

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Vladimír Novák

O skupenství hmoty

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 29 (1900), No. 4, 273--281

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/109414>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1900

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## O skupenství hmoty.

Napsal

Ph. dr. Vlad. Novák v Praze.

Zkušenosti, kterých nabýváme pozorováním přírody a takových zjevů, které jsme sami zvláštním zařízením přivodili, často nabádají pozorovatele, aby vyslovil jistou větu, poučku všeobecnou. Podle podobnosti vlastností nebo zjevů, *třídíme* je a upravujeme *soustavu* přírodní nauky. Často se však vyskytne později případ, který se s větou proslovenou, rozdělením určeným *neshoduje*, a tím ovšem k jisté opravě vybízí. Z mnohých, velmi zajímavých příkladů případu takového ve fysice, chci v následujícím uvést rozdělování hmoty *podle skupenství*.

Na kusu křemene pozorujeme především jeho tvar, barvu, v ruce jej držíce pocítujeme jeho váhu, ohmatávajíce jeho povrch, shledáme jej drsným nebo hladkým, teplým neb studeným, udeřivše jím o zem, slyšíme zvuk nárazu atd.

Mezi jinými vlastnostmi zajímá nás odpor, který klade mineral ten proti snaze proměnití jej na *více* částí, tlakem, nárazem a podobně.

Vedle této hmoty máme v sklenici trochu vody. Tvar její závisí patrně na formě sklenice a na okolnostech, v nichž se obě hmoty sklenice i voda nalézají. Otrásá-li se stolem, na kterém sklenice stojí, objeví se povrch vody více neb méně *zvlněný*, nakloníme-li sklenici, přiblíží se voda k okraji sklenice, po případě i vyteče. Při vytékání ubývá vody ze sklenice a přibývá jí tam, kam vodu naléváme. Hmota se tu *dělí* velmi snadno, voda klade dělení malý odpor. Pokud přeléváme určité množství vody do nádob různé podoby, ačkoliv se tvar vody při tom

proměňuje, *objem* její jest stále *týž*, když ovšem si představíme, že se při přelévání *všecka* voda dostane z nádoby jedné do druhé, když je zabráněno vypařování a změnám v teplotě. Vylijeme-li vodu ze sklenice, otřeme-li šatem nádobu, pravíme, že jest *prázdná*. Ve skutečnosti není na prosto prázdná, poněvadž vzduch ji vyplňuje právě tak jako vyplňuje světnici, ve které jsme, ulice, jimiž chodíme, zkrátka celé naše okolí nejen ve všech směrech k obzoru, ale i do jisté výše, ve směru vzhůru. Hmoty vzduchu, je-li v klidu, téměř necítíme. Procházíme jím volně, do nádob vzduchem naplněných naléváme různé kapaliny bez překážek a jen ve zvláštních případech prozradí se vzduch jako hmota podobnými vlastnostmi tělesa tuhého nebo tekutého. Jdeme-li proti větru, kloníme se bezděky ku předu a pocítujeme nemile hmotnost vzduchu. Naléváme-li vody do lahve s úzkým hrdlem, teče často voda vně po hrdle místo do vnitř lahve, odkud vzduch nemůže unikati a pod. Můžeme si tedy souhlasně jako ve dvou příkladech předešlých, představit určité *množství* vzduchu nebo látky podobných vlastností. Otevru-li kohoutek u plynového hořáku na jednu vteřinu, vejde do okolního prostoru jisté množství svítivého plynu, za několik vteřin jest množství ono patrně několikrát větší než dříve. Provedeme-li tento ne právě příjemný pokus, ucítíme za chvilku svítiplyn v *celé* světnici, ačkoliv jsme jej vpustili do prostoru světnice jen v *malém množství* a *malého objemu*. *Dělení* hmoty děje se tu samo sebou.

Z těchto tří případů povahy hmoty, k nimž nalezneme veliké množství příkladů podobných, poznáváme, že některé hmoty existují v takovém stavu, že majíce *určitý tvar*, vyplňují v nezměněných okolnostech *týž objem*; jiné nemají *stálého tvaru*, *pouze objem* se stejnou podmínkou jako dříve zůstává nezměněn. Konečně jsou hmoty takové povahy, že vyplňují nádobu *jakéhokoliv tvaru a objemu*, rozprostírajíce se po celé nádobě, ať byly tam vpraveny v kterémkoli množství.

Dle těchto všeobecných vět, jichž platnost podepřena jest tak přčetnou zkušeností, rozeznáváme *trojí skupenství* hmoty: skupenství *tuhé*, *kapalné* a *vzdušné*. Křemen byl tedy v příkladech hořejším tělesem *tuhým*, voda *kapalným*, svítiplyn *vzdušným*. Při dělení na části poznali jsme při skupenství tuhém *odpor*

*veliký*, při skupenství kapalném *odpor malý*, při plynném spíše snahu rozdělit se po daném prostoru. Ze stanoviska dělení hmoty byl by tedy rozdíl mezi jednotlivým skupenstvím pouze *číselný*, nikoliv tedy v *qualitě*, ale pouze v *quantitě* jedné a téže vlastnosti. Tuto vlastnost můžeme si představit jako síly, které poutají jednotlivé částice hmoty k sobě, tedy síly soudržné. U hmot skupenství tuhého jsou tyto síly soudržné *největší*, při skupenství kapalném jsou *menší*, u vzdušin jsou pak velmi *nepatrné*.

Že i na př. u vzduchu se vyskytují, soudíme z tohoto pokusu. Vzduch budiž uzavřen ve válci, kde se nalézá pohyblivý, ale těsně k stěnám přilehající píst. Povytláhneme-li prudce píst, tak že se objem vzduchu náhle zvětší, *ochladí* se vzduch na důkaz, že jeho částice rozpínajíce se, vykonali práci proti silám soudržným.

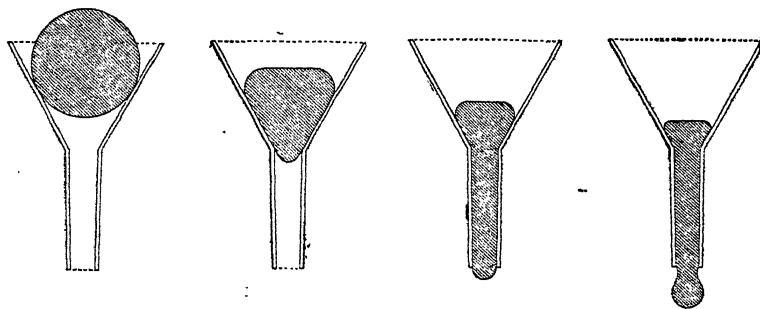
Kyvadlo ve vzduchu kývajícím znenáhla se zastavuje, jeho výkyvy jsou menší a menší, poněvadž při každém kyvu musí překonávat, rozdělujíc vzduch, síly, které mezi nejmenšími částicemi vzduchu působí.

Síly soudržné myslíme si mezi nejmenšími částicemi hmoty, proto také pravíme, že se různá skupenství vysvětlují *hypotésou molekulární*. Síly soudržné projevují se při působení vnějších sil na těleso. Ve způsobu tohoto vnějšího působení rozeznáváme hlavně dva důležité druhy sil, jeden, při němž vnější síly těleso mění v jeho *tvary* a druhý, kde těleso mění svůj *objem*. Obě změny záleží v tom, že se částice tělesa od sebe *vzdalují* nebo k sobě *blíží*.

Jsou tedy síly mezi molekulami nejen *přitažlivé*, ale také *odpudivé* a částice tělesa v klidu, v rovnováze, to jest bez působení vnějších sil, jsou v jistých vzdálenostech od sebe, tak že se právě síly přitažlivé a odpudivé vyrovnávají. U hmot tuhých způsobuje se změna tvaru neb změna objemu silami, které záleží na podstatě zvolené hmoty. Při různých látkách tuhých jsou tyto síly různé, povšechně *značné velikosti*. U kapalin naproti tomu působí se všeobecně *změna tvaru silami nepatrnými*, naproti tomu *změna objemu* vyžaduje *sil ohromných*. Nepatrné otřesení stolkem, na němž se nalézá nádoba s vodou, uvádí povrch vody do rozmanitých tvarů. K stlačení dvaceti litrů vody

pouze o 1  $\text{cm}^3$  je již potřebí tlaku jedné atmosféry. U plynů jest reakce proti změně tvaru a objemu velmi malá; poněvadž se plyny rozprostraňují po celé prostoroře daných nádob, nutno předpokládati, že síly odpudivé mezi molekulami jsou *větší* sil přitažlivých.

Zajímavo jest, že totéž těleso, téže chemické podstaty, může za různých okolností jeviti kterékoliv ze tří jmenovaných skupenství. Voda na př. mrzne, mění se v led tvrdý a křehký, lehčí než voda, tedy přechází ze skupenství kapalného do tuhého. Ostavíme-li vodu ve skleničce, kterou položíme na mísku váh a vyvážíme, poznáme, že vody ubývá — voda se vypařuje, vodní páry stoupají a prostírají se ve světnici. Skupenství kapalné přechází ve vzdušné. Cín horkem taje na kapalný kov, vosk taje, lín se vypařuje, mnoho látek známe v každém ze tří



skupenství. Okolnost tato svědčí také pro názor, že rozdíl jednotlivých skupenství jest *quantitativní* a nikoliv *qualitativní*.

Vedle toho vyskytují se příklady hmoty v takovém stavu, který nelze zařaditi bezpečně do některého z udaných skupenství. *Některé látky* chovají se jako *kapaliny* i jako *tělesa tuhá*. *Kapaliny* za jistých okolností prozrazují *vlastnosti těles tuhých*. Pro prvý případ jest znamenitým příkladem každá látka *těstu* podobná, která má určitý tvar jen pro krátkou dobu, působením tíže pak povolna přechází ve tvary jiné, přispůsobujíc se nádobě nebo místu, kde se nalézá. O hmotách podobných můžeme říci, že se chovají jako tělesa tuhá, když na ně působíme silou *náhlotu*, naproti tomu že mají povahu kapalin vzhledem k silám, které *trvale* působí. K pokusům, které dvojí tato skupenství

na téže látce demonstrují, hodí se velmi dobře kovářská smůla, nebo ta smíšenina smůly kovářské a benátského terpentýnu, které užívají rytci a ciseleuři k upevňování kovových předmětů, na nichž pracují.

V obr. jest naznačena nálevka skleněná, do které byla vložena koulička ze směsi smůly kovářské a terpentýnu, a kde byla ostavena po dlouhý čas. V jednotlivých částech vyobrazení naznačeny jsou tu změny užitě hmoty způsobené trvalým působením tíže. Během měsíců (často i let dle složení smůly) představuje hmota tato kapalinu, která vytéká z nálevky, tvoříc právě tak kapky u ústí nálevky jako voda, nebo rtuť a podobné kapaliny.

Naproti tomu proti náhlému nárazu jeví se býti smůla kovářská křehkou, drtíc se nárazem na kusy.

Naplníme-li smůlou kovářskou skleněnou nádobu válcovou a položíme-li na její povrch těžkou kouli olověnou, zpozorujeme po čase, kterak povrch smůly se prohlubuje, jak dále koule do smůly vniká, až v ní úplně zmizí. Po delší době ukáže se koule u dna nádoby, právě tak, jako bychom nechali ji klesnouti ke dnu sklenice naplněné nějakou kapalinou. Oba případy liší se jen *dobou*, po kterou se úkaz děje. V kapalině je ponoření náhlé, v oně smůle pozvolné.

Uhněteme-li ze sřídý měkkého chleba, kterou jsme poněkud navlhčili, čtyřstěn, jeví hmota tato proti náhlým silám vlastnosti skupenství tuhého. Silným udeřením o podlahu odrazí se čtyřstěn jako těleso velice pružné a ukazuje nezměněný tvar — naproti tomu volným hnětením a mačkáním lze přivésti onen čtyřstěn v jakýkoliv tvar.

Příklady tyto ukazují, že existují hmoty, které dle hořejšího rozdělení nejsou vlastně ani tuhými, ani kapalnými. Tím se objevuje žádoucí oprava při rozeznávání skupenství hmot.

Jak již připomenuto, i kapaliny v jistých okolnostech ukazují *určitý tvar*, tak že hranice mezi skupenstvím tuhým a kapalným tím více mizí. V obyčejných případech nejeví se totiž tvar kapalin proto, poněvadž *působení tíže* je větší, nežli působení sil molekulárných. Příkladem jsou drobné kapky vody, rtuti a jiných kapalin. Kapky tyto mají tvar kulovitý — byl by přesně kulový, kdyby působení tíže bylo úplně odstraněno.

Případ tento nastane, když kapka padá, tíže se tu spotřebuje *na zrychlený pohyb k povrchu zemskému a tak kapka je ponechána pouze působení vnitřních sil, které jí udělují podobu kulovou.*

Pozorování padajících kapek nemůže se díti ovšem při obyčejném osvětlení, poněvadž pád děje se *příliš rychle*, než aby okem mohl býti sledován. Osvětlíme-li však kapku intenzivním světlem na velmi kratinký okamžik, pak uvidíme kapku jakoby v klidu a můžeme posouditi její formu. Krátce trvajícím, intenzivním osvětlením zjedná se elektrickou jiskrou z lahve leydenské; nebo uijeme jakéhokoliv zdroje světelného dostatečně intenzivního, který se střídavě a velmi rychle zakrývá a odkrývá. Před otvor, kterým světlo vychází, postavíme kruhovou desku silného kartonu, do níž jsme v kruhu vyřezali několik stejně od sebe vzdálených otvorů, deskou pak nějakým motorem kolem osy rychle otáčíme. V „*intermittujícím*“ světle takovém mohou býti pozorovány úkazy, které se příliš rychle dějí, tak že jich oko nemůže sledovati. Jiný způsob vybavení kapaliny z působení tíže byl navržen *Plateau-em*. Zbarvíme trochu oleje kyslíčnickem měďnatým (zeleně) a upravíme si směs lihu a vody téže specifické hmoty (tak totiž, aby rovné objemy obou kapalin stejně mnoho vážily). Nalejeme-li pak oleje do směsi připravené, utvoří se z oleje kapka podoby kulové, která se v kapalině vznáší.

Podobný tvar jeví mýdlové bubliny, kde jest působení tíže velmi malé pro malé množství kapaliny v mýdlové bublině obsažené.

V přechodu od těles tuhých ke kapalinám jsou hmoty jako písek, zrní a podob.; které, ač skládají se z hmot tuhých, jeví vlastností kapalinám podobné. Příkladem jsou obilní elevatory v přístavech, kde se obilí jako kapalina potrubím čerpá; dále pak písčné krajiny některých mořských pobřeží a písčné vrstvy objevené v dolech, působící dolujícími právě takové svíce jako prameny vodní.

Z těchto zkušeností patrně, že skutečně rozdíl mezi skupenstvím tuhým a kapalným není ve dvou nějak od sebe se lišících vlastnostech, ale že záleží v *různém stupni* těžže vlastností.

Podle předešlého zdálo by se, že by se přece mohla rozeznávat dvé skupenství, jedno by obsahovalo všechny látky tuhé a kapalné, druhé pak všechny látky plynné. Tomu však odporovaly by úkazy, při některých plynech se vyskytující, které upomínají na vlastnosti kapalin.

Přivádíme-li na př. trubicí na dno otevřené nádoby sahající, pozvolna kysličník uhličitý, plní tento nádobu právě tak, jako bychom přiváděli kapalinu. Kysličník uhličitý jsa 1·5krát těžší než vzduch, plní dolejšek nádoby a teprvé zvolna proniká, když jsme proudění přerušili, do vrstev hořejších.

Otevřeme-li lahvičku s etherem a držíce ji proti světlu, nakloníme ji tak, aby těžké páry etherové mohly unikati do vzduchu, spatříme proud jich dolů klesající ne nepodobný výtok kapaliny z nádoby.

Jeví se tedy rozdíly mezi jednotlivými skupenstvími pouze kvantitativně, třeba veliké rozdíly číselné způsobují pak zjevy velmi nápadně se lišící.

Zajímavým k tomu dokladem jest studium plynů velmi silně zředěných. Vynálezem vývěvy rtuťové bylo možno vyčerpati vzduch neb jiný plyn ze skleněných nádob velmi dokonale až na nepatrné zbytky, jichž napjetí měřené podobně jako tlak vzduchu barometricky, sloupcem rtuťovým, obnáší pouze několik setin millimetru! Vzduch a jiné plyny při tomto zředění jeví některé překvapující vlastnosti.

Anglický fysik a chemik *W. Crookes* (\* 1832 v Londýně) sestrojil velmi čtené roury skleněné, evakuované, v nichž nalezal se mlýnek obyčejně dvouramenný, lehounký, na koncích destičkami slídovými opatřený a pohyblivý kol osy svislé v ložiskách co možná s malým třením. Přístroje takové nazval *radiometry*, neboť otáčely se působením paprsků tepelných nebo i výbojem elektrickým, jenž veden byl prostorem zředěným. Nejen pokusy s radiometrem, ale i jiné rozmanité úkazy výboje elektrického, vedeného ústředím zředěného plynu, poukazovaly k zvláštním vlastnostem silně zředěných vzdušin. Vedeme-li výboj elektrický vzduchem za obyčejného tlaku atmosférického, přeskakuje elektrická jiskra. Aby vůbec jiskra izolujícím vzduchem pronikla, musí býti potencialný rozdíl elektřin obou konduktorů



značný, při vzdálenosti jednoho centimetru a kulových konduktorech (v průměru = 1 cm) již asi 20.000 Volt!

Zředí-li se vzduch do jisté míry (do tlaku několika milimetrů) pak lze vésti jím elektrický výboj i když oba konduktory jsou *ve značné vzdálenosti*. Příkladem jsou rourky Geisslerovy, naplněné zředěnými plyny, jimiž lze vésti výboj i malých přístrojů indukčních. Výboj v tomto případě však *nemá* již tvar jiskry, celá trubice se vyplňuje září různé barvy na obou pólech, spojených s konduktory neb svorkami sekundárního vinutí přístroje Ruhmkorffova.

Postupuje-li se v zředování dále, ukazuje se kolem jednoho pólu (kathody) v trubici Crookesově *tmavý prostor*, jenž se při stoupajícím zředění stále zvětšuje, až se konečně rozšíří po celé prostora trubic. Výboj elektrický jeví se světlem, které pak trubice vydává.

Úkazy tyto snažil se vysvětliti *Crookes* novým *skupenstvím* hmoty, ve které přechází vzduch neb jiný plyn při silném zředění. Pokud je vzduch za obyčejných poměrů tlakových, vykonávají jeho nejmenší částice kmitavé pohyby o velmi malé amplitudě, při větším zředění stává se však tento rozkmit větším a větším, tak že lze jej srovnávati s vnitřními rozměry prostoru, kde se nalézá. Výboj elektrický jeví se jako záře plynu potud, pokud amplitudy jsou malé a pokud částice plynu na sebe *naráží*. Jakmile však zředění stoupne, tu jen v některých místech částice na sebe *naráží* a objevuje se tmavý prostor — místo, kde se setkání částic neděje.

Při vysokém stupni zředění jeví při výboji elektrickém nárazy částic určité směry a působení těchto nárazů na pevnou hmotu skla jeví se jako světlo — fluorescence, to jest záření při výboji, ano i jako fosforescence, to jest záření po výboji. Proto *Crookes* nazval vzdušiny v tomto skupenství *hmotou zářivou*.

Příklad tento ukazuje velmi poučně, kterak rozdělení hmoty ve tři skupenství mohlo by býti pozměněno a zároveň přispívá k poznání, že mezi jednotlivými skupenstvími není *přesných, určitých* mezí, ale že často se tu vyskytuje pozvolný přechod.

Dříve uváděla se za důvod pro přesné rozdělení v různé skupenství ta okolnost, že některé látky existují pouze v *jediném* skupenství. Novější doba ukázala, že nelze rozeznávati plynů

„dokonalých“ a „nedokonalých“, plynů a par a že i „dokonalé“ plyny lze proměnit na kapaliny a tělesa tuhá. Roku 1878 podařilo se *Pictetovi* silným stlačením a značným schlazením proměnit *kyslík* na kapalinu, později (od r. 1883) vykonali zajímavá měření při kondensaci *vzduchu* a *dusíku* *Wroblewski* a *Olszewski*. Nejdéle vzdoroval vodík, jež nutno při kondensaci ochladiti až na  $-200^{\circ}$  C.

V poslední době však konstruovány byly jednoduché aparátů ochlazovací (*Kirk, Coleman, Solway, Linde, Kamerlingh*) kterými, jak *Dewar* ukázal, jest možno snadno a v několika minutách skapalnití vodík.

## Úlohy.

### Úloha 1.

*Jak se dokáže správnost relace*

$$\begin{aligned} & \frac{\prod_{k=0}^n (a^{2^k} + b^{2^k})(c^{2^k} + d^{2^k})}{(a-c)(a-d)(b-c)(b-d)} \\ & + \frac{\prod_{k=0}^n (a^{2^k} + c^{2^k})(b^{2^k} + d^{2^k})}{(a-b)(a-d)(c-b)(c-d)} \\ & + \frac{\prod_{k=0}^n (a^{2^k} + d^{2^k})(b^{2^k} + c^{2^k})}{(a-b)(a-c)(d-b)(d-c)} \equiv 0? \end{aligned}$$

Prof. Dr. *F. J. Studnička*.

Řešení. (Zaslal p. *Jan Schüller*, stud. VIII. tř. gymn. v Chrudimi.)

Násobíme-li rovnici společným jmenovatelem a vypíšeme naznačené součiny, nabývá daná relace tvaru

$$(a-b)(a+b)(a^2+b^2)\dots(a^{2^k}+b^{2^k})\cdot(c-d)(c+d)(c^2+d^2)\dots \\ (c^{2^k}+d^{2^k}) - (a-c)(a+c)(a^2+c^2)\dots$$