala na dno. Jakmile se spodní část válce zaplnila vodou o teplotě 4 °C, začala se voda ve střední části ochlazovat na nižší teploty a stoupat k hladině.

Z výsledku je jasně vidět, že se mi bohužel nepodařilo dosáhnout teploty 0 °C na horním teploměru a naopak spodní teploměr klesl na teplotu 3 °C, což dle mého názoru zapříčinila okolní teplota, která se pohybovala právě okolo 3-4 °C.

Přesto je experiment vypovídající alespoň částečně. Podařilo se mi dokázat, že voda o teplotě 1 °C má vyšší hustotu než voda o teplotě 3 °C, čímž jsem si alespoň částečně ověřil předpoklad, který jsem vytvořil na začátku. Mohu tedy ohodnotit experiment jako částečně úspěšný.

Chtěl bych na závěr poděkovat svému otci, který mi zapůjčil měřáky pro měření teploty a během experimentu mi pomáhal.

DALŠÍ MATERIÁLY

vizualizace Hopeho experimentu: https://www.youtube.com/watch?v=Zh45_WT8Cgo

plovoucí ledové kry: <https://www.youtube.com/watch?v=bzTZx1RDV3w>

ZDROJE

obrázky:

obr. 1

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8e/Thomas_Charles_Hope.jpg/495px-Thomas_Charles_Hope.jpg)

obr. 2 (http://fyzikalnipokusy.cz/media/01656/pristroj_velky.full.tagged.png)

obr. 3 (http://fyzikalnipokusy.cz/media/01656/anomalie_velky.full.tagged.png)

ostatní zdroje:

https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Charles_Hope

https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplotn%C3%AD_rozta%C5%BEnost

http://artemis.osu.cz/fypx1/Balnar/5_3.htm

<http://fyzikalnipokusy.cz/1656/hopeho-experiment:-anomalie-vody>

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/650-zmena-objemu-teles-pri-tani-a-tuhnuti-zavislost-teploty-tani-na-tlaku>