

# NAUKA O TEPLE

NAPSAL

*prof. Dr. Josef Štěpánek*

S 85 VYOBRAZENÍMI

S F I N X

*Bohumil Janda, Praha*

1 9 2 8

# Š K O L A V Š E V Ě D N Á S V. 17

*Redakcí univ. prof. Dra. Otakara Kádnera*

ODBOR : FYSIKÁLNÍ

*redaktor řed. Dr. Karel Rón*

---

VYTISKLI

*Graf & Stricker, Praha XI.*

1 9 2 8

78 1/2  
—  
18 50

NAUKA O TEPLE

Copyright by Sfinx. Publishers Prague, Czechoslovak Republic

## PŘEDMLUVA

Byv požádán panem řed. Dr. Karlem Rónem, poradatelem matematicko-fyzikální části sbírky monografií „Škola vševedná“, napsal jsem pro tuto sbírku stručnou „Nauku o teple“. Jest přirozeno, že spisek tento nepřináší žádných nových, dosud neznámých poznatku vědeckých. Maje na zřeteli co možno nejširší kruh čtenářský, pro který jest tato sbírka populárních učebnic určena, řídil jsem se při své práci zásadami těmito:

1. Psáti tak, aby každý schopný absolvent našich měšťanských škol mohl studovati knihu se zdarem.

2. Podati výklad látky podle moderního stavu vědeckých badání poutavě, přístupně a při tom hodně názorně; přihlížel jsem hojně k historické stránce vývoje fyzikálních poznatků a probíral látku co možno podrobně. Mimo to zařadil jsem do knihy hodně popisů i vyobrazení přístrojů a pokusů, z nichž mnohé jsou tak jednoduché, že si je může čtenář provést i takovými prostředky, které si může opatřit zcela levně. Volil jsem obrazce schematické, jež umožňují vždy snadnější porozumění než podrobné obrazce celých složitých zařízení.

3. Pro vystižení vzájemných závislostí různých veličin uvedl jsem grafická znázornění, abych i tento nejnázornější a nejvhodnější způsob vyjádření zákonů přírodních učinil přístupným vrstvám nejširším.

4. Nevyhýbal jsem se ovšem ani početnímu vyjádření zákonů fyzikálních, ale omezil jsem výpočty jen na nejnútnejší. Všude tam, kde jich bylo užito, jsou podrobně provedeny. Při nich předpokládám u čtenářů jen znalost čtyř základních početních úkonů s čísly obecnými, pokud se probírají na školách občanských, a jejich užití při nejjednodušších případech řešení rovnic o jedné neznámé. Části obsahující výpočty a poznatky odbornější jsou tištěny drobněji.

5. Z jiných oborů fyzikálních nepředpokládal jsem podrobnějších znalostí; kde bylo třeba poznatků z některé jiné části fyziky, jsou stručně vysvětleny.

6. Cizích výrazů vědeckých jest užito jen těch, které jsou běžné i v češtině. Každé cizí slovo jest vysvětleno tam, kde se po prvé vyskytuje.

7. Aby se mohl přesvědčiti čtenář sám, jak porozuměl látce a jak si osvojil předcházející výklady, jsou na vhodných místech vloženy jednoduché a lehounké fyzikální příklady početní na užití vzorců, které byly odvozeny v předešlých odstavcích. V hranatých závorkách [ ] jsou u každého příkladu uvedeny výsledky.

8. Na konci knihy jest uveden seznam věcný aby si mohl čtenář snadno vyhledati potřebnou stať, když by si látku opakoval.

Při zpracování knihy byla mi vodítkem dlouholetá učitelská zkušenost, že nauka o teple jest částí fyziky, která působivá naší studující mládeži dosti potíží, obsahujíc hojně pojmů a veličin, které jest nutno přesně definovati a od sebe dobře rozlišovati. Látka postupuje celkem způsobem obvyklým v učebnicích středoškolských. Není třeba podrobně vypočítávati pramenů, k nimž jsem přihlížel při své práci; jen podotýkám, že užil jsem všech našich českých učebnic i děl jednajících o teple a mimo to i větších kompendií cizojazyčných, pokud mi byla přístupna. Číselné tabulky fyzikálních hodnot, které jsou v mé práci obsaženy, jsou většinou vyňaty z nejnovějšího 6. vydání Valouchových „Tabulek logaritmických“, vyšlých nákladem a tiskem „Jednoty československých matematiků a fyziků“.

V Praze v září 1926.

*Ph. Dr. Josef Stěpánek,*  
*profesor stát. reáln. v Praze-III*

**1. Báje o Prométhovi.** Starořecký básník H e s i o - d o s ze století VIII. před Kristem vypravuje ve svém spise „Theogonie“<sup>1)</sup> (Rodokmen bohů) o P r o m é t h o v i , synovi Titana J a p e t a a K l y m e - n y tuto báji:

Olympští bohové zmocnivše se vlády nad světem, přeli se s lidstvem o to, jaké oběti mají lidé přinášeti bohům. P r o m é t h e u s , jenž v této při zastupoval člověčenstvo, chtěl oklamatí nejvyššího boha Z e v a a předčiti jej svou moudrostí ve prospěch lidstva. I rozdělil zabitého obětního býka na dva díly tak, že schoval do kůže maso a vnitřnosti a položil navrch této hromady žaludek, nejšpatnější to částku, a na druhou hromadu dal kosti zabalené do plsti. Pak vyzval Zeva, aby si vybral část, kterou chce. Zeus prohlédl lest, ale přece vybral si část horší, totiž kosti, ale za trest odňal lidstvu o h e ň .

Avšak chytrému Prométheovi podařilo se tajně vzít z O l y m p u , sídla božstev, oheň a přinést lidem. Za to však stihl Prométhea těžký trest Zevův. Byl na okraji světa v poušti skythské přikován k horstvu Kavkazu a z rozkazu Zevova přilétal k němu každodenně orel, aby mu užíral z těla játra, která každé noci narůstala Prométheovi znova.

Dlouhý čas trpěl takto Prométheus za svojí vinu, až konečně se nad ním Zeus slitoval a dal rozkaz, aby slavný rek H e r a k l e s zabil toho orla. Prométheus byl pak zase přijat na Olymp a stal se rádcem bohů.

**2. Význam ohně.** Touto bájí vystihli staří Řekové veliký význam, který má pro lidstvo o h e ň jakožto

<sup>1)</sup> Pochází z řeckých slov: θεός (čti theos) = bůh, γένος (čti gonos) = rod, pokolení.



hlavní umělý zdroj tepla. Prometheus jeví se v ní jako dobrodinec člověčenstva, jemuž lidstvo děkuje za oheň, bez něhož by nemohlo žít. Zároveň jest Prometheus představitelem vzdělanosti lidské a jejího boje proti vlivům přírodním, které škodí lidstvu.

Jakou důležitost přičítali staří národové ohni, svědčí i ta okolnost, že považovali jej za jeden ze čtyř živlů, z nichž si představovali složený svět. Uctívali též zvláštní božstva, jež ochraňovala oheň. Tak u Řeků byl to bůh Hefajstos, syn Zevův, jenž byl zároveň bohem rozličných umění, pracujících kovy roztavenými ohněm. Ochránkyní krbu a ohně v domácnostech a tím i života rodinného byla Řekům bohyně Hestia. Římané ctili v podobném významu boha Vulcana (čti Vulkána) a bohyni Vestu. Na počest těchto božstev zavedeny byly zvláštní oběti a oslavy.

Jako božstvo uctívali Řekové též boha Slunce Helia, jenž byl jim dárce světla a tepla přirozeného.

Od nejdávnějších dob užívalo lidstvo tepla k přípravě pokrmů. Maso opékalo se na rožni, polévka vařila se v kamenných nádobách tím, že se do ní házely horké kameny. Dokud neznali lidé pil a seker, kácívali v dávnověku stromy tak, že pod kmenem rozdělali oheň a propálili spodek kmene tak, až jej mohli porazit.

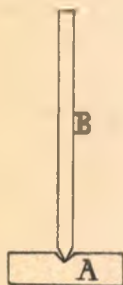
A právě proto, že všichni národové potřebovali od dob nejdávnějších ohně, nacházíme dosud u národů ještě málo vzdělaných zvláštní umění a návody, jak se rozdělává oheň.

Obyvatelé osamělých ostrovů poblíž Austrálie užívali do nedávna na rozdělávání ohně dvou dřev. Kus tvrdého dřeva A (obr. 1) byl vyhlouben a do vyhloubené části zasazena tyčka měkkého dřeva, jíž otáčeli rychle mezi dlaněmi obou rukou tak dlouho, až měkké dřevo, jsouc snadněji zápalné, chytlo vlivem tepla vyvinutého třením. Někteří národové, jako Eskymáci a američtí In-



diá ni, sestrojili zvláštní vrtáky na oheň na způsob našich nynějších nebozezů; otáčeli jimi buď ručně nebo pomocí ovínutých provazů, za něž tahali tak dlouho, až se třené dřevo tak rozpálilo, že bylo možno od něho zapáliti zápalnou hubku. Jiný způsob rozdělávání ohně byl ten, že tloukli o sebe dvěma kameny, až jiskrou vznítili zápalnou hubku.

Všecky tyto způsoby rozdělávání ohně daly podnět k názoru, že oheň sídlí v některých tělesech, dřevech, kamenech, ze kterých lze ho vydobýti že jest tedy sám čím si hmotným.



Obr. 1

Později teprve, arcit' již ve starověku, naučilo se lidstvo užívatí ohně k výrobě kovů z rud a hotoviti z roztavených kovů nástroje, nádoby a ozdoby, zbraně a nářadí hospodářské a položilo tak základ ke své pokračující kultuře. Při výrobě kovů z rud naučili se lidé hotoviti též jinou látku, pro kulturu velmi důležitou, totiž sklo. Pravděpodobně byli to Egypťané, kteří první již v předhistorické době vynalezli výrobu skla při dobývání zlata ze zlatonosného písku, který tavili se sodou, a dostali tak průhlednou hmotu, podobající se nynějšími sklu.

**3. Thermika.** Jaký úkol má oheň a teplo jím vyvinuté při těchto dějích, o tom neměli ovšem staří národové jasného ponětí. A trvalo to velmi dlouho, nežli se podařilo vznik tepla a působení jeho uspo-

kojivě vysvětliti pozdějším vědeckým badatelům, kterým staly se sklo a kovy i nástroje a přístroje vyráběné z nich nezbytnými pomůckami při vědecké práci.

Člověk moderní nevidí již v ohni hmoty, ani se jemu a Slunci neklaní jako božstvům. Dnešnímu lidstvu jsou oheň a Slunce hlavními zdroji tepla jakožto energie, to jest schopnosti konati práci, které lidstvo využívá, aby si svůj život umožňovalo, udržovalo a zpříjemnilo.

Teplo, změny jím působené a zdroje jeho staly se předmětem pečlivého zkoumání četných badatelů ode dávných dob a poznatky o něm byly seskupeny v „Nauku o teple“ čili cizím názvem „Thermiku“,<sup>2)</sup> jež jest jednou z velkých částí vědy fyziky čili přírodopysku.

### O stavu tepelném a jak se zjišťuje.

**4. Jak zjišťujeme stavy tepelné pocity tepelnými.** Stýkajíce se s předměty ve svém okolí, máme zvláštní pocity, které nazýváme pocity tepelné, a dle nich označujeme stav těch předmětů různými názvy.

Příjemně chladí nás voda v řece za parného letního odpoledne, milé jest ohřátí u vytopených kamen po delší chůzi v ledovém severáku. Zamrazí nás, když dotkneme se holou rukou ojíněné kliky domovních vrat a mimoděk uškubneme ruku, stříkne-li nám na ní z hrnce na plotně vařící se voda, působíc nám palčivou bolest. Každý z uvedených předmětů má zvláštní stav, který nazýváme **stav tepelný**, a nachází-li se v něm, působí našemu tělu uvedené pocity tepelné.

Vodu v řece nazýváme chladnou, poněvadž nás chladí, kamna horkými, poněvadž hřejí, o klice říkáme, že jest ledová, protože nepříjemně studí, vodu v hrnci na plotně nazýváme vřelou, ježto nebezpečně pálí. Látkám, které

<sup>2)</sup> Z řeckého slova θερμός (čti thermos) = horký, teplý.

působí chlad, přisuzujeme **nížší tepelný stav**, látkám, které hřejí, stav **vyšší** dle svých pocitů tepelných.

Pro **výšku** čili **stupeň stavu tepelného** zaveden byl název **teplota** (*temperatura*)<sup>3)</sup>. **Příčinu** pak **toho stavu tepelného** nazýváme **teplo**. Tělesa chladná ubírají tělu našemu teplo, horká mu je dodávají.

O výšce stavu tepelného čili o teplotě látek, s nimiž se stýkáme, rozhodujeme jen podle svých tepelných pocitů. Pro ně však nemáme žádného zvláštního smyslu, jako na příklad jest pro zvukové vněmysluch, pro vněmy světelné zrak, pro vůně a zápachy čich. Tepelné pocity vnímáme každou částí svého těla, pokud jest zdráva. Šlápeme-li bosí na dlažbu v síni domovní, pocítujeme chlad právě tak dobře na chodidlech nohou, jako když si vyplachujeme ústa studenou vodou, nebo když nám sněhová vločka při chumelení vletí do oka. Rovněž žár přicházející od roztopených kamen v koupelně pocítujeme na celém obnaženém těle, jako pocítujeme palčivost na tváři, zachytí-li se nám na ní rozžhavený úlomek uhlí, vylétnuvší z komína lokomotivy, když se díváme otevřeným oknem železničního vozu ve směru jízdy vlaku.

Ale rozhodování naše o teplotě látek dle našich pocitů tepelných jest velmi nespolehlivé. O tom nás přesvědčí tyto zkušenosti.

Vyjdeme-li za mrazivého dne z teplého bytu do domovního průjezdu, působí nám vzduch, nacházející se v síni, chlad; proto soudíme, že ten vzduch, jest studený, že má nízký stav tepelný čili nízkou teplotu. Když však vstoupíme do téhož průjezdu vracejíce se z procházky celí prokřehlí zímou, nazveme též vzduch v síni teplým, poněvadž nás mile hřeje, přisoudíme mu tedy vyšší tepelný stav, vyšší teplotu.

<sup>3)</sup> Pochází od latinského slovesa *tempero*, jež značí mírním se nebo na správný stav, míru uvádím, též míchám.

Připravme si tři nádoby vedle sebe a nalijme do první z nich vody čerstvě načerpané z vodovodu, do druhé nalijme vody vlažné asi takové, v jaké se koupáváme v zimě v koupelně, do třetí pak vody horké. Potom vložíme prsty levé ruky na chvíli do vody studené, prsty pravé ruky do vody horké a pak obě ruce do vody vlažné. Podle tepelného pocitu, který máme na prstech levé ruky, jež byla předtím ve vodě studené, přisoudili bychom vlažné vodě vysoký stav tepelný a nazvali ji vodou teplou, poněvadž nám ruku hřeje příjemně. Ale soudíme-li dle pocitu chladu na prstech ruky pravé, která byla předtím ve vodě horké, nazveme touž vlažnou vodu vodou studenou, přisuzující jí tepelný stav nízký.

V téže vyhřáté místnosti sedí churavý člověk se svým ošetřovatelem, který jest zdravý. Churavý chvěje se zimou a nařiká si, jak málo jest v místnosti zatopeno, jak jest v ní vzduch studený, kdežto zdravému ošetřovateli jest nesnesitelné horko ve vzduchu téže teploty.

**5. Thermoskop Heronův a Galileův.** Z těchto příkladů vyplývá, že náš úsudek o výšce tepelného stavu předmětů, s nimiž se stýkáme, závisí netoliko na těch látkách samotných, nýbrž i na předcházejících stavech tepelných, které jsme prodělali, i na zdravotním stavu našeho těla. Proto, má-li se bezpečně posouditi výška tepelného stavu různých látek, jest nutno souditi z účinkův a změn jiných, které jsou působeny různými stavy tepelnými.

Z těchto účinků, o nichž bude podrobněji pojednáno v dalších částech tohoto spisu, byl nejdříve poznán účinek na objem uzavřeného vzduchu, že totiž se objem uzavřeného vzduchu zvětšuje, zahříváme-li jej, a zmenšuje, ochlazujeme-li jej. Tento účinek znal již starověký učenec Heron Alexandrijský ve II. století před Kristem a na základě něho sestavil zařízení, kterým se samočinně otvíraly dveře chrámu v Alexandrii, když se vznítíl oheň na obětišti kovového oltáře. Dutina oltáře byla spojena trubicí s nádrží naplněnou částečně vodou, částečně vzduchem tak, že trubice zasahovala jen do vzduchu. Když se od ohně na oltáři zahřál vzduch, který byl v jeho dutině obsažen, roztahoval se a vytlačoval vodu z nádrže, takže přetékala jinou

trubicí do nádoby zavěšené na provaze vedeném přes kladku a spojeném s dveřmi. Tím se zvětšila váha nádoby tak, že převahou svou otvírala dveře chrámové. Když oheň na oltáři dohořel, vzduch se ochladil, smrštíl se a voda zase přetékala zpět. Tím se váha nádoby rozvírající dveře zmenšila a dveře se zavíraly převahou závaží kamenného, které viselo na druhém provazci spojeném s dveřmi s druhé strany.

Heron sestrojil ještě jiné stroje založené na roztažnosti vzduchu teplem. Ale bylo-li mu známo, že se i kapaliny a látky tuhé teplem roztahují, jest pochybné, ježto jejich roztažnost jest mnohem menší než roztažnost plynů. Rovněž nebyl si jistě Heron vědom toho, že jeho přístroj na zavírání dveří byl vlastně prvním umělým *thermoskopem*<sup>4)</sup>, to jest přístrojem, který zjišťuje tepelný stav předmětů objektivně, nezávisle na tepelných pocitech a předchozích stavech lidského těla.

Od doby Heronovy uplynulo dlouhých sedmnáct století, než byl sestrojen skutečný *thermoskop*. Stalo se to koncem roku 1592 v Padui. Toho roku stal se slavný italský přírodopysmec a zakladatel badání fyzikálního na podkladě pokusném Galileo Galilei (žil od r. 1564 do 1642) profesorem tamní university a jal se studovati spisy Heronovy. A tv jej asi přivedly na nápad sestrojiti skleněný přístroj naplněný vzduchem a vodou, jímž by bylo možno pozorovati různé a proměnlivé stavy tepelné. Galileo sám se o tom ve svých spisech nezmiňuje, ale píše o tom jeho žák a životopisec Vincenc Viviani. Podrobnější popis Galileova *thermoskopu* uvádí ve svém dopise benediktinský mnich Benedetto Castelli, který pomáhal Galileovi při jeho pozorováních hvězdářských.

Galileo pořídil si skleněnou trubici půl lokte dlouhou, mající světlost asi tak velikou, jak silné jest stéblo slámy, a vyfoukl na ní kouli velikou jako slepičí vejce. Kouli zahřál oběma rukama a pak vložil konec trubice do nádoby s vodou a postavil trubici svisle (obr. 2). Když se koule ochladila a vzduch v ní se smrštíl, vystupovala v trubici voda až do určité výše nad hladinu vody v nádobě. Jsouc tam pužena tlakem okolního vzduchu na vodní hladinu v nádobce.

Tohoto přístroje, který se nazývá *thermoskop Galileův*, užíval Galileo, aby jím určoval výšku stavů tepelných nezávisle na stavech lidského těla. Když se totiž oteplil vzduch v okolí koule, ohřál se od něho vzduch v kouli, roztahoval se a vytlačoval vodu z trubice, takže její hladina klesala. Když se však vzduch

<sup>4)</sup> Z řeckého slova *σκοπέω* (čti *skopeo*) = hledím, ohledávám, pozoruji, zkoumám.



v kouli ochladil vlivem ochlazení svého okolí, smršťoval se a voda v trubici stoupala. Připojí-li se ke trubici stupnice, na které jest možno změřiti polohu vodní hladiny v trubičce, stává se z pouhého thermometer<sup>5)</sup>, **teploměr**. Poněvadž pak užívá vzduchu jako látky, jež svými změnami objemovými ukazuje změny stavů tepelných svého okolí, nazývá se **teploměr vzduchový**.

**6. Vady a užití teploměru Galileova.** Ale tento Galileův teploměr měl velikou nedokonalost. Hladina vodní v trubičce měnila svou polohu, i když se nezměnil tepelný stav okolního prostředí a tím také uzavřeného vzduchu. Když se totiž zmenšil zevnější vzdušný tlak, klesala hladina vodní v rource právě tak, jako by se byl tepelný stav uzavřeného



Obr. 2

vzduchu zvýšil. A naopak, když se zvětšil okolní tlak vzdušný, stoupala hladina vodní právě tak, jako by se byla teplota okolí a tím též teplota vzduchu v teploměru zmenšila. Ukazoval tedy přístroj Galileův netoliko změny teploty, nýbrž podléhal též změnám tlakovým a proto nebylo možno jím bezpečně měřiti stupeň stavu tepelného.

Ale nicméně došel Galileův teploměr značného rozšíření hlavně zásluhou lékaře Sanctoria (čti Sanktoria), který byl v letech 1611—1624 profesorem lékařství v Padui, vyhledávaným posluchači ze všech končin světa. Sanctorius užíval teploměru Galileova, aby jím měřil teplotu

<sup>5)</sup> Z řeckého slovesa μετρέω (čti metreo) = měřím.

těla nemocného. Pacient buď vzal kouli teploměrnou do obou svých rukou nebo při menších přístrojích do úst a lékař pozoroval, na kolikátém dílku se ustálí hladina vody v trubici, kterouž dal Sanctorius hotoviti hadovitě stočenou, aby dílky byly hodně veliké.

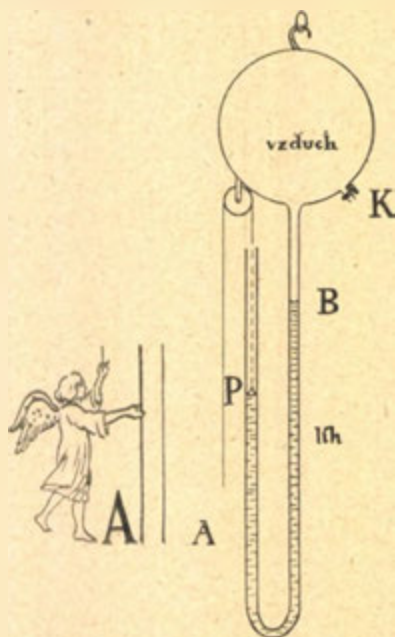
Tímto přístrojem zjišťoval Sanctorius též, zdali záření vysílané Měsícem také hřeje. Zachytil světlo z měsíčního úplňku velkým dutým zrcadlem, dal mu odrážeti se a soustřediti na kouli teploměru a zjistil, že kapalina v trubici klesla o dva dílky za dobu, za kterou lidský puls vykonal deset tepů. Tehdy totiž ještě nebylo hodin strojových a proto měřil lékař čas jednotkou, za kterou mu sloužilo trvání jednoho tepu krve. Ve zdravém lidském těle následují tepy zcela pravidelně po sobě. Aby ukázal, jak mnohem vydatnější hřeje záření sluneční, provedl obdobný pokus ve dne se světlem slunečním a pozoroval, že za dobu pouhých dvou tepů klesne sloupec vodní v trubici téhož teploměru o 110 dílků.

Již Galileovi i Sanctoriovi bylo známo, že různé teploměry zhotovené dle popisu uvedeného svrchu ukazují nestejnou výšku sloupce vodního, i když jsou v téže prostředí, a že jest velmi obtížno, ha skoro nemožno zhotoviti dva takové teploměry, které by ukazovaly v téže prostředí stejně. Toho bylo možno docíliti jen tak, že oba teploměry byly přesně stejně veliké, měly též tvar, byly z téhož druhu skla, obsahovaly stejně mnoho vzduchu a byly plněny za stejného tlaku vzdušného.

**7. Teploměr Guerickeův.** Nové zdokonalení vzdušného teploměru provedl známý badatel a vynálezce vývěvy, děvírský purkmistr Otto z Guericke (čti Géryke) (1602—1686). Místo koule skleněné užil duté koule měděné, ze které vybíhala měděná trubice dlouhá asi sedm loket, zahrnutá do písmene U a otevřená na druhém konci (obr. 3). V trubici byl líh, kterým bylo uzavřeno určité množství vzduchu v báni. Zahřívá-li se vzduch v báni, vytlačuje líh z trubice **B** a proto stoupá hladina lihu v trubici **A**: ochlazuje-li se vzduch v báni, pohybuje se líh opačně. Aby bylo možno i z dálky pozorovati zřetelně pohyb sloupce lihového, vpravil Guericke do trubice **A** jednoduchého plaváčka **P**, kterého zavěsil na provázek vedený přes pevnou kladku přivěšenou k báni a na druhé straně vyvážil figurkou, představující andělka (obr. 3a). Ten svou napřaženou ručkou ukazoval na dřevěnou stupnici, kterou byla obě ramena trubice přikryta, a na ní byly směrem shora dolů latinské nápisy, značící stupeň příslušného tepelného stavu, jako na příklad: veliká zima, studený vzduch, přiměřený vzduch, horký vzduch, veliké horko a podobně. Přístroj byl zavěšen na zeď obrácenou k severu, aby byl chráněn proti přímému zahřívání paprsky slunečními.



Aby poloha ručky andělkovy odpovídala příslušnému stupni stavu tepelného, uvádí Guericke, že ve vlhkém vzduchu za chladné noci má ukazovati andělova ruka na prostředek stupnice. Aby toho bylo docíleno, opatřil Guericke horní bání otvorem s kohoutkem **K**, jímž bylo možno dovnitř vefouknouti nebo povyssáti tolik vzduchu, až anděl ukazoval na příslušné místo stupnice. Kovovou bání opatřil Guericke modrým nátěrem se zlatými hvězdičkami a nápisem „Mobile perpetuum“<sup>16)</sup>.



Obr. 3a a 3

ježto anděl se ustavičně pohyboval při změnách teploty, což budilo velký zájem tehdejších pozorovatelů.

**8. Teploměr Schottův.** Ovšem ani Guericckův přístroj nebyl prost vady termoskopu Galileova, že též změny vzdušného tlaku měly vliv na objem uzavřeného vzduchu v bání. Této vady zbavil vzduchové teploměry Guericckův přítel

<sup>16)</sup> Latinské slovo mobilis = hybný, perpetuus = stálý, ustavičný.

Kašpar Schott (čti Šot) (1608—1666), kněz řádu Tovaryšstva Ježíšova. Nejdříve dal jim podobu znázorněnou obr. 4. Vzduch ve skleněné kouli **K** jest uzavřen sloupcem kapaliny ve trubici **I**, která s druhým otevřených ramenem **II** tvoří spojitě nádoby. Oteplí-li se vzduch v kouli **K**, stoupá kapalina v rameni **II**, ochladí-li se, klesá. Její polohu bylo lze pozorovati na stupnici připojené ke trubici **II**.

Od tohoto tvaru vzduchového teploměru byl již jen malý krůček ke tvaru znázorněnému obrazcem 5, který zavedl též Schott. Trubice **II** jest také uzavřena bání



Obr. 4

skleněnou, která jest naplněna též vzduchem. Na údaje tohoto přístroje neměl již tlak vzduchový zevnějšího vzduchu vlivu pražádného.

Tento přístroj byl později nazván teploměr rozdílový čili diferenční<sup>7)</sup>, poněvadž jest jím možno velmi dobře pozorovati rozdíly teplot. Vystaví-li se horní koule **K** vlivu záření slunečního, kdežto dolejší má teplotu okolního vzduchu, jsouc kryta před přímým zářením, klesá kapalina v trubici **II**, až se ustálí v určité poloze, dle které lze posouditi stav tepelný horní koule nezávisle na tlaku ovzduší. Arciž pohyb kapalin v tomto přístroji není tak živý jako v přístroji s otevřeným ramenem **II**, poněvadž na kapalinu působí s obou stran tlak vzduchu uzavřeného v koulích.

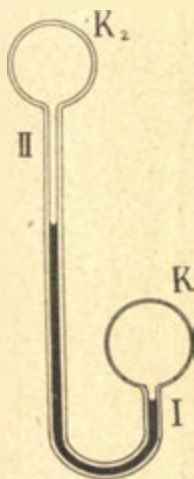
Jest zajímavé, že teploměr Schottův i tehdy ukazuje

<sup>7)</sup> Od latinského slova *differentia* (čti *diferencia*) = rozdíl.

pohyb sloupce kapalinového, když obě koule jsou stejně zahřívány. Vzduch v dolní kouli  $K_1$  jest totiž více stlačen než v kouli  $K_2$  vlivem tlaku sloupce kapalinového mezi hladinou v trubici I a II a proto se více roztahuje než vzduch v kouli  $K_2$  a tedy stoupá sloupec v trubici II.

### O teploměrech kapalinových.

**9. Teploměr Reyův.** Ve všech dosud uvedených termoskopech a teploměrech byl po Galileově příkladě látkou, která udávala svými změnami výšku tepelného stavu, vzduch. Látce, dle níž posuzujeme výšku stavů tepel-



Obr. 5

ných, říkáme látka teploměrná. Galileova volba vzduchu za látku teploměrnou byla velmi šťastná, neboť pro roztažnost vzduchu a plynů vůbec teplem platí nejjednodušší zákony, jak bylo poznáno ovšem mnohem později. A mimo to jest roztažnost vzduchu daleko větší a tedy též patrnější než roztažnost kapalin nebo látek tuhých.

Kdo první poznal, že se i tyto látky roztahují teplem, není bezpečně zjištěno, ale tolik jest jisto, že to byl francouzský lékař Jean Rey (čti Žan Rey), který roku 1631 první užil vody jakožto látky teploměrné. V dopise knězi Tovaryšstva Ježíšova Mersennovi píše, že užívá pro zjišťování teploty svých pacientů přístroje odlišného

od teploměrů užívaných posud. Jeho přístroj skládal se z malé baňky skleněné, mající velmi dlouhé a úzké hrdélko otevřené; baňka byla až po hrdélko naplněna vodou. Vloží-li se do ruky člověka stíženého horečkou, stoupá voda v hrdélku tím výše, čím jest vyšší horečka čili čím vyšší teplotu má churavý člověk.

Přístroj tento však mnoho ve známost nevešel. Volba vody jako látky teploměrné nebyla nejšťastnější a mimo to ta okolnost, že bylo hrdélko otevřené, byla zdrojem mnoha chyb při určování výšky tepelného stavu.



Obr. 6

**10. Teploměr Ferdinandův.** Proto byl značným pokrokem proti teploměru Reyovu teploměr lihov ý, který sestavil roku 1641 velkovévoda toskánský Ferdinand II., žák Galileův a velký příznivec badání přírodovědeckého, zakladatel slavné vědecké společnosti „*Academia del Cimento*“ (čti *Akademia del Cimento*), pokusně akademie ve Florencii. Tato společnost vytkla si za úkol probadati přírodu na základě pokusů a nejen na základě pouhých úvah a výkladů spisů starověkých filosofů, hlavně Aristotelových.

Teploměr velkovévody Ferdinanda byl již úplně té po-

doby, jakou mají naše nynější teploměry rtuťové. Kulová skleněná baňka **B** (obr. 6) byla přitavena na dlouhé skleněné trubici, která byla na horním konci zatavena a opatřena stupnicí s libovolnými dílky. Baňka a část trubice byla naplněna zbarveným nebo čistým lihem. Volba lihu za látku teploměrnou byla šťastná, neboť líh se roztahuje značně více a pravidelněji nežli voda a mimo to neztuhne ani při velmi nízkých teplotách, jak ještě dále bude uvedeno.

Velkovévoda Ferdinand užíval tohoto teploměru, aby zjišťoval přiměřenou teplotu v kurnících na umělou liheň slepic a dále aby měřil teplotu ovzduší a teplotu v hlubokých sklepích a studnách.

Jen jednu závadu měl tento teploměr lihový, společnou s teploměry vzduchovými, že totiž jeho stupnice byla zcela libovolná a následkem toho různily se naprosto údaje několika takových teploměrů, i když byly v témže prostředí. Jen byly-li ty přístroje zcela shodně zhotovovány, ukazovaly stejně.

A to se podařilo dovednému foukači skla Morianiovi, který hotovil velmi přesně stejné rourky a dělil je buď na 50 dílů, nebo dlouhé rourky již také na 100 dílů stejných, které vyznačoval skleněnými perličkami přitavenými ke trubici. Každá desátá byla bílá, ostatní černé. Florenská „Akademie“ měla také teploměry, jichž rourky byly hadovitě (spirálovitě) stočené a rozdělené na 300 až 400 stejných dílů, na nichž bylo možno zřetelně zjistiti i malinké změny teploty.

**11. Základní body teploměrné.** Florenská Akademie učinila na těchto teploměrech důležité pozorování, že vloží-li se na příklad 50-tídílový teploměr do vody vznikající z ledu právě tajícího, ukazuje hladina lihu v teploměru vždy na týž dílec stupnice; byl to dílec  $13\frac{1}{2}$ -tý. Tím poznali členové akademie, že led taje vždy při určité stálé teplotě. Ale tak daleko nedospěli, aby byli tuto teplotu zvolili za základní bod stupnice teploměrné.

Tento krok učinil člen královské učené společnosti anglické „Royal Society“ (čti Reyál Sosaiety = královská společnost) Robert Boyle (čti Bayl), který dostal jeden florenský teploměr roku 1661 a začal roku 1664 počítati teplotu od teploty tání ledu jakožto teploty základní.

Slavný holandský badatel Christian Huy-



gens (čti Haygens) (1629—1695), též člen anglické Royal Society, objevil roku 1665 další důležitý poznatek, že také teplota, při které vře voda, jest teplotou stálou. Při tom ovšem pozoroval tuto teplotu na teploměru podobném florencskému, ale plněném nikoliv lihem, nýbrž rtutí, neboť lih se vaří již při teplotě nižší, než jest teplota varu vody.

A na základě tohoto svého pozorování navrhl Huygens učené společnosti londýnské, aby se volil určitý poměr objemu kuličky teploměrné a trubice a aby se pak nanášely stejné dílky buď od teploty tání ledu nebo od teploty varu vody. Tak se stal Huygens zakladatelem soustavy teploměrné, založené na pevných základních teplotách, teplotě mrazu a varu vody, kterých se užívá dosud, ačkoliv se během doby vyskytla řada návrhů na zavedení jiných základních bodů.

Nevěda o návrhu Huygensově učinil obdobný návrh pevných bodů teploměrných, bodu mrazu a bodu varu vody, r. 1694 Carlo (čti Karlo) Rinaldini (1615—1698), inženýr a člen Academie del Cimento, profesor filosofie a matematiky v Pise.

Ale trvalo to dosti dlouho, skoro půl století, než se návrhy ty uplatnily všeobecně. Dlouho ještě byly vyráběny teploměry lihové i rtuťové se stupnicemi libovolnými, které se ovšem značně rozcházely ve svých údajích.

**12. Teploměr Fahrenheitův.** Proto se nelze diviti, že ještě roku 1714 nemálo se podívil profesor university v Halle nad Sálou v Německu Christian Wolf, když obdržel dva lihové teploměry, vyrobené Fahrenheitem (čti Farnhaitem), které se spolu úplně shodovaly.

Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736), rodilý z Gdanska, vyučený kupec, velmi zcestovalý, věnoval se s oblibou badání fyzikálnímu, zdokonalil se hlavně ve foukání skla a jako výrobce teploměrů, tlakoměrů i jiných přístrojů ztrávil většinu svého ži-

vota v Holandsku. Vyráběl nejdříve teploměry lihové dle vzoru teploměrů florencských, od roku 1720 pak začal je plnit rtutí a zavedl na nich dva nové základní body. Za dolní základní bod zvolil teplotu určité chladicí směsi ledu, vody a salmiaku, kterou považoval za nejnižší možnou teplotu, a označil ji na své stupnici bodem nultým. Za horní základní bod zvolil teplotu zdravého lidského těla, kterou stanovil vložení baňky teploměrné do úst zdravého člověka, a označil tuto teplotu číslem 96. Vzdálenost obou bodů základních dělil pak postupně dvakrát po dvanácti stejných dílech, každý díl pak ještě na čtyři díly menší, jež byly nazvány stupně. V tomto dělení shledáváme ještě zbytek číselné soustavy dvanáctkové, kterou se dříve i u nás počítalo, a jejímž druhým zbytkem jest dosud obvyklé počítání na tucty.

Na stupnici Fahrenheitově jest teplota mrznutí vody stupněm třicátým druhým. Teploty varu vody jakožto základního bodu Fahrenheit neužil, protože mu již bylo známo, že tato teplota jest značně závislá na tlaku vzdušném, stoupajíc s rostoucím tlakem a klesajíc s tlakem se menšícim. Bodu varu za normálního tlaku barometrického jedné atmosféry odpovídá na stupnici Fahrenheitově stupeň 212-tý.

Na základě poznatku o závislosti bodu varu na tlaku vzduchu sestrojil Fahrenheit přístroj, který na základě pozorované teploty varu vody udává hned příslušný barometrický tlak. Jest to teploměr (obr. 7) se stupnicí od 0 do 96, pak jest trubice rozšířena v baňku a nad ní jsou čísla od 28 do 31, kteráž udávají příslušný tlak v palcích čili coulech<sup>a)</sup>, když se vloží baňka do vroucí vody.

Fahrenheitovy teploměry se záhy rozšířily a dosud se dle stupnice Fahrenheitovy měří teploty v Anglii a Severní Americe.

<sup>a)</sup> 1 palec = 2.54 cm.



**13. Teploměr Réaumurův a Celsiův.** Na pevnině Evropské vytlačeny byly teploměry Fahrenheitovy teploměry Réaumurovými. René de Réaumur (čti Reomír) (1683—1757), člen francouzské Akademie, pozoroval, že se 1000 objemových dílu lihu zvětší na 1080 dílů, když se líh zahřeje z teploty bodu mrazu vody na teplotu varu. Proto zvoliv teplotu bodu



Obr. 7

mrazu a varu za základní teploty svého rtuťového teploměru, označil teplotu mrazu číslem 0, teplotu varu číslem 80. Původně však hotovil Réaumur teploměry lihové, na nichž číslem 0 značil teplotu mrznutí vody a číslem 80 teplotu varu lihu. Teploměrů rtuťových, značených dle soustavy Réaumurovy, užívá se dosud v obecném životě, měří se jimi teploty vzduchu v domácnostech, teploty vody v koupelnách, na plovárnách a pod.

V pracích vědeckých užívá se však nyní výhradně stodílné stupnice Celsiovy. Anders Celsius (1701—1744), rodák z Upsaly ve Švédsku, kdež byl od roku 1730 profesorem astronomie na universitě, vydal roku 1742 spis: „Zkoumání dvou stálých teplot teploměru“, v němž označuje bod mrazu vody číslem 100, bod varu číslem 0, a zavedl tak první do teploměrství soustavu desítkovou. Teploty nižší než bod mrazu, které se v otčině Celsiově dostávají často, značil Celsius čísly většími než 100 a tak se vyhnul označování teplot pod bodem mrazu čísly zápornými, jak se značívají na teploměru Réaumurově.

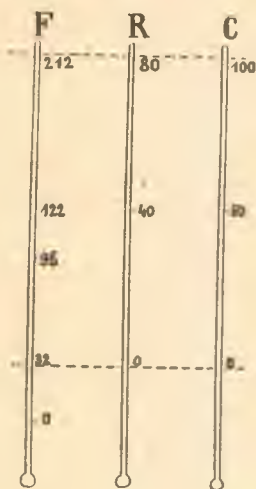
Při Celsiově způsobu číslování stupňů teploměrných byla však ještě ta nevýhoda, že vyšší stavy tepelné, čili vyšší teploty, byly značeny čísly menšími než stavy nižší. A proto navrhl roku 1750 nástupce Celsiův profesor Martin Strömer (čti Štrémr) (1707—1770) Akademii švédské, aby se ponechalo rozdělení mezi bodem mrazu a varu na 100 dílů, ale aby se Celsiovo označení bodu mrazu a varu vyměnilo, takže bod mrazu označen číslem 0 a bod varu číslem 100. I po této změně nazývají se teploměry stodílné teploměry Celsiovy a měří se jimi teploty na stanicích meteorologických i při všech běžných pracích vědeckých.

**14. Vzájemná souvislost teploměrných stupnic.** Poznavše trojí soustavu stupnic teploměrných, kterých se dosud v praxi užívá, všimneme si, jak spolu tyto tři stupnice souvisí a jak se přepočítávají údaje teploměrné z jedné soustavy na ostatní. Na obr. 8 značí tři trubice tři rtuťové teploměry, první teploměr Fahrenheitův, druhý Réaumurův, třetí Celsiův. Dolní vodorovná příčka značí na všech společně bod mrazu vody, který jest na teploměru Fahrenheitově označen stupněm třicátým druhým, na Réaumurově a Celsiově stupněm nultým. Horní vodorovná příčka pak značí bod varu vody, jenž na teploměru Fahrenheitově nese číslo 212, na Réaumurově 80, na Celsiově 100. Mimo tyto teploty vyznačeny jsou na tep-

loměru Fahrenheitově jeho původní základní body, to jest stupeň nultý, teplota určité směsi ledu, vody a salmiaku, a stupeň 96., teplota v ústech zdravého člověka čili teplota lidské krve.

Z nákresu jest patrnó, že vzdálenost mezi bodem mrazu a bodem varu jest na teploměru Fahrenheitově rozdělena na 180 stejných dílů čili stupňů, na Réaumurově na 80 stupňů, na Celsiově na 100 stupňů. Platí tedy mezi těmi třemi stupnicemi základní jednoduchý vztah:

$$180^{\circ} \text{ F} = 80^{\circ} \text{ R} = 100^{\circ} \text{ C},$$



Obr. 8

kterýž se čte: 180 stupňů teploměru Fahrenheitova rovná se 80ti stupňům teploměru Réaumurova, rovná se 100 stupňů teploměru Celsiova, nebo krátce: 180 stupňů Fahrenheitových rovná se 80ti stupňům Réaumurovým, rovná se 100 stupňům Celsiových. Pro zapamatování toho vztahu možno si všimnouti souvislosti těch tří čísel:

$$180 = 80 + 100.$$

Zkrátíme-li všechna ta tři čísla dvacíti, lze psáti tento vztah jednoduššími čísly:

$$9^{\circ} \text{ F} = 4^{\circ} \text{ R} = 5^{\circ} \text{ C}.$$

I tu však platí:

$$9 = 4 + 5.$$

Z toho vztahu vyplývá, že

$$1^{\circ} \text{ F} = \frac{4^{\circ}}{9} \text{ R} = \frac{5^{\circ}}{9} \text{ C};$$

dále

$$1^{\circ} \text{ R} = \frac{9^{\circ}}{4} \text{ F} = \frac{5^{\circ}}{4} \text{ C}$$

$$1^{\circ} \text{ C} = \frac{4^{\circ}}{5} \text{ R} = \frac{9^{\circ}}{5} \text{ F}.$$

Máme-li tedy přepočítati určitý počet stupňů teploměru Fahrenheitova, na příklad  $n$  stupňů ( $n^{\circ}$ ) na ostatní dvě stupnice, jest nutno nejdříve od  $n^{\circ}$  odečísti  $32^{\circ}$ , abychom převedli údaj teploměru Fahrenheitova na ten nulový bod, který mají stupnice ostatní, a pak násobiti tento rozdíl převodním činitelem  $\frac{4}{9}$ , převádí-li se na stupnici Réau-

murovu, nebo  $\frac{5}{9}$  přepočítává-li se na stupnici Celsiovu.

Tak na příklad: Ukazuje-li teploměr Fahrenheitův  $77^{\circ}$ , ukazoval by teploměr Réaumurův:

$$(77-32) \times \frac{4^{\circ}}{9} = 45 \times \frac{4^{\circ}}{9} = 20^{\circ}$$

a Celsiův:

$$(77-32) \times \frac{5^{\circ}}{9} = 45 \times \frac{5^{\circ}}{9} = 25^{\circ},$$

což píšeme:

$$77^{\circ} \text{ F} \dots (77-32) \times \frac{4^{\circ}}{9} \text{ R} = 45 \times \frac{4^{\circ}}{9} \text{ R} = 20^{\circ} \text{ R},$$

$$77^{\circ} \text{ F} \dots (77-32) \times \frac{5^{\circ}}{9} \text{ C} = 45 \times \frac{5^{\circ}}{9} \text{ C} = 25^{\circ} \text{ C}$$

a čteme:  $77^{\circ}$  Fahrenheitových odpovídá  $20^{\circ}$  Réaumurovým.

$77^{\circ}$  Fahrenheitových odpovídá  $25^{\circ}$  Celsiovým.

Přepočítáváme-li naopak údaje teploměru Réaumurova nebo Celsiova na stupnici Fahrenheitovu, nutno nejdříve

násobiti převodním činitelem  $\frac{9}{4}$ , převádíme-li údaj dle

stupnice Réaumurovy, po případě  $\frac{9}{5}$ , přepočítáváme-li údaj

dle stupnice Celsiovy, a pak k výsledku připočítati ještě  $32^{\circ}$ , o které jest nulový bod stupnice Fahrenheitovy pod bodem mrazu. Tedy ukazuje-li teploměr Réaumurův na příklad  $28^{\circ}$ , ukazoval by Fahrenheitův:

$$28^{\circ} \times \frac{9}{4} + 32^{\circ} = 63^{\circ} + 32^{\circ} = 95^{\circ},$$

což píšeme:

$$28^{\circ} \text{ R} \dots (28 \cdot \frac{9}{4} + 32)^{\circ} \text{ F} = (63 + 32)^{\circ} \text{ F} = 95^{\circ} \text{ F}.$$

A zcela podobně

$$40^{\circ} \text{ C} \dots (40 \cdot \frac{9}{5} + 32)^{\circ} \text{ F} = (72 + 32)^{\circ} \text{ F} = 104^{\circ} \text{ F}.$$

Čteme-li tedy v novinách meteorologickou zprávu ze Severní Ameriky, že tam bylo tak veliké horko, že na výsluní ukazoval teploměr  $104^{\circ}$ , nesmíme se desíti, že snad se tam až vařila voda v řekách, což by nastalo, kdyby byly  $104^{\circ}$  dle stupnice Celsiovy.  $104^{\circ}$  Fahrenheitovy odpovídají teplotě  $40^{\circ}$  Celsiových, která i u nás nebývá řídká v létě na výsluní.

Převod ze stupnice Celsiovy na Réaumurovu a opačně jest jednodušší, neboť obě ty stupnice mají společný bod nulový. Tu stačí násobiti činitelem převodným  $\frac{4}{5}$ , přepočítáváme-li ze stupnice Celsiovy na Réaumurovu, a činitelem  $\frac{5}{4}$ , převádíme-li obráceně ze stupnice Réaumurovy na Celsiovu. Na příklad:

$$10^{\circ} \text{ C} = 10 \cdot \frac{4^{\circ}}{5} \text{ R} = 8^{\circ} \text{ R},$$

$$36^{\circ} \text{ R} = 36 \cdot \frac{5^{\circ}}{4} \text{ C} = 45^{\circ} \text{ C}.$$

Zcela podobně přepočítávají se též údaje teplot nízkých které jsou pod nulovými body na kterékoliv z uvedených stupnic a které počítáme za záporné, abychom je odlišili od stupňů nad bodem nulovým, které počítáme za kladné. Na příklad  $-12^{\circ} \text{ R}$  značí  $12^{\circ} \text{ R}$  pod bodem mrazu, kdežto  $+10^{\circ} \text{ R}$  znamená  $10^{\circ} \text{ R}$  nad bodem mrazu. Přepočítání  $-12^{\circ} \text{ R}$  na ostatní stupnice provede se takto:

$$-12^{\circ} \text{ R} = -12^{\circ} \cdot \frac{5^{\circ}}{4} \text{ C} = -15^{\circ} \text{ C},$$

$$-12^{\circ} \text{ R} \dots (-12 \cdot \frac{9}{4} + 32)^{\circ} \text{ F} = (-27 + 32)^{\circ} \text{ F} = +5^{\circ} \text{ F}.$$

Pro  $-22^{\circ} \text{ F}$  jest výpočet tento:

$$-22^{\circ} \text{ F} \dots (-22 - 32) \cdot \frac{5^{\circ}}{9} \text{ C} = -54 \cdot \frac{5^{\circ}}{9} \text{ C} = -30^{\circ} \text{ C},$$

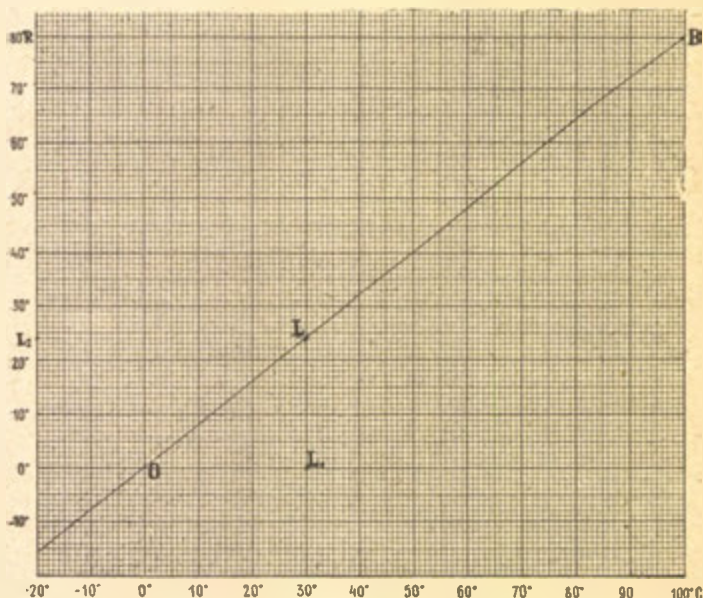
$$-22^{\circ} \text{ F} \dots (-22 - 32) \cdot \frac{4^{\circ}}{9} \text{ R} = -54 \cdot \frac{4^{\circ}}{9} \text{ R} = -24^{\circ} \text{ R}.$$

**15. Grafické znázornění závislosti teploměrných stupnic.**  
Velmi jednoduše a názorně lze přehlédnouti souvislost



dvou stupnic teploměrných z tak zvaného grafu<sup>9)</sup>, to jest z nákresu, který se nejlépe sestojí na papíře čtverečkovaném. Papír ten jest rozdělen soustavou přímek kolmých k sobě navzájem na čtverečky o stranách vesměs stejných, které bývají **1 mm, 5 mm** nebo **10 mm**. Jsou-li strany 1 mm dlouhé, nazýváme papír takový milimetrový. Přímký oddělující 5 nebo 10 takových čtverečků bývají vytaženy silněji.

Takové dvě silnější přímký k sobě kolmé učiníme osami, jejich průsečík zvolíme za počátek čili za nulový stupeň,



Obr. 9

od něhož nanášíme na vodorovnou osu teploty dle jednoho z přirovnávaných teploměrů, a to směrem napravo kladné teploty čili nad bodem nulovým a směrem nalevo teploty záporné čili pod bodem nulovým. Podobně nanášíme na osu svislou teploty dle druhé soustavy teploměrné, a to nad bod nulový teploty kladné, pod nulový bod teploty záporné. Zvolivše pak si dvě libovolné teploty odpovídající sobě, zobrazíme si je bodem v rovině určené oběma zvolenými osami. Každé dvojici teplot patří-

<sup>9)</sup> Z řeckého slova *γραφω* (čti grafo) = píši.

cích k sobě odpovídá jeden bod. Zobrazíme si takto dva body pro dvě dvojice teplot sobě odpovídajících a spojíme je přímkou. Pak každý libovolný bod přímky té určí nám jednu dvojici teplot, jež sobě odpovídají na obou těch teploměrech. Jest jen třeba spustiti s něho kolmice na obě osy, jejich paty určují na osách dvojici teplot sobě odpovídajících.

Na obr. 9 proveden jest graf závislosti soustavy Celsiovy a Réaumurovy. Na vodorovnou osu nanášeny jsou stupně teploměru Celsiova od  $-20^{\circ}$  do  $+100^{\circ}$ , na svislou stupně teploměru Réaumurova od  $-20^{\circ}$  do  $+80^{\circ}$ . Jako body určující vzájemnost obou stupnic zvoleny bod mrazu vody, znázorněný v obou soustavách bodem nultým čili počátkem obou os označeným **0**, a bod varu vody **B**, určený  $100^{\circ}$  C a  $80^{\circ}$  R. Tyto body byly spojeny úsečkou a ta pak prodloužena byla ještě za určovací bod **0**. Libovolný bod **L** zvolený na přímce **OB** promítneme do bodu **L**<sub>1</sub> na ose vodorovné a **L**<sub>2</sub> na ose svislé a ty ukazují, že  $30^{\circ}$  Celsiovým odpovídají  $24^{\circ}$  Réaumurovy.

Obr. 10 znázorňuje podobně souvislost teplot soustavy Celsiovy a Fahrenheitovy. Teploty Celsiovy nanášeny opět na vodorovnou osu, Fahrenheitovy na svislou. Za určovací body zvoleny bod mrazu **A** ( $0^{\circ}$  C,  $32^{\circ}$  F) a bod varu vody **B** ( $100^{\circ}$  C,  $212^{\circ}$  F), spojeny úsečkou **AB** a ta zase byla prodloužena na obě strany. Průměty **L**<sub>1</sub> a **L**<sub>2</sub> zvoleného bodu **L** ukazují, že teplotě  $54^{\circ}$  C odpovídá  $129.2^{\circ}$  F. Zajímavý jest bod C, který udává, že při teplotě  $-40^{\circ}$  C ukazuje též Fahrenheitův teploměr  $-40^{\circ}$  C čili že při této velmi nízké teplotě oba teploměry ukazují stejný počet stupňů.

Příklady ke cvičení. Přepočítejte na ostatní stupnice teploměrné:

1.)  $+35^{\circ}$  C;  $+50^{\circ}$  C;  $+120^{\circ}$  C;  $-10^{\circ}$  C;  $-15^{\circ}$  C! [ $28^{\circ}$  R,  $95^{\circ}$  F;  $40^{\circ}$  R,  $122^{\circ}$  F;  $96^{\circ}$  R,  $248^{\circ}$  F;  $-8^{\circ}$  R,  $+14^{\circ}$  F;  $-12^{\circ}$  C,  $5^{\circ}$  F.]<sup>10)</sup>

2.)  $+32^{\circ}$  R;  $+48^{\circ}$  R;  $+100^{\circ}$  R;  $-16^{\circ}$  R;  $-24^{\circ}$  R! [ $40^{\circ}$  C,  $104^{\circ}$  F;  $60^{\circ}$  C,  $140^{\circ}$  F;  $125^{\circ}$  C,  $257^{\circ}$  F;  $-20^{\circ}$  C,  $-4^{\circ}$  F;  $-30^{\circ}$  C,  $-22^{\circ}$  F.]

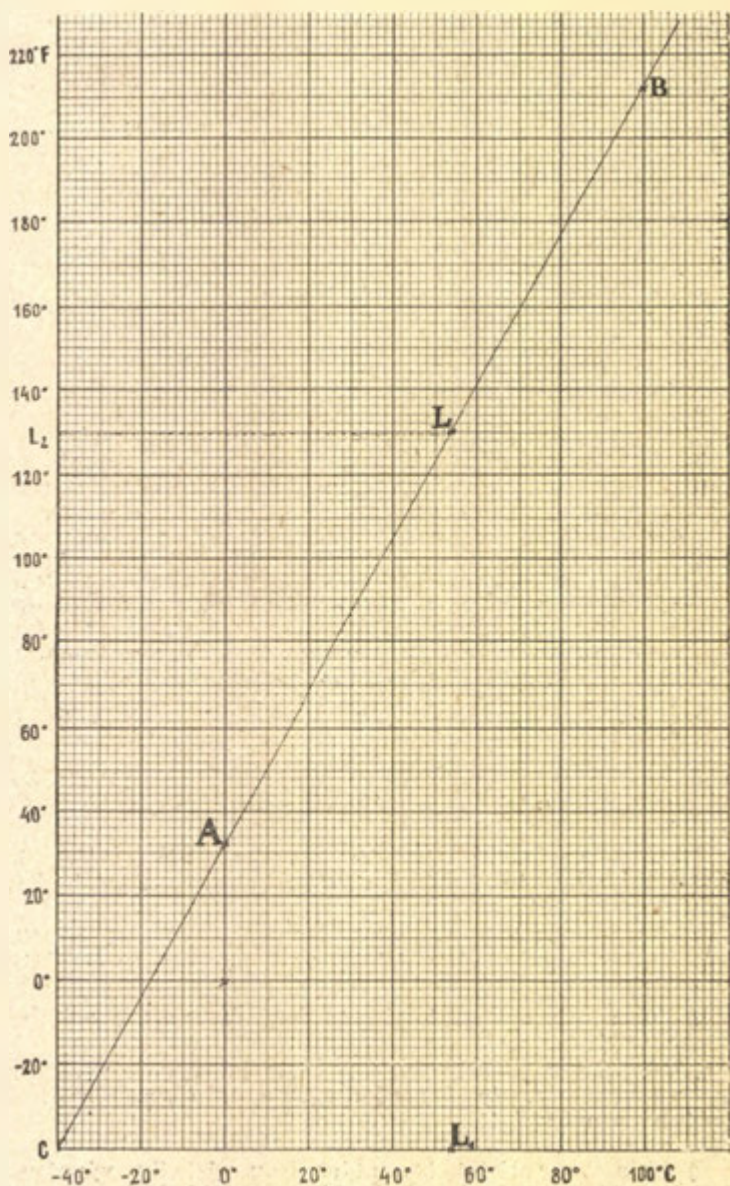
3.)  $+41^{\circ}$  F;  $+59^{\circ}$  F;  $+131^{\circ}$  F;  $-13^{\circ}$  F,  $-22^{\circ}$  F! [ $5^{\circ}$  C,  $4^{\circ}$  R;  $15^{\circ}$  C,  $12^{\circ}$  R;  $55^{\circ}$  C,  $44^{\circ}$  R;  $-25^{\circ}$  C,  $-20^{\circ}$  R;  $-30^{\circ}$  C,  $-24^{\circ}$  R.]

4.) Zobrazte graf závislosti stupnice Réaumurovy a Fahrenheitovy!

5.) Přesvědčte se o správnosti výsledků vypočtených ve cvičení 1., 2. a 3. dle obrazců 9 a 10 a dle obrazce sestaveného ve cvičení 4!

<sup>10)</sup> Čísla v závorkách hranatých jsou výsledky výpočtů. Jejich pořad odpovídá pořadu čísel v příkladech.





Obr. 10

## O výrobě teploměrů.

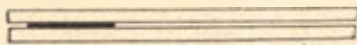
**16. Příprava rourky.** Postup při výrobě dobrých teploměrů rtuťových jest možno rozdělit na tři od-  
díly:

A) Prozkoušení a příprava rourky teploměrné.

B) Plnění rourky rtutí.

C) Stanovení základních bodů teploměrných.

Teploměry zhotovují se z vlasových čili kapilárních<sup>11)</sup> rourek buď silnostěnných nebo tenkostěnných. Důležité jest, aby rourka měla všude stejný průřez, neboť jen v takové trubičce odpovídá prodloužení sloupečku rtuťového o určitou délku, měřenou na různých částech trubice, vždy stejnému zvětšení objemu rtuti. Proto jest nutno přesvědčiti se, splňuje-li tento požadavek rourka, ze které se má teploměr zhotoviti.



Obr. 11

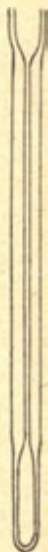
To se provede tak zvanou kalibrací<sup>12)</sup> rourky rtutí. Do rourky kápne se trochu rtutí tak, aby se vytvořil v rource sloupeček ohraničený po obou stranách vypouklými plochami tak zvanými menisky<sup>13)</sup> (obr. 11). Sloupeček se nakláněním rourky uvede k jednomu konci rourky a pak se rourka položí na dobré milimetrové měřítko, nejlépe měřítko na zrcadlícím skle, a změří se délka sloupečku rtuťo-

<sup>11)</sup> Latinské slovo *capillus* (čti kapilus) = vlas; od toho kapilární; rourka kapilární má téměř tak malou světlost, jako jest průřez vlasu.

<sup>12)</sup> Francouzské slovo *le calibre* (čti kalibr) značí průměr, vývrt, ráž hlavně střelné zbraně; *calibrer* (čti kalibré) = vyměřovati vývrt.

<sup>13)</sup> Řecké slovo *μήν* (čti mén) = měsíc; od toho slovo zdobněle *μηνίσκος* (čti menikos) = měsíček. Ježto hladina rtutí ve skleněné rource má vlivem sil kapilárních tvar vypuklý jako srpek měsíční, užívá se slova meniskus na označení hladiny rtutí v rource.

vého v této poloze. Užije-li se měřítka zrcadlíciho, zabrání se chybám, které by se jinak snadno mohly státi, kdybychom se dívali přes okraj menisku šikmo se strany jedné nebo druhé. Pak bychom naměřili délku buď větší nebo menší, než jest správná hodnota. Potom rourku opět trochu nakloníme a pošlujeme sloupeček rtuťový tak, aby zaujal polohu sousední ke své poloze první, a zase změříme jeho délku. Tak pokračujeme posouvající sloupeček podél celé rourky.



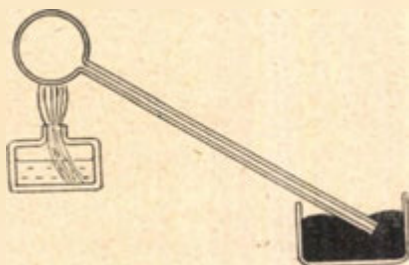
Obr. 12

Je-li délka sloupečku rtuťového v každé poloze stejná, jest to znamením, že trubička má všude stejný průřez a že se tedy hodí k tomu, aby z ní byl zhotoven teploměr. Kdyby však vycházely délky různé, rourka se za teploměrnou rourku nehodí.

Když jest rourka prokalibrována, vylíje se z ní rtuť. Pak se jeden konec rourky plamenem rozžhává, zataví a na to vyfoukne se na něm buď válcová nebo kulová nádobka teploměrná. Aby se snáze plnila

roučka i baňka rtuťí, rozšíří se i druhý konec rourky ve tvar nálevkovitý, takže rourka nabude tvaru znázorněného obr. 12. •

**17. Plnění rtuťí.** Do rozšířeného horního konce kápne se trochu rtuťí. Ale ta nestéká do dolní nádoby kapilární rourkou, ježto jí brání vzduch obsažený v baňce a rource. Proto jest nutno jej odtamtud odstraniti. To se provede tak, že se dolní baňka opatrně zahřívá malým plaménkem na příklad kahanu lihového. Tím se vzduch otepluje, roztahuje a uniká v malých bublinkách skrze rtuť obsaženou



Obr. 13

v nálevkovité části horní. Přestaneme-li rourku ohřívati, vzduch v ní chladne, smršťuje se a vlivem tlaku zevního vzduchu vniká rtuť z horní nádržky do rourky, až vyplní část dolní baňky. Když přestane přetékati, ohříváme baňku znova, opět část vzduchu vypudíme a nová část rtuťí steče dolů. Takto pokračujeme tak dlouho, až jest celá nádobka a část rourky naplněna rtuťí.

Nade rtuťí zůstává v rource ještě zbytek vzduchu, který jest nutno úplně odstraniti, aby netlačil na rtuť. To se stane tak, že se dolní baňka znova zahřívá, tím se rtuť roztahuje a vystupuje až k hornímu konci, kde se začíná dutina rourky rozšiřovati. Tam se přiloží ostrý plamen kahanu, sklo se roztaví, trubička se v tom místě zakrouťí a tím zataví. Pak jest v rource uzavřena jen rtuť, která chladnouc ponenáhlu smrští



se do baňky a dolní části rourky. Prostor nad ní jest pak vzduchoprázdný.

Nemá-li rourka, ze které má býti vyroben teploměr, nálevkovité rozšíření na horním konci, provede se naplnění rtutí tak, že se rourka vloží otevřeným koncem do širší nádoby se rtutí pod hladinu rtutí (obr. 13) a baňka na druhém konci rourky se mírně zahřívá za šikmé polohy rourky. Roztahující se vzduch uniká zase v bublinkách skrze rtuť. Když přestaneme zahřívati rourku, vzduch se v ní smrští a přetlak zevního tlaku vzdušného vhání rtuť do baňky podobně jako při postupu popsáném dříve. Děj ten se opakuje, až jest opět baňka a část rourky vyplněna rtutí. Odstranění vzduchu z rourky a zatavení provede se zcela stejně jako u rourky s nálevkou.

Když jest takto rourka připravena, nechá se delší čas — dva až tři měsíce — klidně ležeti, aby se ustálilo sklo po předchozím zahřívání, ochlazování a zkrucování a aby se vyrovnala vnitřní napětí, která snad vznikla ve skle tím rychlým střídáním jeho stavů. Teprve pak se smí přikročiti ke stanovení základních bodů teploměrných na novém teploměru.

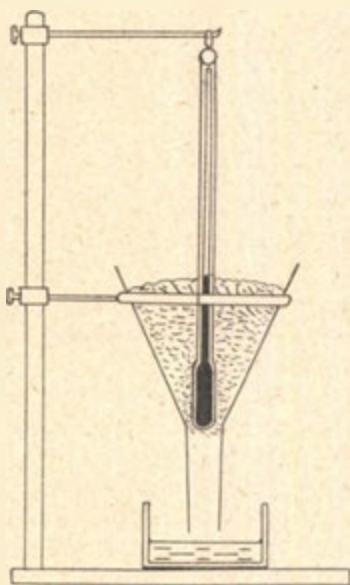
**18. Jak se stanoví bod mrazu a varu?** Aby byl určen bod mrazu, vložíme rourku do tajícího sněhu nebo ledu nasypaného do větší nálevky (obr. 14), pod níž jest podstavěna miska, do které stéká voda z tajícího ledu nebo sněhu. Pokus provádí se v místnosti, která má teplotu vzduchu jen několik stupňů nad bodem tání ledu (mrazu), aby sníh nebo led tál pomalu. Místo, kam se ustálí v rource rtuť, označí se značkou, která udává bod mrazu.

Pak se po několika dnech určí bod varu. Poněvadž má na bod varu značný vliv tlak vzdušný, jehož zvýšení zvyšuje bod varu a snížení jej snižuje, jak bude později podrobně vysvětleno, jest výhodno stanovit bod varu právě při tlaku  $jedné\ atmossféry$ , to jest takovém tlaku ovzduší, který vyrovná tlak sloupce rtuťového 760 mm vysokého na  $1\text{ cm}^2$  při teplotě bodu mrazu na hladině mořské v ze-



měpisné šířce  $45^{\circ}$ . Neboť tento tlak byl zvolen za základní tlak, při němž mají páry vystupující z vroucí vody právě správný normální bod varu.

Nepracuje-li se právě při tomto tlaku, jest nutno vypočítati si pro změřený tlak tlakoměrem příslušný bod varu dle vztahu, že na každý 1 cm poklesu tlakového z hodnoty 76 cm sníží se bod varu skoro  $0\frac{3}{8}^{\circ}\text{C} = 0\cdot375^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 14

Správný bod varu k určitému tlaku jest možno též vyčísti z fysikálních tabulek. V tabulkách logaritmických, které sestavil Ph. Dr. Miloslav Valouch a které vydala Jednota československých matematiků a fysiků, jest v části IX., obsahující tabulky fysikální a chemické, vložena v dolní části tabulky 23. tabulka bodů varu vody pro tlaky barometrické **b** od 680 mm do 799 mm. Z ní vynata jest část zde otištěná, která odpovídá tlakům od 720 do 769 mm, jež se v našich krajinách vyskytují nejčastěji. V prvním sloupci pod písmenou **b** tištěny jsou desítky milimetrové příslušných tlaků, jednotky milime-

trové jsou v prvním řádku. Správný bod varu najde se v řádku odpovídajícím desítkám tlakovým a ve sloupci pod příslušnou jednotkou. Celá místa bodů varu (98°, 99°, 100°) jsou vytištěna pouze ve druhém sloupci, místa desetinná k nim jest nutno vyhledati pod příslušnou jednotkou. K těm místům desetinným, před nimiž jest vytištěna hvězdička, patří celá místa z řádku následujícího.

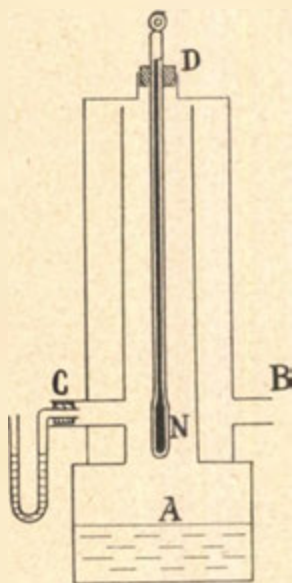
b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
72	98° 494	532	571	609	648	686	724	762	801	839
73		877	915	953	991	*029	*067	*105	*142	*180
74	99° 255	293	331	368	406	443	481	518	555	593
75		630	667	704	741	778	815	852	889	926
76	100° 000	037	073	110	147	184	220	257	293	330

Tak na příklad při tlaku 733 mm jest správný bod varu 98·991° C, při tlaku 734 mm pak 99·029° C.

Vlastní určení bodu varu provede se na teploměrné rource ve vhodném přístroji zobrazeném na obr. 15. V kovové nádržce A jest voda, která se zahřívá plamenem do varu, a páry z ní vycházející vyplní vnitřní dutinu i prostor mezi dvojitými plechovými stěnami horní části nádoby. Otvorem B mohou páry unikati do vnějšího vzduchu, v otvoru C nasazen jest obyčejný otevřený m a n o m e t r k a p a l i n o v ý, jímž možno pozorovati, je-li napětí par uvnitř obsažených rovno zevnímu tlaku barometrickému. V tom případě jest kapalina v obou raměncích manometrických ve stejné výši. Horním otvorem D vloží se do střední dutiny teploměrná rourka prostrčená zátkou tak, aby její nádobka N přišla nad vodu a byla obklopena se všech stran parami téže teploty. Vršek trubičky nechá se vyčnívati, aby bylo možno na něm zjistiti a poznamenati si polohu hladiny rtuťové, na které se rtuť ustálí, když se po delší čas vaří voda v nádobě.

Nádobku teploměrnou nutno dáti při stanovení

bodu varu do par a nikoliv do vroucí vody samotné, ježto se často stává, že kapalina má teplotu vyšší, než jest správný bod varu, kdežto páry vystupující mají při určitém tlaku vždy teplotu touž. Toto zvýšení teploty nad bod varu, jemuž říkáme přehřátí kapaliny, nastává zvláště snadno, když se kapalina vaří delší dobu v čisté nádobě, nebo



Obr. 15-

když se vaří kapalina, která již dříve byla svařena. Kdyby se tedy určovala teplota bodu varu na rource, jejíž baňka by byla vložena do vroucí kapaliny, neměli bychom nikdy záruky, že jsme stanovili bod varu správně.

**19. Zhotovení a zkouška stupnice teploměrové.** Když máme takto stanoveny a na trubici vyznačeny oba základní body teploměrné, zhotoví se celá stupnice, kteráž se při teploměrech z kapilární rourky silnostěnné nanese a pak vyleptá přímo na zevní

povrch trubice, při teploměrech z kapiláry tenkostěnné se hotoví na porculánový pásek, který se k trubici připevní a pak spolu s ní zataví do skleněného obalu. Pro přesná měření jsou teploměry se stupnicí zhotovenou přímo na kapilární trubici bezpečnější, ježto není možno, aby se stupnice sebe méně pošinula proti trubici a tím i proti sloupečku rtuťovému, což se může státi u teploměrů se stupnicí jen připevněnou na rource. Teploměr se stupnicí posunutou udává pak ovšem teplotu nesprávnou. Proto jest vždy dobře u hotového teploměru se přesvědčiti, má-li správnou stupnici a hlavně jsou-li správně stanoveny jeho základní body. Jest to nutno zvláště u teploměrů kupovaných, které se nyní již vyrábějí ve velkém v továrnách.

Kontrola správnosti bodu mrazu provede se tak jako určení bodu mrazu v nálevce s tajícím sněhem nebo ledem a kontrola bodu varu zase v přístroji popsaném a vyobrazeném v předešlém odstavci tímž způsobem, jako se stanoví bod varu. Neshodují-li se naznačené základní body s pozorovanými, určí se u každého z nich příslušná chyba. K teploměrům pro potřeby vědecké sestaví se pak též přepočítávací tabulka, v níž do prvního sloupce se zapíší teploty pozorované na tom teploměru a do druhého sloupce odpovídající jim teploty správné.

### O zvláštních teploměrech.

**20. Teploměry pro měření teplot velmi nízkých.** Pro mnohé potřeby jest nutno zříditi teploměry zvláštní. Z nich první skupinu tvoří teploměry pro měření teplot velmi nízkých a vysokých. Mají totiž teploměry rtuťové hranice, mimo něž jich nelze upotřebiti. Tyto hranice jsou dány teplotami, při nichž se mění kapalně skupenství rtuti jednak ve skupenství tuhé, jednak v plynné. Rtuť mrzne při teplotě  $-38.89^{\circ}\text{C}$  a vaří se při  $+356.7^{\circ}\text{C}$ .

Mají-li se měřiti teploty nižší než  $-39^{\circ}$  C, jest nutno k tomu užiti teploměrů s jinými látkami teploměrnými. Hodí se k tomu ovšem jen takové látky, které mají velmi nízké body tuhnutí a při tom úměrně s rostoucí teplotou zvětšují svůj objem. Tyto vlastnosti má *alkohol éthylnatý* čili *čistý lih*, jenž tuhne až při teplotě  $-114^{\circ}$  C, ale vaří se již při teplotě  $+78.3^{\circ}$  C. Teploměry lihovými, jež se hotoví podobně jako rtuťové, ale mívají větší nádobku teploměrnou, lze tedy měřiti teploty velmi nízké až do  $-110^{\circ}$  C, ale pro teploty nad  $78^{\circ}$  C se nehodí. Proto nemůže býti na nich vyznačen horní základní bod teploměrný, totiž bod varu vody. Aby byla hladina lihová v teploměrné rource zřetelně viditelná i na větší vzdálenost, plnívají se teploměry lihové lihem zbarveným buď červeně nebo modře.

Mimo teploměry lihové hotoví se pro měření nízkých teplot též teploměry, jejichž látkou teploměrnou jest *toluol* nebo *pentán*. Teploměry toluolovými lze měřiti teploty od  $-95^{\circ}$  C do  $+110.8^{\circ}$  C, pentánovými od  $-160^{\circ}$  do  $+27.9^{\circ}$  C. První z uvedených teplot značí vždy bod tuhnutí, druhá bod varu příslušné kapaliny. Toluolové mají tu přednost, že lze na nich vyznačiti bod varu vody, pentánové naproti tomu hodí se i pro teploty značně nižší než  $-100^{\circ}$  C.

Roku 1897 upozornil slavný německý fysik Dr. F. K o h l r a u s c h (čti Kholrauš), president fysikálního a technického říšského ústavu v Charlottenburce (čti Šarlotenburce), že se výborně hodí pro měření velmi nízkých teplot směs uhlovodíková, které se v obecném životě říká *petroléter*. Má bod tuhnutí nižší než  $-190^{\circ}$  C a jeho objemu značně přibývá úměrně s rostoucí teplotou, takže jest velmi dobrou látkou teploměrnou.

O teploměrech pro měření teplot ještě nižších bude promluveno níže po výkladu o roztažnosti plynů.

**21. Teploměry pro měření teplot velmi vysokých.** Měřiti teploty vyšší než bod varu vody jest možno

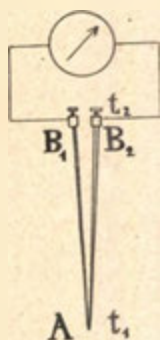


teploměrem rtuťovým, jak bylo již uvedeno, až asi do  $350^{\circ}\text{C}$ . Pro teploty do  $400^{\circ}\text{C}$  lze upravití teploměr rtuťový na základě poznatku, o němž bude ještě podrobněji jednáno později, že se zvýší bod varu kapaliny, když se působí na kapalinu větším tlakem. Toho se užije, aby se zvýšil bod varu rtuť v teploměrné rource. Proto se prostor nade rtuť v rource nenechá vzduchoprázdný, nýbrž naplní se plynem, který nepůsobí chemicky na rtuť, to jest dusíkem. Když se rtuť teplem roztahuje, zmenšuje objem uzavřeného dusíku, čímž plyn nabývá většího napětí, tlačí na rtuť a tím zabraňuje, že se rtuť nedostane do varu ani při  $400^{\circ}\text{C}$ . Ovšem musí býti teploměry pro tyto vysoké teploty zhotoveny ze silnostěnných kapilár z tvrdého, těžko tavitelného skla jenského, které neměkne ani při vysokých teplotách. Podařilo se v nejnovější době zhotoviti rtuťové teploměry naplněné dusíkem ze skla borokřemičitého až pro teploty do  $550^{\circ}\text{C}$  a ze skla křemenného dokonce až pro teploty do  $750^{\circ}\text{C}$ .

Pro teploty ještě vyšší užívá se teploměrů elektrických dvojího druhu. Jeden založen jest na té vlastnosti elektrického odporu, že stoupá u většiny kovových vodičů úměrně s rostoucí teplotou. Teploměry toho druhu nazývají se elektrické teploměry odporové. Změříme-li vhodným způsobem odpor drátu z těžko tavitelného kovu (na př. platinového) při vysoké teplotě a známe-li jeho odpor při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ , můžeme vypočítati z rozdílu obou odporů teplotu, při níž byl naměřen ten odpor.

Druhým druhem elektrických teploměrů jsou vhodné upravené články thermoelektrické. Článek thermoelektrický skládá se ze dvou tyčinek z různých dvou kovů, jež jsou jedním koncem spolu spájeny. Druhé konce jsou volné a opatří se svorkami, do nichž zapnou se konce vodivých drátů, spojených s citlivým přístrojem elektrickým, jímž můžeme měřiti sílu proudu elektrického, tak zvaným galvanometrem. Udrží-li se volné konce na

teplotě okolního vzduchu, ale spájené místo se zahřeje třeba rukou nebo vložením do vlažné vody, ukazuje galvanometr úchylku tím větší, čím větší jest rozdíl mezi teplotou místa spájeného a volných konců. Jest pak možno ze známé teploty vzduchu a tím i volných konců obou kovů a ze změřené úchylky galvanometru vypočítati teplotu spájeného konce obou kovů a tím i teplotu prostředí, do něhož byl vložen spájený konec. Aby se tento spájený konec mohl vkládati pohodlně i do prostoru zcela malého, jehož teplotu máme stanovit, dává se oběma kovům



Obr. 16

tvar dlouhých drátů (obr. 16), jež na volných koncích  $B_1$  a  $B_2$  jsou opatřeny svorkami, a spájený konec  $A$  zaujímá prostor velmi malý. Mimo to brání délka drátů tomu, aby se různé teploty obou konců  $t_1$  a  $t_2$  nevyrovnávaly spolu rychle za čas potřebný k měření.

Tyto elektrické teploměry hotoví se s rozdílných dvojic kovových. Pro teploty do  $1600^{\circ}\text{C}$  osvědčila se vhodně dvojice drátu platinového a drátu ze slitiny platiny s rhodiem. Články thermoelektrickými lze též měřiti teploty velmi nízké, pro něž zase vhodná jest podobně upravená, jako jest vyznačeno obr. 16,

dvojice drátu železného a konstantánového<sup>14)</sup>).

Ještě vyšší teploty, než lze měřiti teploměry elektrickými, měří se přístroji optickými, zvanými pyrometry<sup>15)</sup>), žároměry, které jsou založeny na zákonech o záření. Tělesa vysokých teplot vysílají záření světelné různé síly a barvy a dle jejich svítivosti lze ze zákonů záření vypočítati jejich vysokou teplotu. V pyrometrech optických přirovnávají se fotometricky<sup>16)</sup> svítivosti dvou zdrojů, z nichž svítivost jednoho, na příklad žárovky, jest možno měniti tak dlouho, až se vyrovná svítivosti zářícího tělesa, jehož teplotu máme měřiti. Stanoví-li se pak ze síly proudu, procházejícího vláknem žárovky, teplota vlákna, jest tím též určena teplota tělesa, jehož záření přirovnáváme se zářením žárovky. Optické pyrometry jsou přístroje dosti složité, proto nebudeme jich zde podrobně popisovati.

**22. Teploměry pro určité rozmezí teplot.** Druhá skupina teploměrů zvláštních má sloužiti k velmi přesnému a citlivému měření teplot v určitém rozmezí. Každý spolehlivý teploměr má míti oba základní body teploměrné. Ale pak by byly teploměry, které by měly celou stupnici velmi jemně dělenou na desetiny až setiny stupňů příliš dlouhé, pro běžnou potřebu nevhodné a mohly by se snadno poškoditi.

Proto se zařizují teploměry tak, že se na rource vyznačí bod mrazu, nulový a pak se rourka na vhodném místě rozšíří, čímž se vynechá řada stupňů, kterých není právě třeba, a nad rozšířením jsou opět stupně nanесeny a rozděleny tak, jak jest třeba pro určitý účel. Tak na příklad znázorňuje obr. 17 část teploměru, který má sloužiti k přesnému stanovení bodu varu éteru (34.5° C). Teploměr má vyznačené dělení od bodu mrazu do 1° C po desetinách stupně,

<sup>14)</sup> Konstantán jest slitina 60% medi a 40% niklu, jež se vyznačuje tou vlastností, že její elektrický odpor závisí jen velmi málo na teplotě.

<sup>15)</sup> Řecké slovo πῦρ (čti pýr) = oheň.

<sup>16)</sup> Řecké slovo φῶς (čti fós) = světlo.

pak jest rourka rozšířena a nad rozšířením jest opět dělení po desetinách od  $34^{\circ}$  do  $35^{\circ}$  C. Pak může následovati zase rozšířenina a vyznačí se až zase bod varu vody ( $100^{\circ}$  C).

Podobně zařízeny jsou tak zvané *teploměry metastatické*,<sup>17)</sup> které sestrojil první francouzský badatel Hipolit Walferdin (čti Walfrdén) kol. r. 1850. Měří se jimi teploměrné rozdíly v rozsahu několika málo stupňů, ale zato velmi citlivě a v různých polohách stupnice teploměrné. Jsou upraveny tak, aby bylo možno část rtuti oddělití od ostatní rtuti v rource a způsobiti tak, že stupnice nanesená na rource nabývá různého vý-



Obr. 17

znamu. Docílí se toho tím, že se kapilára na horním konci zahne a rozšíří na způsob násosky (obr. 18). Metastatický teploměr upravený dle E. Beckmanna (čti Bekmana) obsahuje tolik rtuti, že při teplotě  $0^{\circ}$  C sahá rtuť až k hornímu konci stupnice, při teplotě nejnižší, která má ještě býti měřena určitým teploměrem, k dolnímu konci stupnice. Chceme-li měřiti vyšší teploty, jest nutno část rtuti z rourky odstraniti. Provedeme to tím, že zahřejeme rtuť v nádobce teploměrné tak, až část jí vnikne kapilá-

<sup>17)</sup> Z řeckého slova *μετάστασις* (čti metastasis) = přestavení.

rou do rozšířeniny, kdež se slabým poklepem oddělí od rtuti v kapiláře. Když se pak teploměrná rourka ochlazuje, rtuť v rource se smršťuje a ustálí se na stupnici, jejíž stupně mají ovšem nyní zcela jiný význam než dříve. Kolik rtuti se má oddělit aby stupnice teploměrná platila pro určité rozmezí teplot, udává malá stupnice na rozšířené části násoškové. Mají-li se měřiti opět teploty nižší, jest nutno převéstí rtuť zase z rozšířeniny zpět do rourky,



Obr. 18

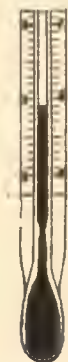
což se udělá tak, že se trubice převrátí, poklepe se lehce na ohnutou část a pak se rtuť v baňce zahřeje. Když se všecka rtuť spojí, přestane se zahřívati; chladnouc pak smrští se rtuť a vrátí se všecka do teploměrné nádobky a rourky.

**23. Teploměry lékařské.** Poslední skupinu zvláštních teploměrů tvoří teploměry, jež ukazují nejvyšší nebo nejnižší teplotu, která nastala během určité doby, čili tak zvané *teploměry extrémní*<sup>18)</sup>. K nim patří *teploměry lékařské*, jichž užívají lékaři k přesnému stanovení teploty chorého lidského těla. Teploměry ty jsou zařízeny tak, aby lékař mohl na nich změřiti teplotu na desetiny stupně přesně a na setiny odhadem, ale jen v tom

<sup>18)</sup> Latinské slovo *extremus* značí zevní, vnější, nejzazší.



rozsahu, ve kterém se pohybuje teplota lidského těla, to jest od  $35^{\circ}\text{C}$  do  $42^{\circ}\text{C}$ . Mimo to jest třeba, aby teploměr ukazoval lékaři, nejvyšší teplotu pacientovu i tehdy, když již teploměr není v styku s lidským tělem, nýbrž když lékař drží teploměr v ruce na světle. Obojího docílí se tím, že teploměr lékařský, má táhlou válcovitou nádobku teploměrnou, aby se dala dobře vkládati do podpaždí nemocného (obr. 19). Nádobka vybíhá pak v rourku teploměrnou, která jest hned nad nádobkou velmi zúžená, takže stěží se zúženinou protlačí roz-



Obr. 19

tahující se rtuť a stoupá pak v rource, mající dále již světlost stejnou, podél stupnice. Po chvíli se rtuť ustálí, když se její teplota vyrovná nejvyšší teplotě těla pacientova, kterou pak na stupnici ukazuje horním svým vypuklým okrajem. Ale tuto teplotu ukazuje i pak, když lékař vyjme teploměr z podpaždí chorého; neboť sloupeček rtuťový protlačivší se do trubičky při roztahování rtuť zůstane v rource v téže poloze, i když se rtuť ochlazuje a proto smršťuje, protože se nemůže úzkou částí rourky vrátiti do nádobky teploměrné. Stupnice začíná stupněm třicátým pátým a postupuje po desetínách stupňových až do stupně čtyřicátého druhého.

Když lékař změří teplotu, upraví si teploměr, aby jím mohl měřit teplotu jiného nemocného tím, že švihne obloukovitě teploměrem ve vzduchu a přinutí tak rtuť, aby sjela zúženým místem rourky zase zpět do nádobky, puzena jsou silou odstředivou. Nevýhodou těchto teploměrů jest, že vlastně nemají ani jednoho ze základních bodů teploměrných. Jejich základní teplotou jest stupeň 37., který jest teplotou zdravého těla lidského a který bývá na nich zvláště výrazně vyznačen.

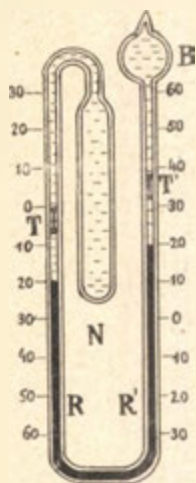
První měřil teplotu svých nemocných teploměrem lékař Hermann Boerhaave r. 1736, pravidelné měření teploty zvláště při horečkách zavedl r. 1798 lékař James Currie (čti Džeims Kyry). Ale ještě r. 1867 znova důrazně upozorňuje lékař Ludvík Traube, jak důležitě jest při horečkách měření teplotu a dle toho zaříditi léčení.

**24. Teploměry maxímo-minimální.** První teploměr pro stanovení teploty nejvyšší a nejnižší během určité doby čili teploměr maxímo-minimální<sup>10)</sup> sestavil r. 1757 Charles Cavendish (čti Čárlz Khevn-dyš) a upravil jej ve tvar, kterého se posud užívá, James Six (čti Džeims) a Bellani r. 1782.

Sixův teploměr má tenkou teploměrnou rourku zahnutou ve tvar U (obr. 20), která na obou koncích ústí do nádobek plněných lihem nebo kreosotem. Kreosot je směs aromatických látek obsažená ve dřevných dehtech, hlavně ve dřevu bukovém; hlavní součásti jeho jsou kreosol a guajakol; vaří se při teplotě kolem 200° C. Vlastní nádobkou teploměrnou jest levá válcovitá nádobka N, která jest úplně naplněna látkou teploměrnou. Baňka pravá B jest jen částečně vyplněna toutž kapalinou, ostatek obsahuje bublinku její páry. Roztahuje-li se teplem látka teploměrná v nádobce N, tlačí před sebou sloupeček rtuti, který vyplňuje většinu ramen i ohbí trubice. Rtuť tlačí před sebou sloupeček kapalin

<sup>10)</sup> Latinská slova: *maximus* = největší, *minus* = nejmenší.

teploměrné v horním konci rourky právě a vtlačuje jej do baňky **B**, kdež se tím stlačuje bublina páry. Ta zase působí jako stlačené pružné pero, když se kapalina teploměrná v nádobce **N** ochlazuje, a tím smršťuje; pára vytlačuje kapalinu teploměrnou z **B** do pravé rourky a tím tlačí rtuť zpět do ramene levého.

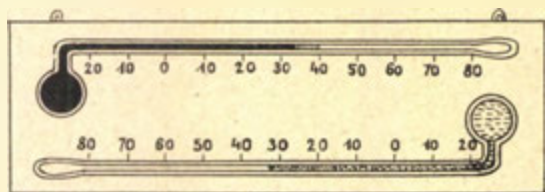


Obr. 20

Mimo to jsou v obou částech rourky malé tyčinky skleněné **T**, **T'**, do nichž jsou vtaveny drátky železné, takže celek má tvar malých činek, jejichž spodní okraje jsou vlastními ukazovateli teploty nejnižší a nejvyšší. Když totiž stoupá teplota a roztahující se líh nebo kreosot posouvá před sebou sloupec rtuťový **R**, **R'**, tlačí rtuť **R'** před sebou tyčinku **T'** a dotlačí ji tam, kam až její hladina stoupne nejvýše. Ochladí-li se okolí teploměru a látka teploměrná se smršťuje, jest napětím par v **B** tlačén sloupec lihu nebo kreosotu, který lne ke stěnám trubice a proteče tedy kolem tyčinky **T'**, na rtuť a posouvá ji před sebou, takže sloupec **R'** klesá a **R** stoupá. Ale tyčinka **T'** zůstane na místě svém dřívějším, takže

její dolní okraj udá nejvyšší teplotu, která nastala v té době. Sloupec rtuti **R** v rouře levé však při ochlazování dojde až k tyčince **T** a posouvá ji před sebou, až na to místo, kam nejvýše dostoupí, to jest kam až se smrštila teploměrná látka v nádobce **N**. Udává tedy tyčinka **T** svým dolním okrajem teplotu nejnižší, neboť roztahující se opětně líh nebo kreosot nechá tyčinku **T** na tom místě, kam až ji vytlačila rtuť při předchozím ochlazení.

Když si pozorovatel změří a zapíše nejvyšší i nejnižší teplotu, které nastaly na příklad během dne, upraví si teploměr pro pozorování dne příštího tak, že malým podkovovitým magnetkem, jehož póly jsou vyhloubeny, aby co nejlépe přilehly k rource, stáhne



Obr. 21

tyčinky **T** a **T'** do takové polohy, aby se dotýkaly obou okrajů sloupce rtuťového.

Jinou úpravu dal tlakoměru maximo-minimálnímu skotský lékař a botanik Daniel Rutherford (čti Rözrförd) r. 1794. Znázorňuje ji obr. 21. Horní teploměr rtuťový má v rource před rtutí skleněnou tyčinku, kterou roztahující se rtuť dotlačí na místo, kam až nejdále stoupá, takže levý okraj tyčinky udává teplotu nejvyšší. Smršťuje-li se rtuť, nechá ležeti tyčinku na témže místě. Dolní teploměr jest líhový a v rource má tyčinku skleněnou, kterou roztahující se líh ponechá v klidu ležeti, ale smršťující se táhne tyčinku s sebou až do té polohy, kam se nejvíce smrští následkem povrchového napětí, jež působí na prohnutém povrchu líhu. Proto tyčinka ukazuje svým okrajem

pravým teplotu nejnižší. Aby se přístroj připravil zase k novému měření, otočí se prkénkem, na němž jsou teploměry připevněny tak, aby nádobka se rtutí přišla dolů, a mírným poklepem uvede se tyčinka skleněná opět ve styk se rtutí.

**25. Thermograf.** Maximo-minimální teploměry měly v dřívějších dobách velmi důležitý význam pro meteorologii, nauku o povětrnosti, aby udaly nejvyšší a nejnižší teplotu, která se dostavila během dne. Nyní však lze je nahraditi přístrojem ještě dokonalejším, který přímo zaznamenává teplotu pro každý okamžik po celý týden. Přístroj ten nazývá se *thermograf*.<sup>20)</sup> Jeho hlavní částí jest nádobka z tenkého plechu čočkovitého průřezu zahnutá do oblouku a naplněna lihem. Při zahřívání mění i svůj objem i svůj tvar. Jedním koncem jest upevněna, kdežto druhý volný konec jest spojen pákovým zařízením s ručičkou, která zaznamenává polohy svého konce na papíře opatřeném vhodným dělením. Papír jest připevněn na plášti válce, který se otočí jednou za týden kolem svislé osy a jest poháněn hodinovým strojem perovým uzavřeným v dutině válce. Papír rozdělen jest po obvodě válcovém na 7 oddílů označených názvy dní (pondělí, úterý, ... neděle), každý denní oddíl rozdělen jest po 24 hodinách. Směrem svislým naneseny jsou dílky tak, že každý dílek znamená 1° C. Hrot ručičky opatřen jest psacím perem ve tvaru malého zahroceného žlábků, do kterého se kápne kapka zvláštního nevysychajícího inkoustu, jenž zanechává na papíře trvalou stopu a udává průběh teploty během celého týdne.

O jiných zvláštních teploměrech jmenovitě kovových a plynových bude pojednáno později.

## O roztažnosti teplem.

**26. Jak byla pozorována roztažnost látek tuhých?** Již odedávna bylo známo, že kapaliny a plyny zvět-

<sup>20)</sup> Viz poznámku <sup>9)</sup>.



suji svůj objem, když se zahřívají. Že také látka tuhá na příklad sklo, svůj objem zvětšuje, pozorovali členové florencské pokusné Akademie na svých teploměrech a lze to pozorovati na každém skleněném teploměru. Přiblíží-li se teploměr na chvíli plameni, jest možno pozorovati z blízka, že hladina teploměrné kapaliny s počátku trochu klesne; neboť náhlým ohřátím roztáhne se nejdříve baňka skleněná, takže se do ní vejde více kapaliny než dříve, a proto klesá její hladina. Ale pak se již začíná zahřívati a tedy i roztahovati kapalina sama a proto poněmáhle stoupá hladina. Jest totiž roztažnost kapaliny teploměrné mnohem větší než roztažnost skla. Protože se



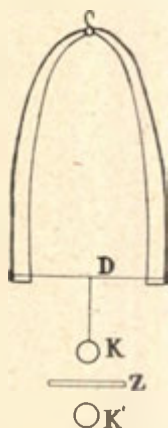
Obr. 22

však u každého teploměru a při každém měření teploty dostavuje tento zjev, plyne z toho, že vlastně ve všech teploměrech kapalinových rozhoduje o změně polohy hladiny jen vzájemná (relativní) roztažnost kapaliny a látky tuhé, z níž jest teploměrná nádobka.

Ještě nápadněji ukázali členové Akademie florencské roztažnost skla pokusem tímto. Zhotovili si skleněný dutý prsten kruhový (obr. 22) se dvěma nálevkami, do něhož zapadal za studena dřevěný kříž tak, že v něm pevně držel. Když však nalili do prstenu teplé vody, oteplilo a roztáhlo se sklo tak, že z něho kříž vypadl.

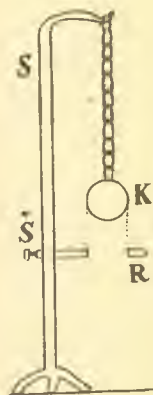
Že také kovy se roztahují podobně jako sklo teplem, ukázali florencští akademikové tímto zařízením. Dřevěnou silnou obruč (obr. 23) zavěsili na pevný závěs a konce pevně stáhli kovovým drátem

D, na který zavěsili těžkou kovovou kouli **K** nad rovným zrcadlem **z**. Když drát zahřáli plamenem, prodloužil se a tím se oddálily od sebe poněkud konce obruče, zdvihly se a tím též nazdvihly trochu kouli **K**. Její neveliká změna polohy jest nápadná tím, že její obraz **K'** v zrcadle **z**, který jest vždy souměrně s ní položen za zrcadlem, se od zrcadla vzdaluje, když se koule zdvihá.



Jednoduchý pokus, jímž se nyní zpravidla ukazuje ve školách roztažnost látek tuhých teplem, jest tento: Na stojánku **S** (obr. 24) jest kovovým řetízkem zavěšena kovová koule **K**, která za chladna volně prochází kovovým rámečkem **R**, jenž se může posouvat po stojánku a připevniti v libovolné výši šroubkem **Š**. Snížme rámeček hodně pod kuličku, zahříváme kuličku po několik minut nesvítivým plamenem plynovým a pak zvyšujeme rámeček, až kulička na něj dolehne. Přesvědčíme se, že kulička nyní rámečkem neprojde, což svědčí o tom, že se její objem zvětšil. Necháme-li ji však ležeti chvíli na rámečku podchycenou, ohřívá se od ní rámeček a brzy propadne jím kulička zase, neboť

otvor rámečku se zvětšil roztažením rámečku. Když nanovo položíme rámeček šroubkem nepřitažený na kuličku, zachytí se na kuličce, neboť rámeček se již zase ochladil rychleji než koule a proto se smrští více než koule, která má větší hmotu a tedy pomaleji chladne. Až když se zase rámeček od kuličky znova ohřeje, přejede přes kuličku po stojánku dolů. Úkazy tyto lze několikrát po sobě opakovati dle toho, jak vysoko byla zahřáta kovová kulička. I tento pokus jest vlastně obdobou zařízení,



Obr. 24

kterým si členové florencské Akademie ukazovali roztažnost kovů teplem již v XVII. století. Kovový kroužek studený nasazovali těsně na kovový váleček ležící na podstavci. Když však kroužek zahřáli, byl příliš volný.

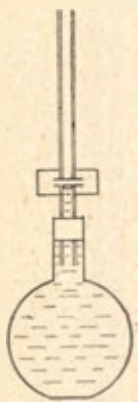
Tento pokus lze napodobiti penízem kovovým a drátěným očkem, jež za studena přiléhá těsně k penízi. Zahřeje-li se očko, projde jím peníz volně.

Roztažnosti skla teplem lze prakticky užití, chce-li odstraniti ze zabroušeného hrdla skleněné lahvičky zátku skleněnou, která tam příliš zapadla po případě zaslhla tak, že jí nelze

vytáhnouti ani násilím. Stačí zahřátí hrdélko lahvičky, která se roztáhne, a zátka se pak vyndá lehce. Zahřátí provedeme malým plaménkem třebaš kahanu lihového, při čemž nutno opatrně lahvičku otáčeti, aby se hrdélko zahřívalo stejnoměrně se všech stran a neprasklo. Lze též vložití hrdélko do vlažné vody, po případě třítí hrdélko motouzem omotaným několikrát kolem něho, který se po hrdélku smýká sem a tam.

**27. Jak se pozoruje roztažnost kapalin a plynů?**  
Že se kapaliny a plyny roztahují teplem, lze se přesvědčiti těmito dvěma jednoduchými pokusy.

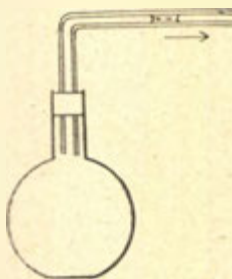
Skleněnou baňku opatříme kaučukovou zátkou,



Obr. 25

dobře přiléhající a provrtanou tak, aby bylo možno prostrčiti jí skleněnou rourku asi 30 až 50 cm dlouhou (obr. 25). Baňku naplníme až skoro po okraj hrdélka kapalinou, jejíž roztažnost chceme pozorovati, na příklad obarvenou vodou nebo lihem, a pak ji opatrně uzavřeme zátkou tak, aby v ní nezůstala žádná bublinka vzduchová pod zátkou. Přebytečná kapalina vtlačí se do rourky, kterou vyplní buď celou nebo část. Je-li jí tam příliš mnoho, mávneme baňkou i s rourkou opatrně vzduchem, čímž zbytečná

část kapaliny odstříkne, a kapalina v rource ustálí se do určité výše, kterou si označíme proužkem papíru dvakrát prostríženého a navlečeného na rourku. Vložíme-li pak baňku do teplé vody, pozorujeme, že hladina v rource nejdříve klesne, poněvadž se nejdříve zvětší objem baňky a pak teprve začíná se roztahovati kapalina; hladina v rource stoupá a ustálí se v určité výši, když se vyrovná teplota vodní lázně s teplotou kapaliny v baňce. I zde pozorujeme roztažnost kapaliny pouze v z t a ž n o u vzhledem ke sklu, to jest, oč převyšuje roztažnost kapaliny roztažnost skla nádoby.



Obr. 26

Roztažnost plynu lze ukázati baňkou podobnou, do jejíhož hrdla vetkneme zase provrtnanou zátku kaučukovou, kterou prostrčíme tenkou rourku skleněnou zahnutou v pravém úhlu (obr. 26). Vzduch v baňce obsažený uzavřeme malou kapkou obarvené vody kápnutou do rourky. Když pak jen rukou trochu zahřejeme baňku, vytlačuje roztažující se plyn kapku z rourky, až ji vyžene úplně.

**28. Přirovnání roztažností látek různých skupenství.** Z uvedených jednoduchých pokusů vyplývá, že látky různých skupenství se neroztahují teplem stejně. Nejvíce roztahuje se vzduch, proto byla jeho roztažnost známa již ve starověku; méně roztahuje se kapalina a ještě méně látka tuhá. Platí tedy pro každé ze tří skupenství poněkud jiné zákony roztaž-

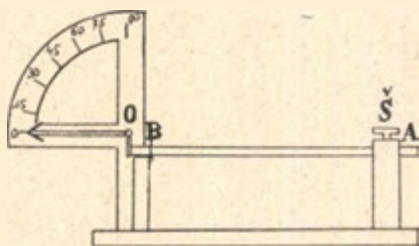


nosti, o nichž podrobněji pojednáme v odstavcích následujících.

### Roztažnost délková látek tuhých.

**29. Zařízení, jimiž se pozoruje délková roztažnost.** Ježto se tuhé látky poměrně málo roztahují teplem, jest výhodno pozorovati jejich změnu nejdříve jen v jednom směru, na příklad po délce, a určití si zákon, který pro toto roztahování platí. Mluvíme pak o roztažnosti délkové látek tuhých, která jest ovšem u látek stejnorodých stejná ve všech směrech.

Abychom mohli i z větší vzdálenosti pozorovati poměrně nepatrné prodloužení látek tuhých, jest nutno prodloužení to uměle zvětšiti. To se může státi

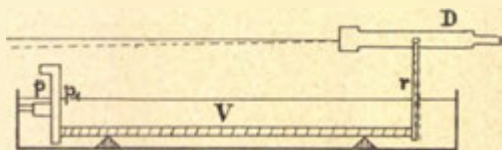


Obr. 27

ruznými prostředky. Jednoduchý jest způsob, který zavedl r. 1731 holandský fysik Jan Joosten van Musschenbroek (čti Mösenbrúk). Tyč z kovu, jejíž roztažnost chceme pozorovati, se na jednom konci pevně zašroubuje do podstavečku, druhý konec leží na podstavci volně a dotýká se kratšího raménka dvojzvrtné nerovnoramenné páky lomené, otáčivé kolem vodorovné osy O (obr. 27). Delší její raménko jest ukazovatelem, který se pohybuje po stupnici nanesené na plechovém oblouku. Povolíme-li šroubek Š, můžeme toho docílití, že za chladna ukazuje hrot ukazovatelův právě na nulový bod stupnice. Pak opět šroubek pevně přitáhneme a

počneme kahanem zahřívati tyč, přejiždějice ji stejnoměrně plamenem po celé délce, po případě zahříváme několika plameny pevnými, postavenými pod tyčí. Pozorujeme, že ukazovatel stoupá po stupnici tím více, čím více tyč zahříváme. Z délky obou ramen ukazovatelových a z úchylky jejich jest možno počítati zhruba, oč se tyč prodloužila, byvši zahřáta z teploty místnosti na teplotu značně vyšší.

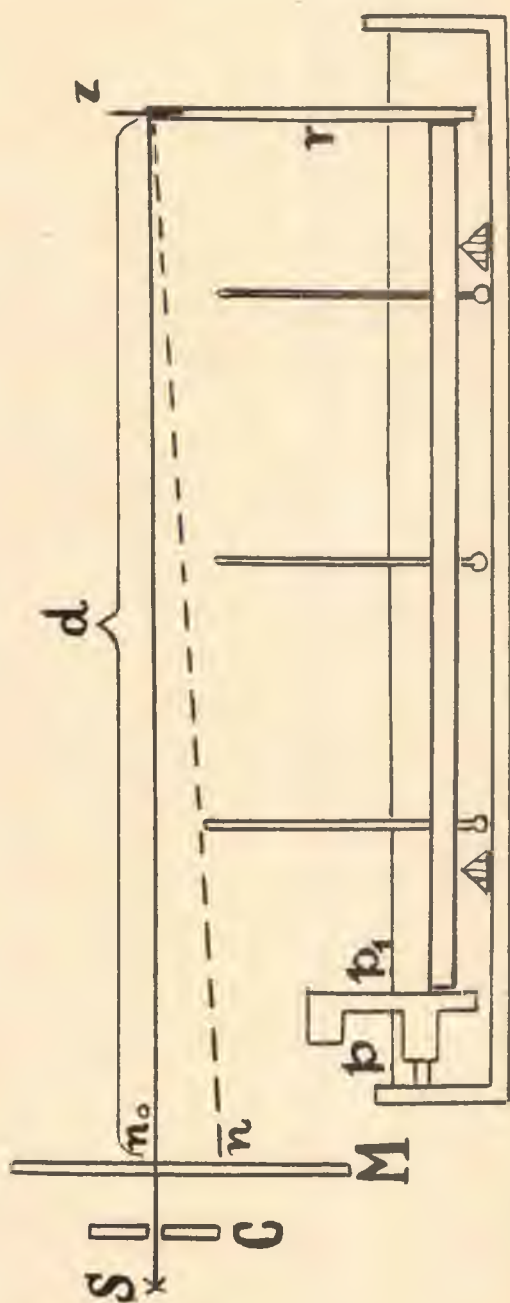
Přesnější pozorování roztažnosti délkové vyžaduje však takového zařízení, abychom mohli při něm měřiti i teplotu počáteční i konečnou, na kterou jsme tyč zahřáli. Měření taková byla provedena různými badateli. Jednoduchý a pěkný způsob zavedli slavní francouzští badatelé Pierre Laplace (čti Pier Laplas) a Antoine Lavoisier (čti Antoan



Obr. 28

Lavoasié) koncem XVIII. století. Tyč, jejíž roztažnost měřili, vložili na dvě hranolité podložky do podélné vaničky V (obr. 28), postavené mezi čtyřmi pevnými sloupy, které nejsou v nákresu vyznačeny. Levý okraj tyče doléhal těsně k příčce  $p_1$ , opírající se svými výstupky  $p$  o dva pevné sloupy. Druhý konec dotýkal se otáčivého ramene  $r$ , jehož osa byla položena na druhých dvou sloupech. Toto rameno bylo pevně spojeno s pozorovacím dalekohledem  $D$ , opatřeným nitkovým křížem, jímž hleděl pozorovatel na stupnici postavenou svisle opodál přístroje ve vzdálenosti změřené předem.

Do nádoby nalili Laplace a Lavoisier nejdříve ledovou vodu, aby tyč nabyla teploty bodu mrazu a určité délky odpovídající této teplotě. Při tom vidí pozorovatel v zorném poli dalekohledovém



Обр. 29

splyvati vodorovné raménko nitkového kříže s určitým dílkem stupnice. Když pak nádobu vyprázdnil a nalil do ní vroucí vody, prodloužila se tyč a její pravý konec pootočil raménko  $r$  a tím dalekohled tak, že pozorovatel viděl v něm jiný dílek stupnice. Ze změřené vzdálenosti stupnice od otáčecí osy dalekohledu, z délky raménka  $r$  a rozdílu pozorovaných dílků na stupnici bylo možno vypočítati, oč se tyč prodloužila, když se zahřála z teploty bodu mrazu na teplotu bodu varu.

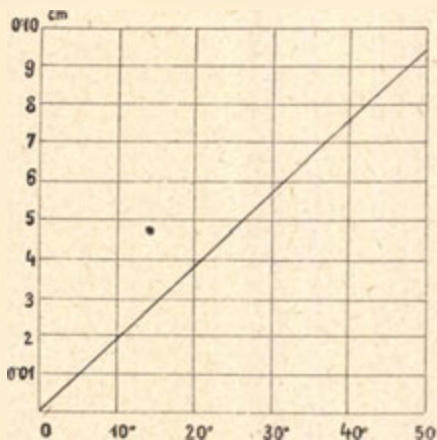
**30. Jak se měří koeficient roztažnosti délkové?** Moderní přístroje vědecké, jimiž se měří roztažnost délková látek tuhých, sestavují se dle návodu německého fysika J. Müllera. Schema zařízení jeho jest znázorněno obr. 29. Tyč, jejíž roztažnost se měří, jest opět vložena do lázně kapalinové (vodní olejové), jež se zespoda zahřívá a její teplota měří se několika teploměry zapuštěnými do lázně. Jeden konec tyče — v obrazi levý — jest zase pevný, druhý pak doléhá k otáčivému raménku  $r$ , jež jest tlačeno k němu shora pružnými pery a nese místo dalekohledu malé rovinné zrcátko  $z$  nařízené proti stupnici postavené svisle ve vzdálenosti  $d$ . Ze světlicího zdroje  $S$  (na příklad žárovky s jedním rovným vláknem) propustí se úzký svazek paprskový clonkou  $C$ , aby osvětloval v místnosti trochu zatemnělé zrcátko a odrážel se na něm na stínítko s měřítkem  $M$ . Při počáteční teplotě  $t_0$  osvětlí určitý dílek měřítka  $n_0$ . Zahřívá-li se lázeň a tyč se prodlužuje, otáčí se raménko  $r$  a s ním zrcátko  $z$  o úhel  $\varphi$ <sup>21)</sup>, takže odražené světlo osvětlí jiný dílek stupnice  $n$ . Z rozdílu  $n - n_0$  a vzdálenosti  $d$  lze počítati úhel mezi paprskem dopadajícím na zrcátko a odraženým, jenž jest dvakrát tak veliký, jako úhel, o který se otočilo raménko  $r$ . Ze známého úhlu a délky raménka  $r$  lze pak určit, oč se prodloužila tyč.

Měří-li pouze jeden pozorovatel, může se zaříditi věc tak, že se místo světelného zdroje připevní ke stupnici  $M$  pozorovací dalekohled a nařídí se proti zrcátku. Jím pak pozorovatel vidí obraz nulového bodu měřítka, když tyč má teplotu  $0^\circ \text{C}$ . a obraz jiných bodů, když se tyč zahřívá tím prodlužuje a zrcátko otáčí. Ze vzdáleností viděných bodů měřítka od bodu počátečního vypočte se zase prodloužení tvče. Při měření promíchává se lázeň, aby měla všude touž teplotu: ta se měří na všech teploměrech zavěšených do lázně a průměrná hodnota  $t$  se zapíše. Pro

<sup>21)</sup> Řecké písmeno  $\varphi$  (fi) značí naše  $f$ .

každou teplotu  $t$  pak se vypočítá příslušné prodloužení tyče  $\lambda$ <sup>22)</sup> a pak délka tyče  $lt$  (čti  $l$  s příponou  $t$ ). Hodnoty měřené teploty a vypočítaná prodloužení a délky tyče se stavují se do přehledných tabulek, nebo ještě lépe znázorňují se diagramem, v němž na osu vodorovnou jsou nanášeny měřené teploty, na osu svislou buď příslušná prodloužení nebo délky tyče. Každé dvojici pozorované teploty a příslušného prodloužení nebo délky odpovídá v nákresu jeden bod.

Provede-li se měření pro rozmezí teplot, které není příliš veliké, obdržíme jako spojovací čáru všech takto sestavených bodů přímku. Obrazec 30 znázorňuje výsledek měření pro tyč mosaznou nebo stříbrnou, jež se



Obr. 30

téměř stejně roztahují, zahřívanou z teploty  $0^{\circ} \text{C}$  na  $50^{\circ} \text{C}$ , mající při teplotě bodu mrazu délku  $1 \text{ m}$ . Na osu svislou jsou v měřítku 50krát zvětšeném nanášena prodloužení tyče. Z diagramu lze vyčísti, že na příklad při  $10^{\circ} \text{C}$  jest prodloužení  $0.019 \text{ cm}$ , takže tyč má délku  $100 \text{ cm} + 0.019 \text{ cm} = 100.019 \text{ cm}$ ; při  $20^{\circ} \text{C}$  jest prodloužení  $0.019 \text{ cm} \times 2 = 0.038 \text{ cm}$  a délka  $100.038 \text{ cm}$ , při  $30^{\circ} \text{C}$  prodloužení  $0.019 \text{ cm} \times 3 = 0.057 \text{ cm}$ , délka  $100.057 \text{ cm}$  a t. d. Z toho jest viděti, že prodloužení tyče metrové jest poměrně malé, ale že roste úměrně s rostoucí teplotou. Z uvedených hodnot lze dále vypočítati, oč se prodlouží každý  $1 \text{ cm}$  tyče, zahřeje-li se o  $1^{\circ} \text{C}$ . Prodloužení to jest sto-

<sup>22)</sup> Řecké písmeno  $\lambda$  (lambda) značí naše  $l$ .



kráte menší, poněvadž délka **1 cm** jest stokrát kratší než **1 m**, a mimo to ještě desetkrát menší, protože se má část dlouhá **1 cm** zahřátí jen o **1° C**. Proto dělíme **0.019 cm** celkem tisícem a vypočteme, že **1 cm** dlouhá tyč mosazná (a stříbrná) prodlouží se zahřátím o **1° C** o **0.000019 cm**. Tuto veličinu nazýváme **koefficient<sup>23)</sup> roztažnosti délkové** pro mosaz (a stříbro) a značíme obecně písmenem řeckým  $\alpha$  (alfa).

Koefficient roztažnosti délkové jest tedy prodloužení jednotky délkové (**1 cm**) zahřátím o **1° C**.

Označme obecně délku tyče při teplotě bodu mrazu  $l_0$  (čti **l** s příponou nula) a její prodloužení, zahřeje-li se o  $t$  stupňů,  $\lambda$ . Pak můžeme vypočítati  $\lambda$ , násobíme-li koefficient roztažnosti délkové původní délkou  $l_0$  a počtem stupňů  $t$ , o který se zahřála tyč. Tento poznatek lze stručně vyjádřiti početně rovnicí:

$$\lambda = \alpha \cdot l_0 \cdot t$$

Celou délku  $l_t$ , kterou má tyč zahřátá na teplotu  $t$  stupňů, vypočteme pak, když k délce původní  $l_0$  připočteme  $\lambda$ , čili

$$l_t = l_0 + \lambda$$

Dosadíme-li z předešlého vzorce za  $\lambda$  jeho hodnotu, obdržíme:

$$l_t = l_0 + \alpha l_0 t$$

Tuto rovnici můžeme ještě upravití tím, že vytkneme z obou členů na pravé straně společného činitele  $l_0$ , takže konečně vyjde

$$l_t = l_0 (1 + \alpha t) \quad (1)$$

### 31. Koefficient roztažnosti délkové skutečný a průměrný.

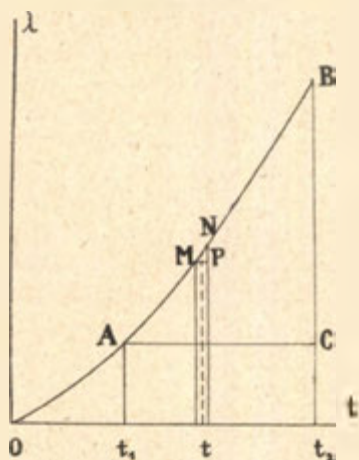
Měří-li se roztažnost tyčí v mezích širších, to jest mezi teplotami hodně od sebe vzdálenými, a nanášejí-li se zase do diagramu teploty směrem vodorovným a jim příslušná prodloužení jednotky délkové na osu svislou, nevyjde spojením jednotlivých bodů již tak jednoduchá přímá linie. Spojnice jest křivka vypuklá poněkud k ose teplot (obr. 31). Ale i v tom případě jest možno zavéstí pojem koefficientu roztažnosti délkové. Jen nutno rozlišovati dvojí jeho hodnotu, průměrnou a skutečnou. O průměrném koefficientu roztažnosti lze mluvití pro určité rozmezí teplot od  $t_1$  do  $t_2$ . Nazýváme průměrným koefficientem délkové roztažnosti v mezích od  $t_1$  do  $t_2$  podíl

<sup>23)</sup> Slovo koefficient pochází z latinského slovesa *eficere* = učiniti, a předložky latinské *cum* (čti *kum*) = s; překládá se česky „součinitel“. Ve fysice však ponechává se slovo koefficient.

z prodloužení jednotky délkové, které nastane, zahřeje-li se z teploty  $t_1$  na  $t_2$ , a z rozdílu těchto teplot. Označíme-li původní délku tyče při bodu mrazu  $l_0$ , délky při teplotách  $t_1$  a  $t_2$  pak  $l_1$  a  $l_2$ , jest prodloužení celé tyče  $l_2 - l_1$ , prodloužení jednotky délkové  $\frac{l_2 - l_1}{l_0}$ . Tento poměr jest nutno

ještě dělití rozdílem teplot  $t_2 - t_1$ , abychom dostali průměrný koeficient roztažnosti mezi teplotami  $t_1$  a  $t_2$ . Označíme-li jej zase  $\alpha$ , jest

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_0 (t_2 - t_1)} \quad (2)$$



Obr. 31

V obrazci 31 jest to poměr délek **CB** ku **AC**, neboť **CB** značí prodloužení jednotky délkové zahrátím z  $t_1$  na  $t_2$ , **AC** pak udává rozdíl teplot  $t_2 - t_1$ .

Tato hodnota průměrného koeficientu přejde ve skutečný (pravý) koeficient roztažnosti délkové pro teplotu  $t$ , jestliže obě teploty  $t_1$  a  $t_2$  volíme v blízkém sousedství teploty  $t$ . Je-li tedy na příklad  $t = 30^\circ \text{C}$ , zvolíme  $t_1 = 29^\circ \text{C}$  a  $t_2 = 31^\circ \text{C}$ , nebo ještě lépe  $t_1 = 29.5^\circ \text{C}$  a  $t_2 = 30.5^\circ \text{C}$ . Pak jest skutečný koeficient roztažnosti délkové pro teplotu  $t$  dán poměrem křátkových délek **NP** ku **MP** v obr. 31 a ten jest ovšem pro různé teploty  $t$  různý. Tak na příklad změřil slavný francouzský fysik a astronom Louis Fizeau (čti Lui Fizó) r. 1869 pro mosaz složenou ze 71.5% mědi, 27.7% zinku, 0.5% olova a 0.3% cínu, že její pravý koeficient roztažnosti

délkové při teplotě 40°C jest 0-00001859, při teplotě 50°C 0-000018786, při 60°C 0-000018982 atd. Z čísel těchto jest viděti, že skutečný koeficient se zvětšuje s rostoucí teplotou jen zcela nepatrně, takže pro měření hrubší postačí úplně spokojiti se s hodnotou průměrnou, již pro rozmezí teplot bodu mrazu a bodu varu určil též F i z e a u hodnotou 0-00001879. Jen při nejpřesnějších měřeních jest nutno přihlížeti ke koeficientům skutečným.

**32. Koeficienty roztažnosti délkové různých látek.** Zkousíme-li, jak se roztahují stejně dlouhé tyče z různých látek, když je stejně zahříváme na příklad na přístroji M u s s c h e n b r o e k o v ě, přesvědčíme se, že každá se roztahuje trochu jinak. Ale pro většinu platí, že v mezích od bodu mrazu do bodu varu prodlužují se téměř úměrně s rostoucí teplotou. Každá látka má však svoji charakteristickou hodnotu koeficientu roztažnosti délkové. V následujícím přehledu uvedeny jsou hodnoty průměrných koeficientů roztažnosti délkové v mezích od 0° C do 100° C některých látek důležitých pro praktický život:

Ebonit <sup>24)</sup>	. . . . .	0-0000800
Zinek	. . . . .	0-0000300
Olovo	. . . . .	0-0000292
Stříbro	. . . . .	0-0000197
Mosaz	. . . . .	0-0000188
Měď	. . . . .	0-0000165
Nikl	. . . . .	0-0000131
Železo	. . . . .	0-0000120
Ocel	. . . . .	0-0000115
Platina	. . . . .	0-0000090
Sklo (průměrně)	. . . . .	0-0000081
Iridium	. . . . .	0-0000065
Dřevo javorové po vláknech	. . . . .	0-0000050
Křemenové sklo (litý křemen)	. . . . .	0-0000005

Z čísel těchto vyplývá, že poměrně nejvíce z uvedených látek se roztahuje e b o n i t. Stává se proto

<sup>24)</sup> Ebonit jest ztvrdlý kaučuk s přísadou 30% síry a 3% sazí.

velmi často, že ebonitové zátky ve skleněných láhvích na příklad elektroskopů plátkových roztrhnou hrdlo láhve, když se láhev postaví poblíže kamen, v nichž se topí.

Téměř stejně se roztahují dvojice kovů zinek a olovo a pak mosaz a stříbro. Stejná roztažnost těchto dvou posledních kovů má důležitý význam pro hotovení přesných měříttek. Správně vyrýti měřítka lze lépe do kovu měkčího a dražšího, jímž jest stříbro, na němž mimo to lépe vynikají na bílé ploše tmavé čárky dělení. Ale měřítko stříbrné by se brzo opotřebovalo, když by se často bralo do rukou, a tím zničilo. Proto se chrání vhodným rámečkem mosazným, do něhož se zasadí pásek stříbrný, na kterém jest měřítko vyryto. Měřítka hotoví se při stálé teplotě, za níž jest přesně rovné. Kdyby se však ty dva kovy nestejně roztahovaly teplem, měřítka by se zbortila při každé větší změně teploty a nebylo by možno jím vůbec správně měřiti.

Rovněž jest pro praktické upotřebení důležitá téměř stejná roztažnost platiny a skla. Jest totiž často třeba vtaviti do skla drátky, jimiž by se do skleněné dutiny přiváděl elektrický proud. Tak jest tomu u žárovek, u rourek Geisslerových, u lamp Röntgenových, elektronových, pak v přístrojích, v nichž se rozkládá elektrickým proudem nějaký roztok. Kdyby se užilo drátů z kovu, jenž se roztahuje teplem jinak a více než sklo, snadno by kol vtaveného drátku sklo popraskalo, když by se drátek zahřál proudem. A v žárovkách i lampách elektronových se drátky skutečně zahřívají na teplotu dosti vysokou. Protaví-li se však sklem drátky platinové, roztahují se téměř stejně jako sklo a nebezpečnost prasknutí není tak tak veliké.

Poměrně malý koeficient roztažnosti 0.0000088 má slitina 90% platiny a 10% iridia, z níž se hotoví přesná měřítka metrová, jež jsou jakožto měřítka základní uložena v říšských ústavech pro

míry a váhy států které se účastnily mezinárodní smlouvy o zavedení měr metrických, metrické konvence r. 1875.

Z kovů má nejmenší koeficient roztažnosti, totiž 0·0000016 slitina 35·7% niklu se 64·3% oceli, kterou slil první Charles Edouard Guillaume (čti Šarl Eduar Gyjóm) r. 1899 a která nazvaná byla *invar*<sup>25)</sup>, protože změnami teploty nemění téměř své délky.

Z tuhých látek vůbec má, jak z tabulky jest viděti, nejmenší koeficient *křemenové sklo* čili *tavený křemen*. Hotoví se z křemene brasílského, jenž taje asi při teplotě 1700°C. Nádobky z něho lité jest možno rozžhavití tak, až vydávají červené záření, a pak je rychle vhoditi do studené vody a přece neprasknou. Nádobky skleněné by podobného zacházení nesnesly. Jest známo, že stačí nalíti do sklenice horké vody nebo postaviti ji na horkou plotnu, a již praskne. Rovněž stříkne-li kapka studené vody na horký skleněný cylindr na lampě, praskne ihned. Zjevy ty nastanou proto, že sklo se na ohřátém místě roztahuje, nebo zase na ochlazeném místě smršťuje prudčeji než v částech ostatních, a tím praská.

K délkové roztažnosti látek tuhých jest přihlížeti i v četných jiných případech praktického života. Kladou-li se při stavbě železničních tratí kolejnice, nesmí se klásti těsně vedle sebe, nýbrž jest nutno nechat mezi nimi mezery, aby se mohly v létě prodlužovati, když se silně zahřívají sáláním slunečním. Jinak by se zbourily, po případě i popraskaly.

Natahují-li se dráty pro vedení elektrická, ať telegrafní, telefonní, ať pro přívod proudu do elektrických drah nebo pro přespolní vedení z elektráren, nesmí se nikdy úplně napnouti, neboť by za mrazu popraskaly. Jejich prohyb jest tím větší, čím jest tepleji. Železné konstrukce mostní, traversy do staveb, kovové kotly nesmějí se nikdy úplně těsně zazdívatí, poněvadž by při oteplení potrhaly zdívo.

<sup>25)</sup> Z latinského slova *invariabilis* = neměnitelný.



roztahující se. Řetězové mosty jsou v zimě více prohnuty než v létě, poněvadž se řetězy i konstrukce mostní zkrátí mrazem. Železné obruče nasazuje kolář na kola silně zahřáté, když pak chladnou, smrští se a náležitě stáhnou kolo.

Nestejným roztahováním různých vrstev vysvětlíme si též zjevy, že se silné desky dřevěné bortí a prohýbají, když se vystaví přílišnému oteplování po jedné straně. Tak se zkroutí desky rýsovací nebo části dřevěného nábytku, stojí-li blízko kamen, v nichž se topí. Rovněž nestatečná roztažnost teplem jest příčinou, že odprýskává emailový povlak na železných nádobách, když se silně zahřejí a není-li v nich kapaliny.

Příklady ke cvičení. 6.) Jak velikou délku má tyč mosazná při  $80^{\circ}\text{C}$ , jestliže při bodu mrazu byla 150 cm dlouhá? [150·228 cm].

7.) Oč jest delší tyč zinková než ocelová při teplotě  $60^{\circ}\text{C}$ , jestliže při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  byly obě 2 m dlouhé? [0·222 cm].

8.) Oč se prodlouží metrová měřítka, jedno ze slitiny platiny a iridia, druhé z invaru, zahřejí-li se z  $+10^{\circ}\text{C}$  na  $+40^{\circ}\text{C}$ ? [0·0264 cm, 0·0048 cm].

9.) Jak velikou délku má při  $35^{\circ}\text{C}$  měděný drát telegrafní, zavěšený mezi dvěma tyčemi vzdálenými od sebe 40 m, byl-li úplně přímý při teplotě  $-20^{\circ}\text{C}$ ? [40 m 3·63 cm].

10.) Jak veliká jest v zimě při  $-20^{\circ}\text{C}$  délka všech mezer mezi kolejnicemi na trati z Prahy do Bratislavy dlouhé 396 km, jestliže v létě při teplotě  $+40^{\circ}\text{C}$  jsou kolejnice těsně při sobě? [285·12 m].

### **Roztažnost objemová látek tuhých.**

**33. Koeficient roztažností objemové látek tuhých.** Zahříváme-li kovovou tyč, prodlužuje se nejen co do délky, nýbrž zvětšuje se též její šířka a výška. Podobně chová se většina látek tuhých; zahříváme-li je, roztahují se v s e m í s m ě r y s t e j n ě. Proto se zvětšuje též jejich o b j e m, když se zvyšuje jejich teplota.

Jak se objem zvětší, nejlépe lze si představit i nejsnáze vypočítati na tělese tvaru kvádra, jehož délka při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  budiž  $a_0$ , šířka  $b_0$ , výška  $c_0$ . Jeho objem  $V_0$  při

bodů mrazu vypočteme, když znásobíme délku šířkou a výškou, tedy

$$V_0 = a_0 \cdot b_0 \cdot c_0$$

Zahřeje-li se celý kvádr na teplotu  $t^{\circ}\text{C}$ , zvětší se jeho délka na  $at$ , šířka na  $bt$ , výška na  $ct$  a objem na  $V_t$ , takže

$$V_t = at \cdot bt \cdot ct$$

Ale zvětšenou zahrátím délku, šířku i výšku umíme již vypočítati dle vzorce (1) z délky  $a_0$ , šířky  $b_0$  a výšky  $c_0$  při teplotě bodu mrazu. Jest totiž

$$ct = c_0 (1 + \alpha t).$$

$$bt = b_0 (1 + \alpha t).$$

$$at = a_0 (1 + \alpha t)$$

Znásobíme-li spolu tyto tři rovnice, obdržíme na levé straně součin  $at \cdot bt \cdot ct$ , který znamená nový objem kvádrů  $V_t$ , takže

$$V_t = a_0 b_0 c_0 (1 + \alpha t) \cdot (1 + \alpha t) \cdot (1 + \alpha t)$$

Na pravé straně součin  $a_0 b_0 c_0$  značí však původní objem  $V_0$  a součin tří stejných výrazů  $(1 + \alpha t)$  lze kratěji psáti jako třetí mocninu  $(1 + \alpha t)^3$ , takže

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t)^3.$$

Provedeme-li na pravé straně trojmoc, po případě naznačené násobení výrazů  $1 + \alpha t$ , obdržíme

$$V_t = V_0 (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3)$$

Viděli jsme, že z kovů poměrně nejvíce se roztahuje zinek, pro nějž jest koeficient roztažnosti délkové

$$\alpha = 0.00003, \text{ tedy } \alpha^2 = 0.00003 \times 0.00003 = 0.0000000009 \text{ a}$$

$$\alpha^3 = 0.00003 \times 0.00003 \times 0.00003 = 0.000000000000027.$$

Jsou tedy třetí a čtvrtý člen v závorce tak maličké, že nemají pro praktickou potřebu významu při rozměrech těles ne příliš obrovských a není-li teplota, na kterou zahříváme tělesa, příliš vysoká. Proto můžeme třetí a čtvrtý člen úplně vynechat a nedopustíme se chyby, která by snad působila, že bychom obdrželi výsledek výpočtu nesprávný. Pak tedy zjednodušený vzorec jest:

$$V_t = V_0 (1 + 3\alpha t)$$

Podobá se velmi vzorci (1), který jsme odvodili pro roztažnost délkovou, jenže místo koeficientu roztažnosti délkové  $\alpha$  obsahuje tento vzorec jeho trojnásobek  $3\alpha$ . Tuto veličinu nazýváme **koeficient roztažnosti objemové** a značíme ji druhým písmenem řecké abecedy  $\beta$  (beta, české **b**). Pak tedy můžeme psáti konečně

$$V_t = V_0 (1 + \beta t) \quad (3)$$

Význam veličiny  $\beta$  vysvitne, když ji z rovnice (3) vy-

počítáme. Provedeme-li na pravé straně násobení a převedeme-li  $V_0$  nalevo, obdržíme

$$V_t - V_0 = V_0 \beta t;$$

dělíme-li pak obě strany té rovnice součinem  $V_0 t$ , obdržíme

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} \quad (4)$$

Jest tedy  $\beta$  rovno poměru objemové změny  $V_t - V_0$  a původního objemu  $V_0$  dělenému počtem stupňů  $t$ , o které se těleso zahřálo.

Jest tedy koeficient roztažnosti objemové zvětšení objemu jednotky objemové ( $1 \text{ cm}^3$ ), zahřeje-li se o  $1^\circ\text{C}$ . Koeficient roztažnosti objemové má na příklad pro zinek hodnotu 0·000090, pro železo 0·000036, pro sklo 0·000025 atd. Rovná se vždy trojnásobné hodnotě příslušného koeficientu roztažnosti délkové. Zvětší se tedy  $1 \text{ dm}^3$  zinku, zahřeje-li se o  $1^\circ\text{C}$ , o  $90 \text{ mm}^3$ , železa o  $36 \text{ mm}^3$ , skla o  $25 \text{ mm}^3$ .

Dutiny nádob, roztahují se právě tak, jako by celá dutina byla vyplněna touže hmotou, ze které jsou stěny nádoby. Tak na příklad dutina půllitrové nádoby ze zinkového plechu se zvětší, zahřeje-li se o  $1^\circ\text{C}$ , o  $45 \text{ mm}^3$ , dutina skleněného půllitru o  $12\cdot5 \text{ mm}^3$ , neboť půllitr jest polovina krychlového decimetru.

34. O roztažnosti objemové látek anisotropických. Vedle látek tuhých, jež se roztahují v s e m í s m ě r y s t e j n ě a které nazýváme t h e r m i c k y i s o t r o p i c k é<sup>26)</sup>, jsou též látky, které se roztahují r ů z n ě v r ů z n ý c h s m ě r e c h. Ty se nazývají t h e r m i c k y a n i s o t r o p i c k é.<sup>27)</sup> Tuto vlastnost poznal r. 1824 berlínský profesor Eilhart Mitscherlich (čti Ailhart Mičrlich) nejdříve na krystalech dvojlomného vápence islandského, později i na krystalech jiných nerostů a také na některých látkách nekrytalických jako na dřevu a kaučuku.

V krystalech byly nalezeny tři směry k sobě

<sup>26)</sup> Z řeckých slov *ἴσος* (čti isos) = stejný, a *τροπος* (čti tropos) = obrat, způsob, chování.

<sup>27)</sup> Řecká předpona *ἀν* (čti an) značí české **ne**.

kolmé, které se nazývají hlavní osy, ve kterých se při zahřívání krystalů posouvají nejmenší částice krystalové (molekuly <sup>28)</sup>), nevybočující z nich, jak se to děje při zahřívání ve směrech jiných. Směrem každé z těchto tří os jest však roztažnost krystalů jiná a má tedy krystal pro každou z těch os jinou hodnotu koeficientu roztažnosti délkové.

Označme koeficient roztažnosti směrem první hlavní osy  $\alpha_1$ , směrem druhé osy  $\alpha_2$  a směrem třetí osy  $\alpha_3$ . Krystal, jehož roztažnost chceme zkoumati, budiž seříznut zase ve tvar kvádry, jehož délka  $a$  ať má směr první osy, šířka  $b$  směr druhé osy a výška  $c$  směr třetí osy. Jsou-li při teplotě bodu mrazu rozměry krystalu  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $c_0$ , nabudou při zahřátí na  $t$  stupňů délek:

$$\begin{aligned} at &= a_0 (1 + \alpha_1 t) \\ bt &= b_0 (1 + \alpha_2 t) \\ ct &= c_0 (1 + \alpha_3 t) \end{aligned}$$

Objem při teplotě  $0^\circ$   $C$  jest

$$V_0 = a_0 b_0 c_0,$$

při teplotě  $t$  pak

$$V_t = at \, bt \, ct$$

takže

$$V_t = V_0 (1 + \alpha_1 t) \cdot (1 + \alpha_2 t) \cdot (1 + \alpha_3 t).$$

Provedeme-li násobení nejdříve prvních dvou činitelů v závorkách na pravé straně této rovnice, obdržíme:

$$V_t = V_0 (1 + (\alpha_1 + \alpha_2) t + \alpha_1 \alpha_2 t^2) (1 + \alpha_3 t),$$

Násobíme-li pak ještě posledním činitelem, vyjde:

$$V_t = V_0 (1 + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) t + (\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_3 + \alpha_2 \alpha_3) t^2 + \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 t^3)$$

Koeficienty  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  jsou zase maličká čísla desetinná s platíci číslicemi až na šestém nebo nejvýše pátém místě desetinném. Proto lze jejich podvojně součiny  $\alpha_1 \alpha_2$ ,  $\alpha_1 \alpha_3$ ,  $\alpha_2 \alpha_3$  vynechatí vzhledem k prvním dvěma členům jako čísla s platíci čísly až na místech desátém, jedenáctém a dvanáctém, a tím spíše i člen poslední, který obsahuje součin všech těch tří maličkých čísel a jenž by měl platíci číslice až na místech následujících za třináctým místem desetinným. Tím se předešlá rovnice zjednoduší ve tvar:

$$V_t = V_0 [1 + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) t]$$

<sup>28)</sup> Zdrobnělé slovo z lat. slova *moles* = hmota, tedy *molecula* (čti molekula) = malá, drobná hmota.

Součet  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$  všech tří koeficientů dle tří hlavních os zastupuje veličinu  $3\alpha$ , kterou jsme měli v rovnici pro roztažnost objemovou látky termicky isotropické, a jako tam i zde zavedeme za tento součet veličinu  $\beta$ , kterou nazveme koeficient roztažnosti objemové, takže pro látku anisotropickou

$$\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

O tomto součtu lze se pak přesvědčiti výpočtem i pokusně, že se mu rovna součet koeficientů i v každých jiných třech směrech k sobě kolmých, takže jest to veličina pro každý krystal stálá. Aritmetická průměrná hodnota tohoto součtu, to jest hodnota, kterou dostaneme, dělíme-li tento součet třemi, nazývá se střední koeficient roztažnosti délkové a značí se  $\alpha^*$ , takže

$$\alpha^* = \frac{1}{3} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

Z předešlého pak vyplývá, že objemový koeficient roztažnosti  $\beta$  i u látek anisotropických jest roven trojnásobku tohoto středního koeficientu roztažnosti délkové, tedy

$$\beta = 3\alpha^*$$

**35. Některé zvláštnosti při roztahování látek anisotropických.** U mnohých krystalů bylo zjištěno, že mají jen dva různé hlavní koeficienty roztažnosti, jeden směrem hlavní osy krystalické  $\alpha_1$ , druhý  $\alpha_2$  ve všech směrech kolmých k hlavní ose; pak jest

$$\alpha_2 = \alpha_3$$

Koeficient střední jest pak

$$\alpha^* = \frac{1}{3} (\alpha_1 + 2\alpha_2)$$

Ba dokonce bylo zjištěno, že některý z koeficientů jest záporný, což značí, že ve směru, ve kterém jest  $\alpha$  záporné, se těleso zahříváním neroztahuje, nýbrž smršťuje. Příkladem takové látky jest jodid stříbrný, látka citlivá pro chemický účinek paprsků světelných, které se užívalo zvláště dříve pro přípravu desek fotografických. Látka tato vyznačuje se jednou hlavní osou a ve všech ostatních směrech se roztahuje stejně, má tedy koeficienty roztažnosti délkové  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ . Fizeau změřil, že  $\alpha_1 = -0.00000397$ ,  $\alpha_2 = +0.0000065$ . Vypočítáme-li si z těchto hodnot koeficient roztažnosti objemové  $\beta$ , obdržíme  $\beta = -0.00000267$ . To znamená, že krystaly jodidu stříbrného zmenšují svůj objem, zahříváme-li je.



Podobně nepravidelně chová se kaučuk napíatý, když se zahřívá. Anglický sládek, slavný badatel v různých oborech fyzikálních James Joule (čti Džeims Džaul) (1818—1889) první změnil, že se napíatá hadice kaučukové zkrátí, vede-li se jimi proud páry vystupující z vroucí vody, ale průřez jejich se zvětší. Protože toto roztážení průřezu převládá, zvětší se při tom celkový objem hadic.

Také dřevo jest látkou tepelně anisotropickou, jež se roztahuje po vláknách nejméně, napříč vláknům však pětkrát až dvacetkrát více dle různých druhů dřev.

**36. Jak se mění specifická hmota látek tuhých zahříváním?** Mění-li se zahříváním objem látky  $V$ , musí se nutně měnit i též její hmota měrná čili specifická<sup>29)</sup>  $S$ . Nazýváme hmotou specifickou hmotu obsaženou v jednotce objemové, tedy nejčastěji v  $1 \text{ cm}^3$  určité látky a jest veličinou význačnou pro každou čistou látku a mimo to veličinou stálou pro určitou teplotu té látky. Značí-li  $M^{30)}$  úhrnnou hmotu tělesa v gramech, kterou lze změřiti vážením na dobrých vahách, můžeme vypočítati  $M$ , když počtem krychlových centimetrů, které těleso má, násobíme hmotu v jednom  $\text{cm}^3$  čili hmotu specifickou, tedy

$$M = V \cdot S$$

Přesnými vahami lze se přesvědčiti, že kus mosazi, na příklad závaží mosazné, váží stejný počet gramů, ochladíme-li je na  $0^\circ \text{C}$  v tajícím ledu, jako oteplíme-li je v horké vodě na  $90^\circ$  až  $100^\circ \text{C}$ , že se tedy úhrnná hmota zahříváním ani ochlazením nemění. Proto zvětší-li se zahříváním pravidelně objem  $V$ , musí se specifická hmota  $S$  zmenšiti a obráceně, zmen-

<sup>29)</sup> Z latinského slova *specificus* (čti *specifikus*) = význačný.

<sup>30)</sup> Počáteční písmeno latinského slova *materia* = hmota.

ší-li se ochlazením objem  $V$ , zvětšuje se  $S$ .

Jak se specifická hmota mění, poznáme z úvahy následující. Označme  $S_0$  specifickou hmotu, kterou má látka tuhá při teplotě  $0^\circ \text{C}$  a  $S_t$  specifickou hmotu při teplotě  $t^\circ \text{C}$ . Pak platí dle předešlého výkladu rovnice:

$$M = V_0 S_0 = V_t S_t.$$

Avšak objem  $V_t$  lze vyjádřiti na základě rovnice (3) objemem  $V_0$  při teplotě  $0^\circ \text{C}$ , takže jest

$$V_0 S_0 = V_0 (1 + \beta t) \cdot S_t$$

V této rovnici lze krátiti na obou stranách  $V_0$  a pak vypočítati  $S_t$ :

$$S_t = \frac{S_0}{1 + \beta t}$$

čili

$$S_t = S_0 \cdot \frac{1}{1 + \beta t} \quad (5)$$

Dělení  $\frac{1}{1 + \beta t}$  však provedeme dle pravidla, podle kterého se dělí mnohočlenem. Obdržíme podíl:

$$1 : (1 + \beta t) = 1 - \beta t + \beta^2 t^2 - \beta^3 t^3 + \beta^4 t^4 - \dots$$

vyjádřený řadou členů, v níž každý následující člen má mocniny  $\beta$  i  $t$  o jeden stupeň vyšší než člen předcházející. Jak bylo uvedeno již v odstavci 33, jsou členy obsahující  $\beta^2$ ,  $\beta^3$ ,  $\beta^4 \dots$  tak malé, že pro tělesa rozměrů ne právě ohromných a při zahřátí ne příliš vysokém nemají pro praktické potřeby ceny, takže je můžeme vynechat vedle jednotky a členu  $\beta t$ , který sám má platící číslice až na místech desetinných dosti daleko za desetinnou tečkou (třetím až šestým). Tak obdržíme vzorec pro výpočet specifické hmoty  $S_t$ , známe-li specifickou hmotu téže látky  $S_0$  při bodu mrazu:

$$S_t = S_0 (1 - \beta t) \quad (6)$$

Z něho jest patrné, že roste-li teplota  $t$ , zmenšuje se činitel v závorce a  $S_t$  ubývá; klesá-li však teplota, zvětšuje se rozdíl  $1 - \beta t$  a  $S_t$  přibývá.

Místo specifickou hmotou vyjadřuje se též jakost látky **hustotou**, to jest číslem, které udává, kolikrát jest jistý objem nějaké látky těžší, a tedy hmotnější než týž objem čisté vody  $4^\circ \text{C}$  teplé, která byla zvolena za základ přirovnávání hmot z důvodu, o němž se zmíníme později. Kdežto specifická hmota jest veličina pojmenovaná, udávajíc počet gramů v  $1 \text{ cm}^3$ , jest hustota číslo

nepojmenované, ale co do číselné velikosti stejně veliké jako specifická hmota, poněvadž **1 cm<sup>3</sup>** čisté vody **4° C** teplé má právě hmotu **1 gram**. I mění se hustota látek, zahříváme-li je a ochlazujeme-li je, právě tak, jako se mění jejich specifická hmota. Značí-li tedy **h<sub>0</sub>** hustotu, kterou má látka při bodu mrazu, **h<sub>t</sub>** hustotu při **t° C**, jest

$$h_t = h_0 (1 - \beta t).$$

Zahříváním těles se tedy jejich hustota zmenšuje, ochlazováním zvětšuje.

Z těchto pravidel činí výminku některé látky tepelně anisotropické, o kterých jsme jednali v odstavci 35., u kterých se zahříváním objem zmenšuje, a proto specifická hmota i hustota zvětšuje a naopak.

Příklady ke cvičení. 11.) Rozměry zinkového kváдру jsou při teplotě 0° C 35 cm, 18 cm, 42 cm; jak veliký objem má při 44° C? [26.564.8 cm<sup>3</sup>].

12.) Objem stříbrné koule při 0° C jest 10 cm<sup>3</sup>. Oč se zvětší, zahřeje-li se na bod varu? [59.1 mm<sup>3</sup>].

13.) Do skleněné baňky vejde se při 0° C právě 600 cm<sup>3</sup> kapaliny; kolik se jí vejde při 40° C? [600.6 cm<sup>3</sup>].

14.) Oč vzroste objem nádobky z litého křemene, která má objem 50 cm<sup>3</sup> při teplotě 15° C, zahřeje-li se na 200° C? [0.0139 cm<sup>3</sup>].

15.) Specifická hmota olova jest 11.3 g v cm<sup>3</sup> při 18° C. Jak velikou spec. hmotu má olovo při bodu mrazu a při bodu varu? [11.3178, 11.2185 g v cm<sup>3</sup>].

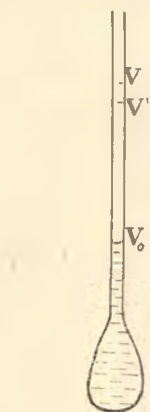
16.) Mosazné závaží má při 0° C hustotu 8.5; jak velikou hustotu má při - 30° C a při +50° C? [8.5144, 8.476]

## Roztažnost kapalin.

**37. Roztažnost relativní a absolutní.** O tom, jak se pozoruje zhruba roztažnost kapalin, bylo pojednáno již v odstavci 27. a přístroj, jímž se pozorování provádí jest zobrazen na obr. 25. K přesnému měření se však tento přístroj nehodí, poněvadž objem baňky uzavřené jen zátkou není dosti stálý. Pro přesná měření se užívá nádobek zřízených podobně jako teploměrné rourky, které se nazývají dilatometry<sup>31)</sup>. Jsou to malé baňky (obr. 32) vytažené přímo v rourky mající všude přesně stejnou světlost. Podobně jako rourka teploměrná naplní se i tento

<sup>31)</sup> Z latinského slova dilato = roztahuji, rozšiřuji.

dilatometr kapalinou, jejíž roztažnost chceme měřiti tak, aby vyplnila celou baňku a část rourky. Pak vloží se baňka na delší dobu do tajícího ledu nebo sněhu, abychom mohli stanovit, jaký objem  $V_0$  má kapalina při  $0^\circ \text{C}$ . Potom se dilatometr ponenáhlu zahřívá v lázni vodní nebo olejové a sleduje se, jak stoupá hladina kapaliny v rource, a zapisují se k sobě příslušné teploty  $t$  a objemy  $V$ . Arcit musí býti před tímto pozorováním předem změřeno, jaký objem má nádobka dilatometru a kolik objemových jednotek



Obr. 32

značí každá délková jednotka dutiny rourky.

Ale dilatometr roztahuje se sám také, takže hladina kapaliny ustálí se vždy níže a ukazuje tedy objem  $V'$  menší, než by ukazovala, kdyby roztažnosti dilatometru nebylo. Jest tedy tímto způsobem, možno pozorovati pouze roztažnost kapaliny vztahnou (relativní), to jest roztažnost, oč se zvětší objem kapaliny více než objem nádoby dilatometrické. Abychom mohli určití roztažnost kapaliny samotné, čili roztažnost absolutní<sup>32)</sup>, musíme především znáti, jak se

<sup>32)</sup> Latinské přídavné jméno absolutus = úplný, dokonalý.

roztahuje dilatometr sám. To však nelze stanovit jinak než prostřednictvím nějaké kapaliny, jejíž absolutní roztažnost již známe. Z toho jest viděti, že jest nutno alespoň pro jednu kapalinu vyšetřiti absolutní roztažnost jiným způsobem než dilatometrem.

**38. Jak byla měřena absolutní roztažnost kapalin?**  
První způsob, jak se to může provésti, udal anglický fysik Robert Hooke (čti Húk) (1635—1703). Užil při tom zákonu Archimedova o nadlehčování těles kapalinami. Dle tohoto zákona jest každé těleso ponořené do kapaliny nadlehčováno v kapalině silou, jež se rovná váze kapaliny vytlačené tím tělesem. Ponoří-li se tedy těleso nějaké do kapaliny studenější která jest hustší, nadlehčuje kapalina to těleso též větší silou, než když jest totéž těleso ponořeno do kapaliny teplejší a tedy řidší.

Hooke zavěsil pod jednu miskou vah železnou kouli a vyvážil ji. Pak vložil tuto kouli do ledové vody mající teplotu bodu mrazu a určil nadlehčovací sílu. Poté vložil touž kouli do vody vroucí a zase určil nadlehčování. Znaje roztažnost železné koule, mohl vypočítati, jak se změnila specifická hmotnost vody zahřátím z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$ , a z toho pak, jak se voda roztáhla teplem. Ale, jak uvidíme dále, nebyla právě šťastná volba vody jako základní kapaliny, s níž se měla přirovnávati roztažnost kapalin jiných.

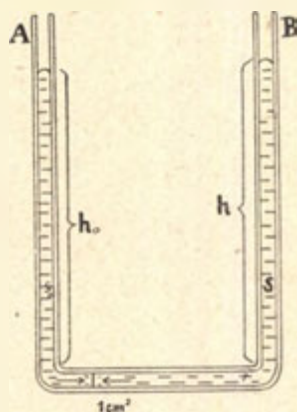
Daleko výhodnější bylo voliti za základní kapalinu rtuť a určití její absolutní roztažnost způsobem, který nevyžaduje znalosti roztahování látky tuhé žádné. Měření absolutní roztažnosti rtuti provedli dva profesori pařížští Pierre Dulong (čti Pier Dylong) a Alexis Petit (čti P'ti) r. 1818, užívajíce při tom spojitých nádob. Ve spojitých nádobách (obr. 33) jsou dvě různé kapaliny v rovnováze jen tehdy, když s obou stran působí ve spojovací trubici stejným tlakem. Tlak v kapalině na každém  $1\text{ cm}^2$  se vypočítá, když se násobi



hloubka místa, kde jest ta ploška položena pod hladinou, vahou  $1 \text{ cm}^3$  kapaliny čili vahou specifickou té kapaliny. Proto lze vyjádřiti podmínku rovnováhy ve spojitých nádobách rovnicí

$$h_0 \cdot s_0 = h \cdot s,$$

kdež  $h_0$ ,  $h$  znamenají hloubky plošky  $1 \text{ cm}^2$  ve spojovací trubici pod hladinami různých kapalin v obou ramenech a  $s_0$ ,  $s$  specifické hmoty obou kapalin v ramenech.



Obr. 33

Dulong a Petit neužili však dvou různých kapalin, nýbrž obě ramena svých spojitých nádob naplnili rtutí. Ale obložili rameno A kousky tajícího ledu, aby udrželi teplotu rtuti v tomto rameni na teplotě bodu mrazu, takže rtuť měla v rameni A specifickou hmotu  $s_0$  a výšku hladiny  $h_0$ . Kolem druhého ramene B vedli páru vystupující z vařící se vody a udržovali rtuť v rameni B na teplotě bodu varu; její specifická hmota byla  $s$  a výška sloupce  $h$ . Obě ty výšky měřili dalekohledem upevněným na přesné svislé stupnici z místa opodál přístroje, aby snad nepůsobili pozorovatelé teplem svého těla z blízka na teploty obou rtuťových sloupců. Když se teploty

rtuti v obou ramenech náležitě ustálily a nastal rovnovážný stav, platila horní rovnice

$$h_0 \cdot s_0 = h \cdot s$$

Poněvadž v rameni **B** jest rtuť teplejší, jest řidší a její sloupec jest vyšší než v **A**, ale její specifická hmota  $s$  jest menší než  $s_0$ .

Označíme-li  $\beta$  zase objemový koeficient roztažnosti pro rtuť, lze vyjádřiti specifickou hmotu  $s$  při teplotě  $t^\circ \text{C}$  na základě specifické hmoty  $s_0$  při teplotě  $0^\circ \text{C}$  obdobným vztahem, jaký jsme poznali v odst. 36. pro specifické hmoty látek tuhých. Dle rovnice (5) platí

$$s = \frac{s_0}{1 + \beta t}$$

Dosadíme-li tuto hodnotu do podmínky rovnováhy ve spojitých nádobách, obdržíme:

$$h_0 s_0 = h \cdot \frac{s_0}{1 + \beta t}$$

čili krátíme-li  $s_0$  a odstraníme-li jmenovatele

$$h = h_0 (1 + \beta t)$$

Z této rovnice lze počítati absolutní koeficient roztažnosti rtuti  $\beta$ , provedeme-li na pravé straně násobení a osamotníme-li  $\beta$ . Pak

$$\beta = \frac{h - h_0}{h_0 t}$$

Z měření Dulong-Petitových vyplynul průměrný koeficient roztažnosti rtuti  $\beta = 0.0001802$  platný v mezích od  $0^\circ \text{C}$  do  $100^\circ \text{C}$ . Později rozšířili oba badatelé svá měření k teplotám vyšším do  $200^\circ \text{C}$  a  $300^\circ \text{C}$ , obklobivše trubici **B** lázní olejovou, a našli, že průměrný koeficient roztažnosti rtuti v mezích od  $0^\circ$  do  $200^\circ \text{C}$  jest  $0.0001843$ , v mezích od  $0^\circ$  do  $300^\circ \text{C}$  pak  $0.0001887$ .

Z těchto výsledků vyplývá, že se rtuť roztahuje s rostoucí teplotou téměř rovnoměrně a že tedy byla velmi vhodná volba rtuti za základní látku teploměrnou.

Měření Dulong-Petitova opakovali zdokonalenými přístroji mnozí vynikající badatelé pozdějších let, jmenovitě r. 1847 slavný francouzský badatel Henri Regnault (čti Anry Renól), a shledali, že výsledky

Dulong-Petitovy byly poněkud menší než odpovídá skutečnosti. Zvláště důkladně proměřil roztažnost rtuti v oboru mezi teplotami  $0^{\circ}$  až  $100^{\circ}$  C francouzský fysik Chappuis (čti Šapy) v letech 1903 až 1905 a našel, že absolutní koeficient roztažnosti rtuti jest při  $0^{\circ}$  C 0-00018179, při  $100^{\circ}$  C pak 0-00018216, že tedy jen nepatrně s rostoucí teplotou vzrůstá.

**39. Pokračování.** Když tedy známe, jak se roztahuje tep-tem rtuť, můžeme ve skleněných dilatometrech měřiti absolutní roztažnost i kapalin jiných. Jest nutno ovšem nejdříve proměřiti roztažnost dilatometru samotného, což se stane tím, že jej naplníme rtuť a pak postupně zahříváme vhodnou lázní od teploty bodu mrazu, sledujeme, jak se mění hladina rtuti v rource. Známe-li průřez rourky dilatometrické, můžeme počítati změny objemové a z nich stanoviti koeficient roztažnosti skla  $\beta_s$ , z něhož jest dilatometr zhotoven. Pak naplníme dilatometr jinou kapalinou a zase postupně zahříváme od bodu mrazu a počítáme změny objemové této kapaliny a z nich vypočítáváme zase relativní koeficient roztažnosti  $\beta'$  vzhledem ke sklu dilatometru. Chceme-li pak dostati koeficient absolutní  $\beta$ , musíme relativní koeficient  $\beta'$  zvětšiti o koeficient roztažnosti skla, tedy

$$\beta = \beta' + \beta_s.$$

Veličina  $\beta$  má pro kapaliny obdobný význam jako pro látky tuhé. Jest to objemová změna jednoho krychlového centimetru způsobená ohřátím o  $1^{\circ}$  C. Jest tedy dána poměrem

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

a jest pro různé kapaliny různá.

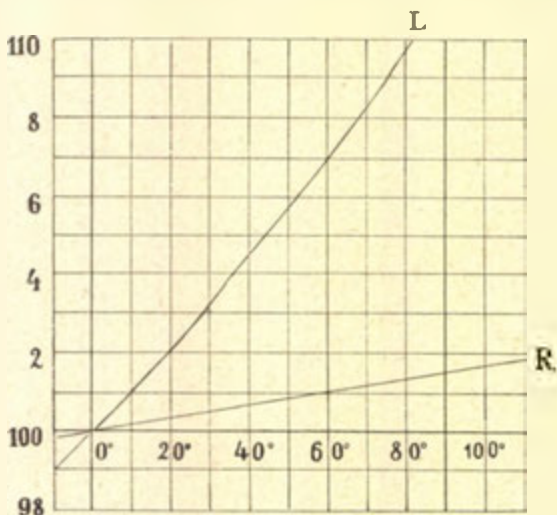
Když však provedeme měření roztažnosti pro rozmanité kapaliny a výsledky měření si zase znázorníme graficky do dvou os řadou bodů, nanášejíce na vodorovnou osu teploty a na svislou osu, změny objemové, přesvědčíme se, že linie spojující jednotlivé body není přímka, nýbrž čára vypuklá k ose teplot. Vyjde čára tím křivější, čím větší jest rozdíl teplot, mezi kterými měříme. Ale i při rozsahu nepřilíš velikém jest již čára mnohem více zakřivena než čára znázorňující roztažnost látek tuhých. Jako příklad připojen jest diagram (obr. 34), znázorňující roztažnost rtuti (čára R) a lihu (L) od  $0^{\circ}$  do  $100^{\circ}$  C pro rtuť, pro líh pouze do  $80^{\circ}$  C.

Z toho plyne, že pro kapaliny platí jen přibližně rovnice (3), kterou se vypočítává objem  $V_t$  při teplotě  $t^{\circ}$  z objemu  $V_0$  při bodu mrazu, totiž rovnice

$$V_t = V_0 (1 + \beta t).$$

V ní značí  $\beta$  průměrný koeficient roztažnosti objemové platný v mezích teplot od  $0^\circ$  do  $t^\circ$ . Vztah uvedený platil by přesně, kdyby zvětšování objemu postupovalo přímo úměrně s rostoucí teplotou, což by se v grafickém znázornění projevilo tím, že by jako spojnice řady sestavených bodů vyšla přímka.

Chceme-li vystihnouti též jednoduchou rovnicí i tuto složitější závislost objemu kapalin na rostoucí teplotě, nutno do rovnice přibrati mimo člen obsahující teplotu jen v první mocnině, to jest člen  $\beta_1 t$ , ještě alespoň



Obr. 34

člen stupně nejbližší vyššího, to jest člen, v němž teplota jest v mocnině druhé. Takto rozšířená rovnice má pak tvar tento:

$$V_t = V_0 (1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2)$$

Veličiny  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  jsou pro každou kapalinu jiné a jest nutno stanovit je z měření. Čím se kapalina roztahuje úměrněji s rostoucí teplotou, tím menší hodnotu má součinitel  $\beta_2$ , a tedy tím menší vliv má v rovnici člen druhého stupně. Tak jest tomu pro rtuť a velmi přibližně i pro líh. Dle měření Regnaultových, o nichž již byla výše zmínka, jest pro rtuť:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.00017905, \\ \beta_2 &= 0.0000000252.\end{aligned}$$

Pro čistý lih (94%) našel v letech padesátých minulého století K o p p

$$\beta_1 = 0.00104139,$$

$$\beta_2 = 0.0000007836.$$

Tento badatel našel, že ještě přesněji se vyjádří roztážnost lihu, když se přiběře ještě člen stupně třetího, to jest člen  $\beta_3 t^3$ , obsahující teplotu v mocnině třetí. Pak rovnice pro výpočet objemu  $V_t$  zní

$$V_t = V_0 (1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3)$$

Pro činitele  $\beta_3$  lihu vypočítal K o p p ze svých měření hodnotu

$$\beta_3 = 0.000000017618,$$

tedy zase ještě menší než pro  $\beta_2$ . Podobně u kapalin, jež se ještě nepravidelněji roztahují, vyjádří se jejich změněný objem zahrátím v širších mezích teplot, když se rovnice rozšíří o člen stupně třetího, po případě ještě čtvrtého.

**40. Jak se mění specifická hmota kapalin zahříváním.** Jak již bylo uvedeno výše (v odst. 38.), u b ý v á i u kapalin specifické hmoty  $s$ , když se zahříváním z v ě t š u j e o b j e m kapaliny. Pro kapaliny, které se téměř rovnoměrně roztahují s rostoucí teplotou, platí jednoduchý vzorec, který jsme již seznali:

$$St = \frac{S_0}{1 + \beta t},$$

kdež  $\beta$  jest zase průměrný koeficient roztážnosti platící v mezích teplot od  $0^\circ$  do  $t^\circ\text{C}$ .

Také tomuto vzorci lze dáti jednodušší tvar, jako jsme to provedli se vzorcem (5) pro specifickou hmotu látek tuhých. Vznikne tak:

$$St = S_0 (1 - \beta t)$$

Pro kapaliny roztahující se nepravidelněji, změní se předešlá rovnice pro  $St$  podobně jako vzorec pro výpočet objemu tak, že vedle členů  $\beta t$  přiběříme ještě do jmenovatele zlomku členy stupňů vyšších. Jest tedy obecný vzorec pro výpočet specifické hmoty kapalin při teplotě  $t$  tento:

$$St = \frac{S_0}{1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3}$$

V dosavadních svých úvahách jsme přepokládali, že na kapalinu, která se zahřívá a tím roztahuje,



nepůsobí tlak. Když však jest kapalina podrobena tlaku, její objem se zmenšuje a specifická hmota se zvětšuje, takže tlak působí proti roztahování teplem. Účinek toho se projeví, že se kapaliny pod tlakem roztahují méně než bez tlaku. Vlivem tlaku zmenšuje se tedy koeficient roztažnosti kapalin. Užije-li se tlaků značně velikých, zmenšuje se dřívější nepravidelnost roztahování a kapaliny se roztahují téměř úměrně s teplotou.

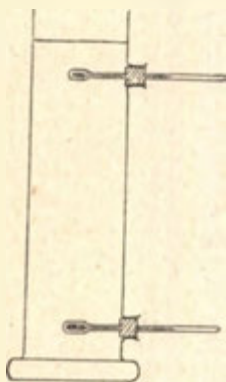
**41. Roztažnost vody.** Naprosto jinak než ostatní kapaliny mění svůj objem voda, když ji zahříváme. Již členové florencské „Akademie pokusné“ pozorovali, když se nádobka teploměrná naplní ledovou vodou místo rtutí tak, aby trochu vody sahalo do rourky, a když se volně zahřívá, že s počátku hladina vody klesá v rource a teprve, když se teploměr zahřeje nad určitou teplotu, začíná hladina stoupat. Že by se voda smršťovala jsouc zahřívána, považovali členové „Akademie“ za nemožné, soudíce obdobou dle látek ostatních. A proto si vysvětlovali zjev ten tak, že se sklo baňky teploměrné při teplotách blízko bodu mrazu roztahuje více než voda a proto že hladina vody klesá. Tento výklad byl ovšem mylný, ale byl považován za správný téměř 100 let.

Až roku 1772 objevil Jean André Deluc (čti Zan André Delyk), že se skutečně vyskytuje u vody nepravidelnost při roztahování teplem, která byla nazvána vodní anomalií<sup>33)</sup>. Spočívá v tom, že voda vzniknuvší rozpuštěním ledu, zahřívá-li se od 0° do 4° C se smršťuje, až při 4° C nabývá nejmenšího objemu, ale zato největší hustoty.

Názorně lze tento zjev ukázati a stanoviti teplotu nejhustší vody jednoduchým pokusem, který provedl r. 1805 hrabě Benjamin Rumford (čti

<sup>33)</sup> Řecké slovo *ανωμαλία* (čti anomalia) = nesrovnalost, nepravidelnost.

Ramförd) a r. 1807 samostatně berlínský profesor Jan Jiří Tralles. Do vyšší válcovité nádoby skleněné, která má dva postranní otvory (obr. 35). jeden při dně, druhý při horním okraji, vložíme dobře přilehajícími zátkami dva stejné teploměry tak, aby teploměrné nádobky zasahovaly dovnitř, ale stupnice byly od bodu mrazu vně nádoby. Nádobu naplníme pak studenou vodou asi desítistupňovou a změříme si teplotu na obou teploměrech. Pak celou nádobu stejnoměrně ochlazujeme buď uměle ledovým obalem, po případě v zimě za mrazivého dne vysta-

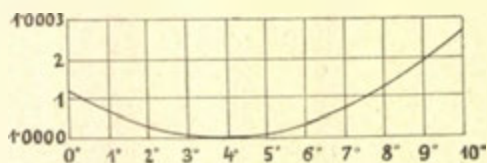


Obr. 35

víme ji mezi vnější a vnitřní okno na místě, kam nemá přístupu přímé sálání sluneční, a pozorujeme oba teploměry. Shledáme, že s počátku horní teploměr ukazuje stále teplotu vyšší než dolní, neboť voda, ochlazována jsouc, se zprvu smršťuje a jest tedy chladnější voda specificky těžší a proto klesá ke dnu, voda teplejší pak, jsouc specificky lehčí, vystupuje k povrchu a tam tedy jest teplota vyšší. Tento stav trvá však jen až potud, pokud nenabude všechna voda své největší hustoty. V tu dobu ukazují oba teploměry teplotu stejnou  $4^{\circ}\text{C}$  (přesněji  $398^{\circ}\text{C}$ ). Ochlazujeme-li pak

nádobu ještě dále, ukazuje horní teploměr teplotu nižší než voda čtyřstupňová, která se drží při dně, kdežto studenější voda třístupňová, dvoustupňová, jednostupňová až nulstupňová jest nad ní. A proto teplota horního teploměru jest nižší než dolního.

**42. Výsledky číselné.** Tuto zajímavou nepravidelnost v roztahování vody teplem zkoumalo a proměřovalo v XIX. století mnoho badatelů různými metodami, jednak dilatometricky, jednak měřením specifické hmoty při různých teplotách, jednak přesným měřením teplot ve vrstvách různě hustých. Výsledky vyplynuvší z těchto měření nejlépe se přehlednou



Obr. 36

z grafického znázornění, jež se provede tak, že se na osu vodorovnou nanášejí teploty, na svislou objem, který má voda při různých teplotách, při čemž nejmenší objem se zvolí za jednotkový. Tak vznikl obr. 36, který zobrazuje roztaživost vody v části nejzajímavější od 0° do 10° C. Od teploty bodu mrazu klesá čára až ke 4° C a pak zase volně stoupá téměř souměrně s původním poklesem. Mimo to uvedeme si ještě tabulku hodnot specifických hmot vody pro teploty od 0° do 10° C a tak zvaného specifického objemu, to jest objemu jednoho gramu vody při týchž teplotách. Specifické hmoty udány jsou v gramech připadajících na jednu tisícinu litru čili 1 mililitr a specifické objemy v mililitrech. V prvním sloupci tabulky jsou teploty.

t°	s g v 1ml	V 1g v ml
0	0.9998676	1.0001324
1	99266	00734
2	99680	00322
3	99922	00078
4	1.0000000	00000
5	0.9999918	00082
6	99680	00320
7	99293	00707
8	98759	01241
9	98084	01917
10	97271	02730

Graf i číselné hodnoty tabulek ukazují, že objemové změny vody jsou při teplotách poblíže 4° C poměrně nepatrné. Zahřátím z 0° na 4° zmenší se objem 1 litru vody jen o 132.4 miliontiny litru čili přibližně o 132 milimetry krychlové a specifická hmota vody se zvětší jen o 0.0001324 g.

**43. Význam anomalie vodní v přírodě.** Ačkoliv jsou tyto změny poměrně nepatrné, přece má vodní anomalie v přírodě značný význam a jest velikým dobrodiním Prozřetelnosti pro všecko tvorstvo. Představme si, co by nastalo, kdyby se voda smršťovala až k svému bodu tuhnutí a voda nulstupňová byla nejhustší a tedy i nejtěžší. Jakmile by uhořelo mrazivé počasí, prochladla by veškerá voda velmi rychle v řekách, jezerech i mořích až na bod mrazu a zamrzla by až do hloubky. I prameny a spodní vody by snadno zamrzly, neboť teplo, které přichází z nitra země, jest poměrně nepatrné, jak ještě později bude uvedeno v oddíle jednajícím o zdrojích tepla.

Tím by byl znemožněn v zimě všechen život živočišstva vodníhoho, ba i člověk by tím trpěl, ježto by si musil vodu opatrovat

jen uměle roztavováním ledu. Ledy, které by se vytvořily i při dně vodstva, neodstranilo by ani nastávající jaro. Vlivem záření slunečního by se sice povrchové vrstvy ledové rozpustily, ale teplejší voda, vzniklá rozpuštěním ledu, zůstávala by při povrchu a nestýkala by se s ledem, jenž by nedostával potřebného tepla k tání, jsa stále obklopen ledovou vodou. Ani půda by ve hloubce nerozmrzala a horní vrstvy byly by úplně neúrodnými bažinami, jsouce stále spodními vrstvami ochlazovány.

Vodní anomalie jest však příčinou, že chladne-li na podzim voda při povrchu, vrstvy nej hustší, tedy čtyřstupňové, klesnou nejnižší a udrží tam svou vyšší teplotu i tehdy, když již lehčí vrstvy povrchové zchladnou na bod mrazu a zamrznou. Hlubší vody nepromrznou tedy až ke dnu ani za velikých mrazů. Led na povrchu vody pak taje rychle, když se do něho oprou teplé paprsky jarního slunce. Jeho tání napomáhá i ta okolnost, že jakmile se vytvoří vrstva vody roztálé nad ledem, ohřívá se tato voda dále do  $4^{\circ}\text{C}$  a klesá dolů, čímž přivádí nižším ledovým vrstvám teplo a nová právě roztavením vzniklá voda nulstupňová stoupá vzhůru; tam se zase oteplí na  $4^{\circ}\text{C}$  a tak se to stále opakuje, až roztaje led všechen.

#### 44. O roztaznosti roztoků vodních.

Zcela podobně jako u čisté vody mění se nepravidelně objem s rostoucí teplotou i u vodních roztoků, to jest u vody, v níž jsou rozpuštěny některé soli. Voda taková nazývá se voda tvrdá. Takovou jest též voda mořská, obsahující v sobě rozpuštěno dosti kuchyňské soli. Bylo zajímavě vyšetřiti, jak se roztaznost vody změní, když se v ní rozpustí různá množství téže soli, po případě jaký vliv mají rozpuštěné soli různé. Zkoumání těchto zjevů prováděli různí badatelé v letech 40-tých až 70-tých minulého století a zjistili jednoduchou závislost. Rozpuštěním solí ve vodě snižuje se teplota největší hustoty vody a toto snížení jest přímo úměrno množství rozpuštěné soli.

Přidáváme-li tedy k určitému množství vody na příklad ke 100 g postupně kuchyňské soli po 1 g, sniží se přidá-



ním každého gramu teplota největší hustoty tohoto roztoku o  $2.4^{\circ}\text{C}$  pod  $4^{\circ}\text{C}$ . Závislost tu lze vyjádřit jednoduchým vzorcem. Označme teplotu, při níž nabývá roztok největší hustoty,  $t$  a počet přidávaných gramů soli do roztoku  $m$ , pak

$$t = 4^{\circ} - k \cdot m,$$

kdež  $k$  značí snížení způsobené přidáním 1 g soli, tedy pro sůl kuchyňskou jest  $k = 2.4^{\circ}\text{C}$ . Pro jiné soli má  $k$  hodnoty jiné, na příklad pro sodu  $2.93^{\circ}\text{C}$ , pro sůl Glauberovu (siran sodný)  $2.27^{\circ}\text{C}$ , pro potaš (uhličitan draselný)  $2.21^{\circ}\text{C}$ .

Také jiné přimíšeniny k vodě mění teplotu její největší hustoty podobně jako soli, ale smí se jich přidati jen malé množství, aby v roztoku převládala voda. Zvláštní změnu však působí přidání lihu, jak zjistil v letech 1892 až 3 badatel De Coppet (čti Kopé). Přidává-li se ho k čisté vodě nepatrné množství, zvýší se tím teplota největší hustoty toho roztoku o několik desetin stupně nad  $4^{\circ}\text{C}$  pak teprve začne klesati.

Ježto má jen čistá voda svůj nejmenší objem a největší hustotu při teplotě zcela určité za obvyklého tlaku ovzduší, bylo přirozeno, že tato voda nejhustší byla zvolena za základ soustavy jednotek hmotných v desetinné soustavě měr. Když na počátku velké francouzské revoluce r. 1790 byly zaváděny nové jednotky pro míry délkové, plošné, objemové i časové, byla též zavedena nová jednotka hmotná. Byla definována jako hmota jednoho krychlového decimetru čisté vody největší hustoty za normálního tlaku jedné atmosféry a nazvána 1 kilogram (1 kg). Jeho tisícím dílem jest 1 gram (1 g). Jest to hmota  $1\text{ cm}^3$  čisté vody nejhustší při tlaku 1 atmosféry. Poněvadž však by se těžko vážilo závažími zhotovenými z vody, která by musila býti v uzavřených nádobkách, nahrazeny byly tyto vodové jednotky hmotné závažími kovovými, kterých my užíváme vážíce. Ale náhrada ta, ač prováděna byla s největší bedlivostí, přece se zcela přesně nepovedla. O tom však nelze na tomto místě obšírně vykládati. O měrách a vahách bude podrobněji vyloženo v jiném svazku „Školy vševědné“.

Příklady ke cvičení. 17.) Oč se zvětší objem  $1 \text{ dm}^3$  rtuti, zahřeje-li se z  $0^\circ$  na  $10^\circ \text{ C}$ ? ( $\alpha = 0.000182$ ) [ $1.82 \text{ cm}^3$ ].

18.) Jak velikého objemu nabude  $1 \text{ kg}$  rtuti při teplotě  $30^\circ \text{ C}$ ? [ $73.953 \text{ cm}^3$ ].

19.) Ve skleněném dilatometru ( $\alpha = 0.000008$ ) pozorujeme roztahování rtuti. Na trubici jest naneseno měřítko, jehož každý dílek značí  $10 \text{ mm}^3$ . O kolik dílků stoupne hladina rtuti, jestliže zahřejeme v dilatometru  $200 \text{ cm}^3$  rtuti z  $0^\circ$  na  $80^\circ \text{ C}$ ? [ $139.1$ ].

20.) Čistý líh má při  $18^\circ \text{ C}$  specifickou hmotu  $0.791 \text{ g v cm}^3$ . Jak velká jest jeho specifická hmota při bodu mrazu, je-li  $\beta = 0.0011$ ? [ $0.8066 \text{ g v cm}^3$ ].

## Roztažnost a rozpínavost plynů teplem.

**45. Co jest roztažnost a rozpínavost plynů?** Již v 5. odstavci bylo uvedeno, že ve starověku byla již poznána roztažnost plynů teplem a byla tedy známa mnohem dříve, než roztažnost látek ostatních skupenství proto, poněvadž se plyny roztahují značně více než hmoty ostatních skupenství. O tom svědčí již pokusy uvedené v odstavcích 26, a 27. Ale nicméně trvalo to velmi dlouho, než byly zjištěny zákony, podle nichž se plyny při svém roztahování řídí. Mimo to jest u plynů důležitá též ta okolnost, že má na jejich stav vliv mnohem větší než u látek ostatních skupenství tlak, pod kterým plyn právě jest. Plyn neuzavřený nemá vůbec určitého objemu, nýbrž snaží se zaujmouti prostor co možno největší; říkáme, že se plyn rozpíná. Je-li však plyn v nádobě úplně uzavřený, tlačí sám na její stěny tlakem, jehož velikost, připadající na  $1 \text{ cm}^2$  uzavírajících stěn nazýváme napětí čili *expansí*<sup>34)</sup> plynu.

Zahřívá-li se plyn úplně uzavřený v nějaké nádobě, která se sama roztahuje velmi málo, takže se plyn roztahovati nemůže, zvyšuje se jeho napětí. Tuto změnu nazýváme u plynů *rozpínavost plynů*

<sup>34)</sup> Z latinského slovesa *expandere* = napínati odvozeno podstatné jméno *expansio* = napětí.

teplem. O roztažnosti teplem i rozpínavosti pojednáme podrobněji v odstavcích následujících.

Aby bylo možno přesně zjistiti a změřiti roztažnost plynů teplem, bylo nutno zařídití pozorování tak, aby se při celém pozorovaném ději neměnil tlak plynu, čili aby se pracovalo za stálého tlaku. Takové změny stavů plynových, při nichž se nemění tlak, byly nazvány změny isobarycké<sup>35)</sup>. Naopak zase má-li se určití, jak se mění napětí plynů, zahříváme-li je, bylo třeba udržovati stálý objem. Změny stavů plynových, při nichž se nemění objem, nazývají se změny isochorické<sup>36)</sup>.

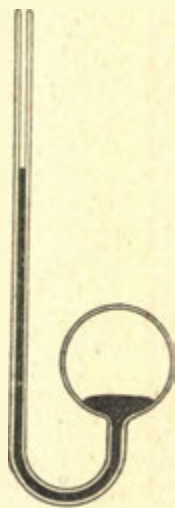
**46. Jak byla pozorována Amontem rozpínavost plynů teplem?** Jest zajímavé, že dříve pozorována a zkoumána byla rozpínavost vzduchu teplem než roztažnost. První zkoumal ji francouzský vynálezce a horlivý pěstitel fysiky, člen Akademie francouzské Vilém Amontons r. 1700 tímto způsobem. Uzávěřel rtuť určitý dosti veliký objem vzduchu ve skleněné kouli s připojenou trubicí skleněnou tak, že rtuť vyplňovala spodek kulové nádoby a část trubice, která byla nahoře otevřená (obr. 37). Vložil-li nádobu do vroucí vody, vzduch se roztahoval a vytlačoval rtuť do trubice, v níž rtuť vystupujíc působila stále větším tlakem na uzavřený vzduch a bránila dalšímu roztahování vzduchu, až nastal určitý rovnovážný stav, když se napětí uzavřeného plynu vyrovnalo s tlakem rtuti v trubici, na kterou ovšem otevřeným koncem působí též tlak vzduchu vnějšího. Amontons užil koule dosti veliké a trubice úzké, takže se objem vzduchu měnil jen o velmi málo a zahřátím se vzduch hlavně jen rozpínal.

Tímto zařízením zjistil Amontons, že napětí

<sup>35)</sup> Z řeckých slov *ἴσος* (čti isos) = stejný, rovný, a *βαρύς* (čti barys) = těžký.

<sup>36)</sup> Zase ze slova řeckého *ἴσος* a *χωρός* (čti chóros) = prostor.

vzduchu vzrostlo o celou třetinu, když kouli, ponořenou původně do ledové vody, vložil do nádoby s vodou vroucí, a mimo to, že napětí přibývá úměrně s rostoucí teplotou. Proto zařídil svůj přístroj jako teploměr, jímž dle výšky sloupce rtuťového v trubici měřil teplotu prostoru, do něhož byla vložena koule. Arciť bylo při tom nutno přihlížeti též k tomu, jaký jest právě barometrický tlak. Byl to tedy teploměr podobný nedokonalému teploměru Galileovu (viz odst.



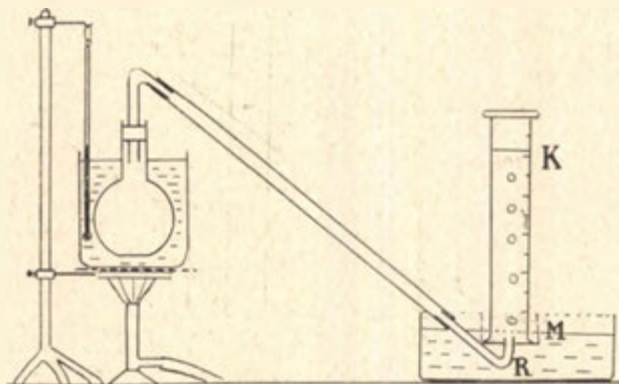
Obr. 37

5.), ale přece stal se vzorem nejdokonalejších teploměrů, kterých užívá věda soudobá.

**47. Zákon roztažnosti plynů.** Roztažnost plynů teplem při určitém stálém tlaku byla zkoumána koncem století XVIII. a počátkem XIX. několika badateli, z nichž hlavní zásluhu si zjednal profesor pařížské university Josef Ludvík Gay-Lussac (čti Gé-Lysak). Pozoroval r. 1802 roztažnost suchého vzduchu uzavřeného malou kapkou rtuťovou v kulové

nádobce skleněné mající průměr asi 1 cm, která podobně jako nádobka teploměrná vybíhala v rourku dlouhou asi  $\frac{1}{3}$  m světlosti asi 1 mm. Objem nádoby i rourky si Gay-Lussac předem přesně proměřil a pak ponořil nádobku nejdříve do tajícího ledu tak, aby rourka byla v poloze vodorovné, a zjistil objem uzavřeného vzduchu při bodě mrazu. Potom ponořil nádobku do vroucí vody a opět změřil, oč se objem zvětšil při vodorovné poloze rourky.

Gay-Lussac proměřil tímto způsobem mimo vzduch ještě celou řadu plynů, zvláště kyslík, dusík.



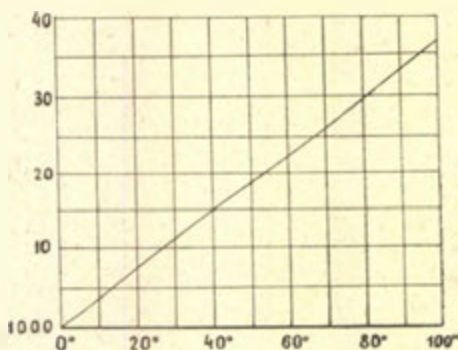
Obr. 38

vodík, kysličník uhličitý, čpavek a jiné, a shledal, že se všechny tyto plyny roztáhly zcela stejně, když je zahřál z bodu mrazu na bod varu.

Ještě podrobněji zkoumal roztažnost plynů v letech čtyřicátých století XIX. uvedený již badatel Regnault, jenž měřil, jak se mění objem plynů, rosteli postupně jeho teplota, a shledal, že pro všechny plyny zvětšuje se objem úměrně s teplotou. Mimo to zjistil, že plyny podrobené většímu tlaku roztahují se stejně jako plyny za tlaku nízkého.



Roztažnost plynu teplem lze pozorovati a měřiti tímto jednoduchým pokusem. Skleněnou baňku naplněnou plynem uzavřeme dobře přiléhající provrtnanou zátkou kaučukovou, jejímž otvorem jest prostrčena ohnutá rourka skleněná, kterou spojíme slabou hadicí kaučukovou s jinou zahnutou rourkou skleněnou (obr. 38). Konec této rourky *R* vložíme pod otvor můstku *M* ve skleněné vaničce, do níž jest nalito tolik vody, aby byl celý můstek pod hladinou vody. Na můstek postavíme dnem vzhůru nádobu kalibrovanou naplněnou vodou až po dno. Nádobu kalibro-



Obr. 39

vaná má dělení po  $\text{cm}^3$  a voda z ní nevyteče, poněvadž ji v nádobě drží tlak okolního vzduchu na hladinu vody v širší nádobě. Baňku s plynem upevníme na stojánek a vložíme do lázně s tajícím ledem, kterou zahříváme zespoda kahanem a jejíž teplotu měříme vloženým teploměrem. Když teplota stoupá, pozorujeme, že z rourky *R* vystupují bublinky plynové a vytlačují z kalibrované nádoby ponenáhlu vodu. Známe-li objem baňky, můžeme, měříce kolik přibýlo plynu v kalibrované nádobě, zjistiti, jak se zvětšuje objem zahřívaného plynu.

Průběh výsledků plynoucích z měření lze znázorniti zase graficky, nanášíme-li na vodorovnou osu

teploty a na svislou příslušné přírůstky objemové. Obdržíme velmi jednoduchou závislost znázorněnou přímkou (obr. 39.). Závislost tu lze zase vyjádřit jednoduchým vzorcem.

Nazveme objem plynu při teplotě bodu mrazu  $V_0$  a objem při teplotě  $t^\circ\text{C}$   $V_t$ . Zvětšení objemu způsobené zahřátím z  $0^\circ$  na  $t^\circ$   $V_t - V_0$  --  $V_0$  jest tolikrát větší, kolikrát jest větší původní objem  $V_0$  a kolikrát jest větší oteplení, tedy

$$V_t = V_0 + \gamma V_0 t.$$

Veličina  $\gamma$  (řecké písmeno  $\gamma$  čti gama) značí koeficient roztažnosti plynu a znamená jako při kapalinách zvětšení objemu jednoho  $\text{cm}^3$ , zahřeje-li se o  $1^\circ\text{C}$ . Vypočítá se tedy, jak veliký jest objem plynu při teplotě  $t^\circ$ , známe-li jeho objem při teplotě bodu mrazu, z rovnice:

$$V_t - V_0 = \gamma V_0 t.$$

Vyjmeme-li společného činitele  $V_0$  před závorku, obdržíme

$$V_t = V_0 (1 + \gamma t). \quad (7)$$

Tato rovnice má zcela obdobný tvar, jaký jsme našli již pro objemovou roztažnost látek tuhých i kapalných (viz vzorec (3)). Ale veliký rozdíl jest v platnosti těchto vzorců. Kdežto u látek tuhých a kapalin platí ten vzorec pouze v malém rozsahu teplotním, platí u plynů neomezeně. A druhý podstatný rozdíl jest v platnosti koeficientu roztažnosti. Kdežto kapaliny a látky tuhé mají každá jinou hodnotu koeficientu roztažnosti objemové, který jsme značili  $\beta$ , mají všechny plyny hodnotu koeficientu  $\gamma$  touž. Gay-Lussac našel pro ní hodnotu 0.00375, která jest však poněkud větší než správná hodnota 0.003665, kterou přesně určil Regnault. Jest tedy pro všechny plyny

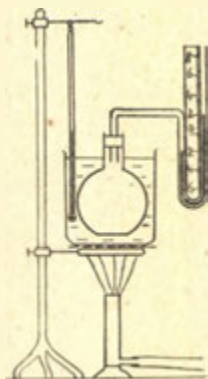
$$\gamma = 0.003665.$$

a nezávisí na tlaku plynu. Místo této hodnoty vyjádřené zlomkem desetinným užívá se též zhusta hodnoty

$$\gamma = \frac{1}{273},$$

jež se téměř přesně rovná uvedenému zlomku desetinnému. Zahřeje-li se kterýkoli plyn o  $1^{\circ}\text{C}$  při stálém tlaku, zvětší se jeho objem o  $\frac{1}{273}$  toho objemu, který měl za teploty bodu mrazu.

Oteplíme-li tedy 1 l čili  $1000\text{ cm}^3$  jakéhokoliv plynu z teploty bodu mrazu na bod varu, zvětší svůj objem o  $\frac{100}{273}$  l čili o  $366.5\text{ cm}^3$ , tedy o více než jednu třetinu původního objemu. Byla tudíž hodnota, kterou našel pro objemové zvětšení vzduchu A m o n t o s pouze hodnotou přibližnou, ale blízkou hodnotě správné.



Obr. 40

Poněvadž G a y - L u s s a c byl první, který správně našel zákon, dle něhož se plyny teplem roztahují při stálém tlaku, nazývá se zákon, který jsme právě poznali, zákon Gay-Lussacův o roztážitelnosti plynů teplem.

**48. Jak pozorujeme rozpínavost plynů teplem?**  
Zhruba lze ji pozorovati jednoduchým pokusem, podobným pokusu znázorněnému obrazcem 38. Baňku se suchým plynem uzavřeme opět zátkou provrtanou, jejímž otvorem prochází jednoduchý otevřený m a -

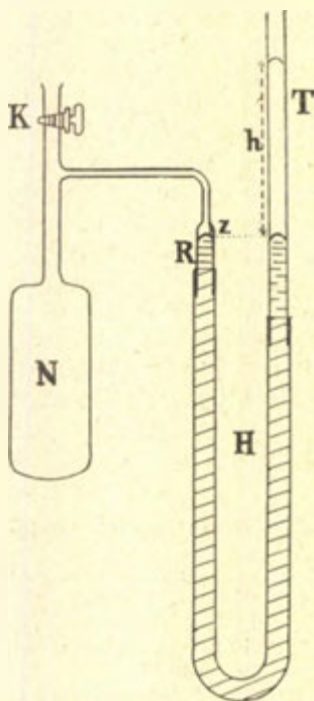
**n o m e t r**, zhotovený z tenké skleněné rourky (obr. 40). K manometru jest připojena stupnice milimetrová, na níž jest možno změřiti polohu hladin rtuťových v obou ramenech manometrických. Baňku ochladíme nejdříve tajícím ledem a pak do ní vložíme a dobře drátem neb nití přivážeme zátku s manometrem, v jehož obou ramenech ustálí se hladiny rtuť při počátku měření ve stejné výši. Když zahříváme ledovou vodu, pozorujeme, jak stoupá hladina v otevřeném rameni manometrické rourky a klesá v rameni spojeném s baňkou. Příčinou toho jest vzrůst napětí uzavřeného plynu, když jeho teplota stoupá a objem nemůže se zvětšovati až na malé zvětšení, způsobené roztažením skla nádoby a poklesem rtuť v levé části rourky. Obě ty změny jsou však nepatrné, takže není třeba k nim přihlížeti při tomto měření.

Sledujeme-li, jak napětí plynu přibývá s rostoucí teplotou, přesvědčíme se, že roste úměrně se zahřátím. Nanášíme-li si zase na osu vodorovnou teploty a na osu svislou napětí uzavřeného plynu a spojíme-li jednotlivé body takto vzniklé, dostaneme úplně obdobnou přímku jako jest narýsována na obr. 39 při grafickém znázornění roztažnosti plynů teplem.

#### 49. Zákon rozpínavosti plynů teplem.

Přesnější měření rozpínavosti a odvození zákonu lze provésti přístrojem znázorněným obr. 41. Nádoba **N**, v níž jest uzavřen suchý plyn, jehož rozpínavost studujeme, má tvar válcovitý a přechází do tenké trubice opatřené dvojím vyústěním. Jedno končí svisle vzhůru do vzduchu a opatřeno jest zabroušeným provrtaným kohoutkem **K** dobře přiléhajícím. Otvorem tím se nádoba plní plynem a spojuje se vzduchem vnějším, aby se vyrovnal tlak plynu v nádobě s tlakem vnějším. Druhé vyústění přechází v trubici **R** zahnutou v pravém úhlu a na konci poněkud rozšířenou. K tomuto konci jest pevně připojena silná hadice kaučuková **H**, naplněná rtuť a volně dolů visící, která pak druhým koncem jest pevně nasazena na svislé rovné trubici. Světlost této trubice jest právě tak veliká jako světlost rozšířeného konce rourky **R**. Celé toto zařízení jest připevněno na těžkém svislém stojaně, který

není v nákrese vyznačen a který jest opatřen délkovou stupnicí milimetrovou dobře znatelnou. Levé rameno s nádobou N bývá pevné, pravé lze posouvat po stojaně podél stupnice. To jest proto, abychom mohli naříditi v levé trubici vždy hladinu rtuti tak, aby sahala až ke značce z, skleněnému hrotu vtavenému do trubice. Sahá-li hladina až k této značce, má plyn, uzavřený v nádobce N s jedné strany kohoutkem, s druhé rtutí, určitý ob-



Obr. 41

je m, který nutno předem si změřiti a který se při celém pozorování musí zachovati stále týž, aby se jen měnil tlak plynu, čili aby pozorované změny stavů plynových byly isochorické.

Za počáteční stav plynu zvolíme opět stav při teplotě bodu mrazu. Abychom plyn na tuto teplotu uvedli, obklopíme nádobu N větší nádobou s tajícím ledem nebo sně-



hem, a když se teploty za chvíli vyrovnají, nařídíme za otevřeného kohoutku **K** hladinu rtuťovou ke značce **z**. Při tom bude v obou ramenech hladina rtuťová ve stejné výšce, kterou na stupnici zjistíme; působit na rtuť s obou stran stejný tlak. Pozorování přesná nedějí se pouhým okem přímo na stupnici, nýbrž hledíme z určité dosti veliké vzdálenosti malým pozorovacím dalekohledem, na stupnici přístroje, který jest postaven blízko okna, aby byla stupnice i trubice náležitě osvětlena, po případě se osvětlí světlem umělým.

Když se stav hladin ustálí, uzavře se kohout **K** a plyn takto uzavřený má počáteční tlak **Po** rovný tlaku zevnějšího vzduchu, který se změří na správném tlakoměru rtuťovém. Pak se začne nádoba **N** zahřívati vodní lázní a měří se přesným teploměrem, jak stoupá teplota lázně a tím i teplota uzavřeného plynu. Zahřívati jest nutno pomalu a lázeň vždy dobře promíchati, než teplotu měříme. V trubici **R** bude hladina rtuti klesati, ježto rozpínající se zahříváný plyn ji stlačuje. Abychom zase uzavřeli plyn do téhož objemu, jako měl při bodu mrazu, zdviháme trubici **T** tak dlouho, až se hladina v **R** zase dotkne právě značky **z**. Tím však stoupne hladina rtuti v **T** o určitý počet milimetrů **h** nad hladinou v trubici levé. Pak jest napětí uzavřeného plynu větší než tlak zevnějšího vzduchu o tlak sloupceku rtuťového vysokého právě tolik milimetrů. Jest tedy při teplotě  $t^{\circ}\text{C}$  napětí uzavřeného vzduchu

$$P_t = P_o + h.$$

Při měření nejpřesnějším přihlíží se ještě k tomu, že se objem skleněné nádoby **N** i trubice poněkud zvětší zahříváním a změna ta se výpočtem vystihne.

Změříme-li takto napětí uzavřeného plynu při několika teplotách, přesvědčíme se, že změna tlaková  $P_t - P_o$  roste úměrně s rostoucí teplotou. Tomu též odpovídá přímočarý graf, který si zjednáme, znázorníme-li zase výsledky tohoto měření do dvou os k sobě kolmých. Závislost tuto lze opět vyjádřiti jednoduchým vzorcem:

$$P_t - P_o = \gamma' P_o t,$$

kdež **t** značí, o kolik stupňů byla teplota plynu zvýšena nad bod mrazu.  $\gamma'$  nazývá se koeficient rozpínavosti příslušného plynu. Značí zvětšení tlakové plynu, když byl zahřát o  $1^{\circ}\text{C}$  a měl-li při teplotě bodu mrazu napětí rovné tlaku rtuťového sloupce vysokého 1 cm.

Jest zásluhou Gay-Lussacovou, že poznal, že tento koeficient rozpínavosti jest pro všechny plyny stejný a nezávisí ani na tlaku ani na teplotě. A ještě zajímavější jest, že i číselná

jeho hodnota jest pro všechny plyny táž jako hodnota koeficientu roztažnosti, to jest

$$\gamma = 0.003665 \cdot \frac{1}{273}^{27)}$$

jak vyplynula z pozdějších přesných měření. Proto nebudeme v dalším již rozlišovati těchto dvou koeficientů a budeme je oba označovati touž veličinou  $\gamma$ .

Napětí plynu  $P_t$  při teplotě  $t^\circ\text{C}$  můžeme vypočítati, známe-li napětí  $P_o$  při teplotě bodu mrazu, z této jednoduche rovnice, plynoucí z horního vztahu

$$P_t = P_o + \gamma P_o t;$$

vytkneme-li ještě společného činitele  $P_o$  na pravé straně, uvedeme ji na obdobný tvar jako má rovnice (7) pro roztažnost plynovou:

$$P_t = P_o (1 + \gamma t). \quad (8)$$

Tato rovnice vystihuje zákon rozpínavosti plynové zvaný též zákon Gay-Lussacův.

## 50. Absolutní teplota.

Oba zákony pro roztažnost i rozpínavost plynů lze uvést na tvar ještě jednodušší, když si zavedeme jiný způsob měření teploty.

Již v dřívějších dobách se objevovala otázka, která jest nejnižší možná teplota vůbec. Fahrenheit se domníval, že jest to teplota určité směsi ledu, vody a salmiaku, kterou si zvolil za nulový bod své stupnice teploměrné, jak jsme již poznali v odstavci 12. Názor ten byl ovšem mylný, možné jsou teploty ještě daleko nižší. Rovněž mylně vypočítal později A. Crawford (čti Krauford), že nejnižší teplota jest asi  $300^\circ$  pod bodem mrazu.

Zákony Gay-Lussacovy však dávají samy možnost určití tento nejnižší možný stupeň teploty, když do nich zavedeme za koeficient roztažnosti hodnotu

$$\gamma = \frac{1}{273}$$

a upravíme je vhodně. Z rovnice (7) obdržíme:

$$V_t = V_o \left(1 + \frac{1}{273} t\right).$$

Uvedeme-li výraz v závorce na jmenovatele 273, vyjde

$$V_t = V_o \frac{273+t}{273}$$

<sup>27)</sup> Znaménko rovnosti s tečkou čte se „rovná se přibližně“.

Součet v čitateli  $273+t$  může mít jen tehdy fyzikální význam, když oba sčítanci  $273$  i  $t$  mají stejné pojmenování. Protože  $t$  značí teplotu měřenou ve stupních, jest přirozeno považovati  $273$  též za teplotu měřenou ve stupních. Pak znamená součet  $273^{\circ}+t^{\circ}$  teplotu odpovídající teplotě  $t$  dle stupnice Celsiovy, ale měřenou od počátečního bodu nulového, který leží o  $273^{\circ}$  pod bodem mrazu. Tuto teplotu nazýváme absolutní bod nulový a teplotu  $273^{\circ}+t^{\circ}$ , kterou značíme písmenem  $T^{\circ}$  nazýváme teplotu absolutní. Jest tedy

$$T^{\circ} = 273^{\circ} + t^{\circ} \quad (9)$$

teplota měřená v týchž stupních, jaké má teploměr Celsiův ale počátkem její stupnice není bod mrazu, nýbrž stupeň, který můžeme označiti vzhledem k bodu mrazu stupněm  $-273$ -tím čili stupněm ležícím o  $273^{\circ}$  pod bodem mrazu. Pak i jmenovatel  $273$  zlomku v upravené rovnici pro  $Vt$  značí teplotu a to teplotu bodu mrazu měřenou od absolutního bodu nulového. Označíme ji souhlasně s rovnicí (9) značkou  $T_0$ , takže

$$T_0 = 273$$

Pak tedy

$$Vt = V_0 \cdot \frac{T}{T_0} \quad (10)$$

Protože veličiny  $V_0$  a  $T_0$  jsou stálé pro určité množství plynu, lze zákon o roztažnosti dle rovnice (10) vyjádřiti větou:

Objem plynu jest při stálém tlaku přímo úměrný absolutní teplotě.

Zcela podobně lze upravit též zákon pro rozpínavost plynů (vzorec 8) na tvar

$$Pt = P_0 \cdot \frac{T}{T_0}$$

V něm jsou zase veličiny  $P_0$  a  $T_0$  stálé, proto lze zákon rozpínavosti vysloviti větou:

Tlak plynu jest při stálém objemu přímo úměrný absolutní teplotě.

Tím jsou oba ty zákony tak důležité pro plyny vyjádřeny obdobným tvarem co nejjednodušším. Později ještě seznáme, jak se postupně vědečtí badatelé přibližovali teplotě absolutního bodu nulového, kterého bylo již téměř dosaženo v dobách nejnovějších.

Příklady ke cvičení. 21.)  $1 \text{ m}^3$  vzduchu byl zahřát z bodu mrazu na  $35^{\circ}\text{C}$  při stálém tlaku; oč se zvětšil jeho objem? [ $0.12821 \text{ m}^3$ ].

22.) Jak veliký objem má při teplotě  $50^{\circ}\text{C}$  plyn, který při teplotě  $-20^{\circ}\text{C}$  právě zaujímal  $1 \text{ l}$  a byl zahřát isobarycky? [ $1.25641 \text{ l}$ ].

23.) Oč vzrostlo napětí plynu, který byl isochoricky zahřát z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$  a měl původní napětí 720 mm sloupce rtuťového? [263·73 mm].

24.) Jak veliké jest napětí plynu, který jsme isochoricky zahřáli z absolutní teploty  $250^{\circ}$  na  $350^{\circ}$ , měl-li napětí 1 atmosféry při  $250^{\circ}$  absol.? [1·4 atm].

25.) Při které teplotě nabude plyn trojnásobného objemu, než měl při bodu mrazu, byl-li zahřát isobarycky? [ $546^{\circ}\text{C}$ ].

26.) Při které teplotě nabude plyn tlaku polovičního, než má při teplotě  $31^{\circ}\text{C}$ , ochlazuje-li se isochoricky? [ $-121^{\circ}\text{C}$ ].

### Stavová rovnice plynová.

**51. Zákon Boyle-Mariotteův.** Stavovou rovnicí nějaké látky nazýváme závislost, která vyjadřuje, jak spolu souvisí veličiny, které udávají fyzikální stav látky. Jsou to objem látky, teplota a tlak. Poněvadž látky skupenství tuhého a kapalného jen velmi málo mění svůj objem vlivem tlaku, který na ně působí, čili jinými slovy jsou velmi málo stlačitelné, lze za stavové rovnice pro ně považovati rovnice, vyjadřující, jak se mění jejich objem s teplotou. Jsou to rovnice vyjadřující jejich roztažnost objemovou, které jsme poznali v odstavcích 34. a 39. U plynů však se objem velmi mnoho mění tlakem i při stálé teplotě, proto musí stavová rovnice plynů obsahovati všechny ty tři veličiny.

Nežli si obecnou stavovou rovnici vyvineme, musíme znáti, jak závisí objem plynu na tlaku. Tuto závislost zkoumal r. 1660 slavný anglický badatel nám již známý Robert Boyle (čti Bajl) tímto způsobem. V kratším zataveném rameni trubice ohnuté ve tvar **U**, jejíž dlouhé rameno jest otevřeno a opatřeno nálevkou (obr. 42), uzavřel určitý objem plynu **V** sloupčkem rtuťovým. Při začátku měření byly hladiny rtuti v obou ramenech stejně vysoko, takže plyn uzavřený jest podržen téměř tlaku ovzduší **b**, který působí na hladinu rtuti v otevřené trubici a který lze změřiti dobrým tlakoměrem. Přilévá-li se do dlouhého ramene rtuti, zvyšuje se tlak, kterému podléhá uzavřený vzduch, jehož objem se tím zmenšuje, a proto stoupá rtuť i v rameni uzavřeném. Doleže-li se tolik rtuti, až se objem uzavřeného

vzduchu zmenší na polovinu  $\frac{V}{2}$ , jest hladina rtuti v rameni otevřeném o **b** cm výše než v rameni uzavřeném. To znamená, že uzavřený plyn jest tlačěn původním tlakem ovzduší, k němuž přibývá ještě tlak sloupce rtuťového stejně vysokého jako odpovídá tlaku zevnějšího vzduchu. Jest tedy uzavřený plyn pod tlakem dvoj-

násobným, když se jeho objem zmenšil na polovičku. Podobně lze se přesvědčiti, že se objem plynu zmenší na třetinu, zvětší-li se tlak na hodnotu třikrát větší, atd.

Aby zjistil, zdali obdobná závislost platí i pro vzduch i tehdy, když se jeho objem zvětšuje, provedl Boyle další zkoušky s trubicí skleněnou, dlouhou asi 1 m, opatřenou na jednom konci kohoutkem, kterou nořil do širší nádoby se rtutí (obr. 43). Při ponořování do rtuti

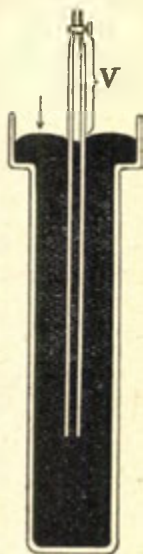


Obr. 42

jest nutno nechatí kohoutek otevřený, aby mohl unikati vzduch vytlačovaný rtutí. Když se pak kohoutek při určité poloze roury uzavře, zůstane v rourě uzavřený objem **V** vzduchu, který má právě tak veliký tlak jako vzduch vnější, tedy tlak barometrický **b**. Povytahuje-li se trubice ze rtuti, zvětšuje se objem uzavřeného vzduchu, ale zároveň stoupá poněkud rtuť v trubici. Zdvihne-li se trubice tak vysoko, aby se objem uzavřeného vzduchu zdvojnásobil, stoupne rtuť o polovinu výšky sloupce rtuťo-



vého v tlakoměru ( $\frac{b}{2}$ ) nad hladinu rtuti v širší nádobě. Jak veliké napětí má nyní uzavřený vzduch, určíme, uvážíme-li, že proti tlaku barometrickému  $b$ , tlačícímu na hladinu rtuti v otevřené nádobě, působí v trubici jednak tlak uzavřeného vzduchu, jednak sloupec rtuťový poloviční výšky  $\frac{b}{2}$ , než má sloupec rtuti v tlakoměru. Poněvadž tlak v trubici drží rovnováhu tlaku zevnějšímu, jest pa-



Obr. 43

trno, že uzavřený plyn má tak veliké napětí, aby spolu s tlakem rtuťového sloupce vysokého  $\frac{b}{2}$  vyrovnal se tlaku  $b$  vzduchu zevnějšího. Jest tedy napětí uzavřeného vzduchu, když jeho objem jest dvojnásobný, rovno polovičnímu tlaku, který vzduch měl při objemu původním. Podobně se lze přesvědčiti, že napětí plynu klesne na třetinu původního tlaku, když se jeho objem ztrojnásobí atd. Při všech uvedených měřeních nesmí se však změnití teplota plynu uzavřeného.

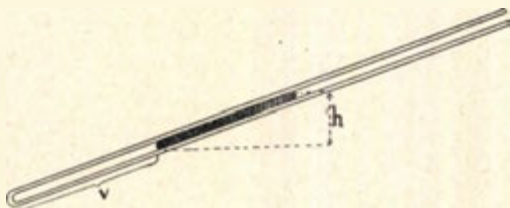
Z těchto všech zkušeností plyne pak zákon, který po svém objeviteli nazývá se zákon Boyleův: Objem

vzduchu jest při stálé teplotě nepřímo úměrný tlaku plynovému.

Jinak lze jej vysloviti též větou: Při stálé teplotě jest součin objemu a tlaku určitého množství vzduchu veličinou stálou. Označíme-li objem  $V$ , tlak  $P$ , jest

$P \cdot V = \text{stálé veličině.}$

O platnosti této rovnice lze se jednoduše též přesvědčiti způsobem, který zavedl profesor fysiky na universitě v Mariboru František Melde ve 2. polovině stol. XIX. Do úzké trubice skleněné mající průřez všude stejný uzavřeme určité množství vzduchu sloupцем rtuti asi 20 až 40 cm dlouhým. Leží-li trubice vodorovně, má uzavřený vzduch napětí rovné tlaku vzduchu vnějšího. Je-li v poloze svislé nebo šikmé otvorem vzhůru (obr. 44), jest vzduch v trubici tlačěn tlakem zevnějším zvět-



Obr. 44

šeným o tlak sloupce rtuťového v trubici. Má-li však trubice polohu svislou nebo šikmou otvorem dolů, jest tlak uzavřeného vzduchu zmenšen o tlak sloupce rtuťového v trubici. Tlak ten ustanovíme, když si změříme výškovou odlehlost  $h$  obou okrajů sloupce rtuťového nejlépe měřítkem milimetrovým na zrcadlícím skle, abychom hleděli správně vodorovným směrem přes okraje rtuťové na měřítko. Přičteme-li, po případě odečteme-li tuto výškovou odlehlost  $h$  od barometrického tlaku  $b$ , vyjádřeného též v milimetrech sloupce rtuťového, obdržíme napětí uzavřeného vzduchu

$P = b \pm h$

Znaménko  $+$  platí při poloze otvorem vzhůru, — při poloze otvorem dolů. Ježto má trubice stejný průřez, jest objem uzavřeného vzduchu vždy úměrný délce vzduchového sloupce  $v$ , kterou zase změříme zrcadlovým měřítkem přiloženým podél trubice. Znásobíme-li pak vždy příslušné k sobě velikosti tlaku a objemu vzduchu uzavřeného, obdržíme stálé číslo. Ale zase jest při všech těchto

měřeních dbáti toho, aby se teplota vzduchu uzavřeného nezměnila, čili aby to byly změny isothermické.<sup>38)</sup>

Zákon o vzájemné závislosti tlaku a objemu vzduchu našel samostatně též převor kláštera, pozdější člen francouzské akademie Edme Mariotte (čti Mariot), r. 1676. Jeho správnost a platnost i pro jiné plyny zkoušeli v pozdějších dobách četní badatelé a zjistili, že platí zhruba pro všechny plyny, ale při přesném proměřování objemů zvláště za tlaků značně větších ukazují se u většiny plynů odchylky. Zvláště Regnault dokázal, že většina plynů jest více stlačitelná, než by plynulo dle zákona Boyle-Mariotteova, vodík pak že jest poněkud méně stlačitelný. Ale odchylky ty jsou při obyčejných tlacích neveliké, takže lze je zjistiti jen při nejpřesnějším měření. A proto pro běžné potřeby vyhovuje zákon Boyle-Mariotteův úplně.

## 52. Spojený zákon Boyle-Mariotte-Gay-Lussacův.

Gay-Lussacův zákon vyjadřuje závislost objemu plynového na teplotě, po případě tlaku na teplotě. Zákon Boyle-Mariotteův pak udává závislost objemu a tlaku při nezměněné teplotě. Spojíme-li oba ty zákony spolu, obdržíme zákon udávající závislost objemu, tlaku i teploty čili žádanou rovnici stavovou.

Mějme určité množství plynu za tlaku 1 atmosféry ( $P_0$ ) a teploty bodu mrazu  $0^\circ\text{C}$ ; jeho objem budiž  $V_0$ . Předcházející stálý tlak, zahřejeme plyn na  $t^0$  (změna isobarická). Tím se objem zvětší na  $V'$ , který lze vypočítati dle zákona Gay-Lussacova ze vzorce (7):

$$V' = V_0(1 + \gamma t).$$

Pak udržujeme stálou teplotu  $t^0$  zvětšujeme tlak plynu na  $P$  (změna isothermická), čímž se objem zmenší na  $V$ . Dle zákonu Boyle-Mariotteova jest součin tlaku a objemu veličinou stálou, to znamená, že součin  $P \cdot V$  po provedené změně isothermické musí se rovnati součinu  $P_0 \cdot V'$  před změnou, tedy

$$P \cdot V = P_0 \cdot V'$$

Za  $V'$  dosadíme hodnotu plynoucí z předcházející rovnice. Obdržíme rovnici:

$$PV = P_0V_0(1 + \gamma t), \quad (11)$$

kteřá se nazývá spojený zákon Boyle-Mariotte-Gay-Lussacův a jest stavovou rovnici pro plyny. Udává, jak spolu souvisí tlak  $P$ , objem  $V$  a teplota  $t$  plynu, když plyn přešel ze základního stavu při teplotě bodu mrazu a tlaku 1 atmosféry do nového libovolného stavu určeného tlakem  $P$ , objemem  $V$  a teplotou  $t$ .

<sup>38)</sup> Z řeckých slov *ισος* (čti isos) = stejný, a *θερμός* (čti thermos) = teplý.

Zavedeme-li i do tohoto zákona místo teploty  $t$  měřené od bodu mrazu teplotu absolutní  $T$ , nabude tato rovnice (11) tvaru ještě přehlednějšího a souměrnějšího. Dosadíme zase  $\gamma = \frac{1}{273}$  a upravme členy v závorce na společného jmenovatele; obdržíme:

$$P V = P_0 V_0 \frac{273+t}{273}$$

Nahradíme-li jako v odstavci 49. součet  $273 + t$  veličinou  $T$  a číslo 273 ve jmenovateli veličinou  $T_0$ , plyne

$$P \cdot V = P_0 \cdot V_0 \cdot \frac{T}{T_0}$$

Dělíme-li ještě obě strany rovnice absolutní teplotou  $T$ , obdržíme:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \quad (12)$$

Všechny tři veličiny, které obsahuje pravá strana této rovnice, jsou pro určité množství plynu veličiny stálé. Proto jest možno celou pravou stranu rovnice (12) nahraditi jedinou veličinou, která se značí písmenou  $R$  a nazývá se konstanta plynová.

Pak tedy lze psáti stavovou rovnici:

$$P \cdot V = R \cdot T \quad (13)$$

### 53. Jak závisí specifická hmota plynu na tlaku a teplotě?

Poněvadž se změnou tlaku a teploty ani u plynů nezmění jejich celková hmota, musí se změnami těmi měniti jejich hmota specifická, kterou u plynů značíváme řeckým písmenem  $\sigma$  (čti sigma, vyslovuje se jako naše české s). Zvolme za základní hodnotu hmoty specifické hodnotu, kterou má plyn, když jest za bodu mrazu ( $0^\circ \text{C}$ ) pod tlakem 1 atmosféry. Tuto hodnotu označme  $\sigma_0$  a specifickou hmotu téhož plynu při teplotě  $t^0$  a tlaku  $P$  označme  $\sigma$ . Abychom našli, jak se mění změnou stavu plynového ze stavu základního čili normálního do nového tlaku  $P$  a nové teploty  $t$ , uvažme, že hmotu  $M$  za obou stavů vypočteme součinem z objemu a specifické hmoty, tedy

$$M = V_0 \sigma_0 = V \sigma,$$

takže

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\sigma_0}{\sigma}$$

‘Vypočteme si tento poměr objemů z obou odvozených tvarů rovnice stavové. Z rovnice (11) plyne:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{P_0}{P} (1 + \gamma t)$$

a z rovnice (12):

$$\frac{V}{V_0} = \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0}$$

Nahradíme-li poměr objemů poměrem specifických hmot, obdržíme:

$$\frac{\sigma_0}{\sigma} = \frac{P_0}{P} \cdot (1 + \gamma t) = \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0}$$

Z těchto vztahů lze odvoditi vzorec, který nám udá, jak se vypočítá specifická hmotu plynu  $\sigma$  za poměrů změn-  
ných, známe-li specifickou hmotu  $\sigma_0$  za poměrů normál-  
ních. Jest totiž

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{1 + \gamma t} \quad (14)$$

nebo

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad (14')$$

Vidíme z těchto vztahů, že specifická hmotu plynu roste úměrně s tlakem a nepřímo jest úměrná absolutní teplotě.

Provedeme-li též výpočet pro jiný plyn, jenž má za nor-  
málního stavu specifickou hmotu  $\sigma'_0$  a za stavu změn-  
ného stejně jako u plynu předešlého specifickou hmotu  
 $\sigma'$  jest obdobně, poněvadž stavová rovnice platí stejně pro  
všecky plyny:

$$\sigma' = \sigma'_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{1 + \gamma t} = \sigma'_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

Dělíme-li spolu ty rovnice, z nichž každá platí pro jiný  
plyn, obdržíme vztah:

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{\sigma'_0}{\sigma_0}$$

Z něho poznáváme, že poměr specifických hmot  
dvou plynů, které mají též tlak a touž  
teplotu, jest veličinou stálou, která se  
nemění ani změnou tlakovou ani změnou  
teploty.

Proto nazýváme poměr specifické hmoty ply-  
nu ke specifické hmotě jiného plynu zvol-  
leného za základní plyn, jímž bývá vzduch té-  
hož tlaku a téže teploty, **hutnota plynu**. Jest to  
veličina nepojmenovaná, pro každý plyn stálá, nezávislá  
ani na tlaku ani na teplotě. Značíme-li ji **h**, jest



$$h = \frac{\sigma_0}{\sigma_0} \quad (15)$$

Pro vzduch jako základní plyn jest  $h=1$ , pro kyslík 1.1, dusík 0.97, vodík 0.07. Výhoda veličiny hutnoty jest též v tom, že jest vyjádřena čísly přehlednějšími než specifická hmota plynů, která jest velmi malá a závisí na tlaku i teplotě. Při teplotě bodu mrazu a při tlaku jedné atmosféry jsou specifické hmoty:

vzduchu	. . . .	0.001293 g v cm <sup>3</sup>
kyslíku	. . . .	0.001429 g v cm <sup>3</sup>
dusíku	. . . .	0.001257 g v cm <sup>3</sup>
vodíku	. . . .	0.000090 g v cm <sup>3</sup> .

**54. Jak se počítá hodnota plynové konstanty?** Jakou hodnotu má plynová konstanta  $R$ , záleží na tom, jak veliké množství plynu zvolíme, abychom na něm zkoumali změny stavů jeho, a jaký plyn to jest. Mějme  $M$  gramů na příklad vzduchu, jenž při teplotě bodu mrazu  $T_0$  a při tlaku 1 atmosféry  $P_0$  zaujímá objem  $V_0$  a má specifickou hmotu  $\sigma_0$ . Pak jest

$$M = V_0 \sigma_0,$$

Vypočteme-li z této rovnice

$$V_0 = \frac{M}{\sigma_0}$$

a dosadíme-li do výrazu pro plynovou konstantu, obdržíme hodnotu:

$$R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_0 M}{\sigma_0 T_0} \quad (16)$$

Máme-li stejné množství  $M$  jiného plynu, jehož specifická hmota jest  $\sigma'_0$  za téhož tlaku a téže teploty, má pro něj plynová konstanta jinou hodnotu

$$R' = \frac{P_0 M}{\sigma'_0 T_0}$$

Vypočteme si poměr obou těchto hodnot:

$$R : R' = \frac{P_0 M}{\sigma_0 T} : \frac{P_0 M}{\sigma'_0 T}$$

Krátíme-li veličiny  $P_0$ ,  $M$  a  $T_0$  ve třetím a čtvrtém členu této úměry, obdržíme:

$$R : R' = \frac{1}{\sigma_0} : \frac{1}{\sigma'_0}$$

Odstraníme-li na pravé straně jmenovatele obou zlomků tím, že násobíme třetí a čtvrtý člen úměry součinem  $\sigma'_0 \cdot \sigma_0$ , obdržíme:

$$R : R' = \sigma'_0 : \sigma_0.$$

Poměr specifických hmot můžeme však nahraditi hutnotou, jestliže jeden z plynů, které přirovnáváme, jest vzduch, nebo poměrem hutnot, jsou-li to oba plyny jiné. Jest tedy:

$$R : R' = h'$$

(17)

$$\text{nebo } R : R' = h' : h$$

Stačí tedy vypočítati plynovou konstantu jen pro jeden plyn zvolený za základní a pro stejné množství jiného plynu lze ji pak počítati dle rov. (17).

**55. Volba základního plynu.** Jakožto základní plyn bylo by možno voliti suchý vzduch. Ale se zřetelem k tomu, že vzduch jest směs plynová, která vedle hlavních součástí kyslíku a dusíku obsahuje ještě jiné plyny vzácné, volivá se za plyn základní zpravidla čistý kyslík, který slouží též chemikům jako základní látka, s jejíž hmotou molekulovou přirovnávají hmoty molekulární jiných látek, tuhých, kapalných i plyných.

Dle názorů o složení hmoty, které zavedl do přírodních věd zakladatel atomové teorie John Dalton (čti Džon Daltn) (1766—1844), profesor v Manchesteru (čti Menšestru), skládají se všechny hmoty z drobných částic, tak zvaných atomů<sup>39)</sup>, kterých nemůžeme dále dělití pomocí nějakých nástrojů sebe jemnějších čili, jak říkáme, prostředky mechanickými<sup>40)</sup>. Každý atom má určitou, ovšem velmi nepatrnou, hmotu. Tyto atomy slučují se pak chemicky v molekuly<sup>41)</sup>, nové to částice zase nedělitelné mechanicky, představující jedince určité hmoty, ze kterých jsou látky složeny. Hmotu každé molekuly rovná se součtu atomových hmot těch atomů, ze kterých jest molekula složena. U některých plynů, jako kyslíku, dusíku, vodíku a jiných, vyskytují se molekuly složené ze dvou stejných atomů.

Ze všech známých látek má vodík atomy nejmenší hmoty a proto byla zvolena jeho atomová hmotu za jednotku, s níž byly přirovnávány atomové hmoty jiných látek. Atom kyslíku jest 16-krát hmotnější než atom vodíku, atom dusíku 14-krát atd. Jest tedy atomová hmotu kyslíku dána číslem 16, dusíku číslem 14, a molekulová hmotu kyslíku jest 32, dusíku 28, vodíku 2 jednotky. Později však bylo zjištěno, že atomová hmotu vodíku není přesně rovna jednotce, když se přirovná s atomovou hmotou kyslíku, pro kterou nonecháme číslo 16, nýbrž že jest okrouhle 1·008. I ustálil se v chemii i ve fysice zvyk

<sup>39)</sup> Z řeckého slovesa *τεμνω* (čti temno) = krájím, a předpony *α* (čti a), jež značí české *ne*.

<sup>40)</sup> Řecké slovo *μηχανή* (čti méchané) = stroj, nástroj.

<sup>41)</sup> Viz poznámku čís. 28.

přirovnávati atomové hmoty ostatních látek s atomovou hmotou kyslíku, pro niž zůstává základní hmota 16.

**56. Zákon Avogadrův.** U plynů byla však zjištěna ještě velmi jednoduchá závislost mezi jejich hutnotami a molekulárními hmotami. Přirovnáváme-li hmoty molekulové s hutnotami pro různé plyny, přesvědčíme se, že molekulové hmoty rostou úměrně s hutnotami čili že poměr molekulární hmoty a hutnoty jest stálou veličinou. Molekulární hmoty značíme řeckým písmenem  $\mu$  (čti mí, vyslovuje se jako české m). Větu právě vyslovenou lze vyjádřiti vztahem:

$$\frac{\mu}{h} = \text{stálé veličině}$$

čili

$$\mu = \text{const. } h. \quad (18)$$

kdež zkratka const.<sup>42)</sup> nahrazuje tu stálou veličinu.

Je-li 1 cm<sup>3</sup> některého plynu těžší než stejný objem jiného plynu za stejného tlaku a stejné teploty, nesmíme si představovati, že při těžším plynu jest snad nakupeno v tom jednom krychlovém centimetru více molekul než u plynu lehčího, nýbrž příčina jest ta, že již každá molekula plynu těžšího má hmotu větší než u plynu lehčího. Ale počet molekul obsažený v každém krychlovém centimetru jest při téže tlaku a téže teplotě u všech plynů týž.

Tento zákon důležitý pro fysiku i chemii našel na základě četných pokusů, měření i výpočtů slavný italský badatel, profesor university v Turíně, hrabě Amadeo Avogadro r. 1811. Proto nazývá se zákon Avogadrův a číslo, udávající kolik molekul obsahuje 1 cm<sup>3</sup> plynu, číslo Avogadrovo. Modernímu badání podařilo se toto číslo přesně stanoviti různými metodami, o nichž nelze na tomto místě podrobně vykládati. Jen tolik budiž uvedeno, že číslo to jest ohromné, 27·8 trilionů. Kdybychom je chtěli celé vypsati číslicemi, musili bychom vynechati desetinnou tečku a napsati za 8 ještě 17 nul. Z toho nejlépe vysvítá, jak nepatrné částice jsou molekuly, když se jich do 1 cm<sup>3</sup> vejde tak ohromný počet.

Vraťme se k rovnici (18) a stanovme si, jakou hodnotu má stálá veličina, která jest poměrným číslem mezi molekulární hmotou a hutnotou plynu. Její hodnota jest různá dle toho, jaký plyn zvolíme za základní. Je-li jím vzduch, jest pro kyslík  $h = 1\cdot1054$ ,  $\mu = 32$ , takže

$$\text{const.} = \frac{32}{1\cdot1054} = 28\cdot95$$

<sup>42)</sup> Z latinského slova constans (čti konstans) = stálý.

Přirovnáme-li však hutnoty plynu s kyslíkem, kládouce pro kyslík  $h = 32$ , pak jest při kyslíku

$$\frac{\mu}{h} = \frac{32}{32} = 1,$$

a tedy hodnota constanty  $= 1$ , a proto pro každý plyn

$$h = \mu$$

Následkem toho můžeme v rovnici (17) odvozené pro výpočet plynové konstanty nahraditi poměr hutnot poměrem molekulárních hmot, takže jest pak

$$R : R' = \mu' : \mu$$

**57. Fysikální význam plynové konstanty.** Z rovnice (13) vyplývá, že veličina  $R$  musí míti též fysikální význam jako součin  $P \cdot V$ ; neboť veličina  $T$ , kterou jest  $R$  v té rovnici násobeno, udávajíc počet stupňů absolutní teploty, jest veličinou nepojmenovanou.  $P$  značí tlak na  $1 \text{ cm}^2$ , tedy sílu dělenou plochou,  $V$  značí objem, tedy jest udán v jednotkách krychlových. Násobíme-li podíl síla : plochou objemovými jednotkami, obdržíme součin síla  $\times$  délka. Součin ze síly a délky, podél které síla působí, značí však ve fysice práci. Proto plynová konstanta  $R$  znamená též práci a vyjádří se jednotkami pracovními. Z různých jednotek pracovních, které jsou ve fysice zavedeny, hodí se nejlépe litratmosfera (značí se latm.). Rozpíná-li se totiž plyn za tlaku 1 atmosféry tak, že zvětší svůj objem o 1 l, vykoná práci 1 litratmosféry. Měříme-li tlak v atmosférách a objem v litrech, vyjde nám součin  $P \cdot V$  přímo v litratmosférách.

Vypočtíme si v této jednotce  $R$  nejdříve pro 1 gram kyslíku. Do rovnice (16) nutno tedy dosaditi:

$$M = 1 \text{ g}, P_0 = 1 \text{ atm.}, \sigma_0 = 0.001429 \text{ g v cm}^3, T_0 = 273.$$

Obdržíme:

$$R = \frac{1}{0.001429 \times 273} \text{ cm}^3. \text{ atm.} = \frac{1}{0.390117} \text{ cm}^3. \text{ atm.} \\ = 2.56333 \text{ cm}^3. \text{ atm.} = 0.00256333 \text{ latm.}$$

Pro 1 g jiného plynu majícího molekulární hmotu  $\mu'$  jest tedy

$$R' = R \cdot \frac{32}{\mu'} = \frac{0.08202656}{\mu'} \text{ latm.}$$

Pro  $M$  gramů plynu jest pak hodnota  $M$ -krát větší, takže můžeme stavovou rovnici psáti pro  $M$  gramů libovolného plynu takto:

$$P \cdot V = 0.08202656 \times \frac{M}{\mu'} \times T.$$

Poměr  $\frac{M}{\mu}$  má též svůj jednoduchý fysikální význam. Navážíme-li tolik gramů nějaké látky, kolik jednotek má její atomová hmota, říkáme, že jsme odvážili 1 gram-atom látky. Podobně 1 grammolekula určité látky značí tolik gramů té látky, kolik jednotek má její molekulová hmota. Jest tedy na příklad 16 g kyslíku jeden gramatom kyslíku, 32 g kyslíku představují jednu grammolekulu kyslíku.

Poměr  $\frac{M}{\mu}$  tedy udává, kolik grammolekul plynových jest obsaženo v  $M$  gramech plynu. Označíme-li tento počet grammolekul písmenem  $N$  (počátečním písmenem latinského slova numerus = počet) a zaokrouhlíme-li číslo desetinné v poslední rovnici na šest desetinných míst, obdržíme stavovou rovnici ve tvaru

$$P \cdot V = 0.082027 N \cdot T, \quad (19)$$

který jest důležit tím, že neobsahuje žádné veličiny, která by se vztahovala jen na určitý plyn. Proto platí stavová rovnice v tomto tvaru pro  $N$  grammolekul libovolného plynu. Z něho plyne zajímavý důsledek, že stejný počet grammolekul jakéhokoliv plynu zaujímá při téže teplotě a téměř tlaku též objem.

Z rovnice (19) můžeme si zodpovědět otázku, jak veliký objem má 1 grammolekula každého plynu při normálních poměrech, totiž při tlaku 1 atmosféry a teplotě bodu mrazu. Nutno jen dosadit do rovnice (19)

$$P = 1 \text{ atm.}, N = 1, T = 273,$$

pak

$$V_1 = 0.082027 \times 273 \text{ l} = 22.393 \text{ l}.$$

Má tedy 1 grammolekula každého plynu při normálních poměrech objem okrouhle 22.4 l.

**58. Jiný tvar spojeného zákona. Isothermy.** Také tato hodnota zavádí se s výhodou do stavové rovnice. Pro 1 grammolekulu libovolného plynu nutno dosadit  $N = 1$ . Zavedeme-li dále za absolutní teplotu  $T$  opět teplotu  $t$  měřenou od bodu mrazu, obdržíme z rovnice (19):

$$P \cdot V = 0.082027 (273 + t)$$

Provedeme-li násobení na pravé straně rovnice, vyjde:

$$P \cdot V = 0.082027 \times 273 + 0.082027 t$$

První součin napravo však značí objem  $V_1$  jedné grammolekuly 22.4 l. Ve druhém členu pak násobíme a dělíme

číslem 273, čímž obdržíme  $0.082027.273. \frac{t}{273}$ .



Součin  $0.082027 \times 273$  jest zase roven  $22.4$  dle předešlého a za  $273$  dosadíme koeficient roztažnosti plynové  $\gamma$ , čímž uvedeme poslední rovnici na tvar:

$$P \cdot V = 22.4 + 22.4 \cdot \gamma \cdot t$$

Vytkneme-li ještě napravo  $22.4$ , vyjde konečně stavová rovnice pro 1 grammolekul ve tvaru:

$$P \cdot V = 22.4 (1 + \gamma t) \quad (20)$$

Nejnázorněji vynikne vzájemná souvislost plynového tlaku, objemu a teploty, když si stavovou rovnici graficky znázorníme. K tomu volíme si právě tento její poslední tvar. Poněvadž se vyskytují v ní tři proměnné veličiny,  $P$ ,  $V$  a  $t$ , bylo by k tomu třeba prostorové soustavy souřadnic. Ale stačí, když si zvolíme pro jednu ze tří proměnných veličin, nejlépe pro teplotu několik hodnot, lišících se o stejnou veličinu, a znázorníme pak pro každou její zvolenou hodnotu závislost ostatních dvou veličin zvláštní křivkou. Poněvadž každá z takových křivek udává závislost tlaku a objemu při stálé teplotě, čili při změnách *isothermických*, nazývají se ty křivky **isothermy**.

Pro teploty  $0^\circ$ ,  $200^\circ$ ,  $400^\circ$  C obdržíme z rovnice (20) tyto vztahy:

$$P \cdot V = 22.4$$

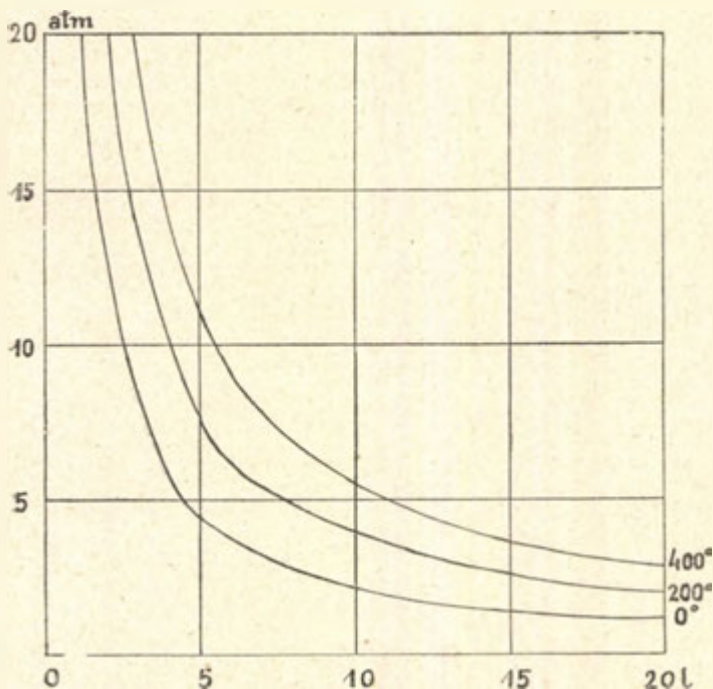
$$P \cdot V = 22.4 \left(1 + \frac{200}{273}\right) = 38.81$$

$$P \cdot V = 22.4 \left(1 + \frac{400}{273}\right) = 55.21$$

Z nich vypočítáme si ke zvoleným libovolným hodnotám pro objem příslušné hodnoty pro tlak nebo opačně. Zvolíme-li si pro objem hodnoty 5, 10, 15, 20 l, vyjdou pro tlaky při teplotách  $0^\circ$ ,  $200^\circ$  a  $400^\circ$  C výsledky, které jsou seřaděny v následující přehled:

V	$P_0$	$P_{200}$	$P_{400}$
5	4.48	7.76	11.04
10	2.24	3.38	5.52
15	1.49	2.59	3.68
20	1.12	1.94	2.76

Nanášíme-li pak na osu vodorovnou objem plynu v litrech a na svislou tlak v atmosférách, obdržíme tři isothermy, které jsou zobrazeny na obr. 45. Podobně bychom dostali isothermy pro kterékoli jiné teploty. Z takové isothermy lze pak při zvolené teplotě vyčísti ke každému tlaku příslušný objem nebo ke každému objemu příslušný tlak. Křivky ty řadí se k sobě tím těsněji, čím dále postoupíme k vyšším tlakům po případě k větším objemům.



Obr. 45

**50. Odchylky od spojeného zákona Boyle-Mariotte-Gay-Lussacova.** Představíme-li si ten postup dál a dále, vedl by nás k závěru, že s rostoucím tlakem musí se objem jedné grammolekuly plynové zmenšovati víc a více, až konečně při tlaku ohromně velikém, nebo, jak říkáme, nekonečně velikém, musil by plyn zaujmouti objem neobyčejně maličký čili nulový. To ovšem nelze

si dobře představit, že by to bylo možno. A také skutečně pokusy s plyny podrobenými velikým tlakům, vedly k výsledkům, že jen přibližně jest tento závěr vyplněn.

Vůbec při přesných měřeních, která prováděl koncem století XIX. a počátkem XX. francouzský badatel *Pierie Chappuis* (čti *Pier Šapyi*), bylo zjištěno, že ani roztažnost tepelná ani rozpínavost není u všech plynů přesně stejná, nýbrž že objevují se dosti značné odchylky zvláště při vysokých tlacích. Ani hodnoty koeficientů roztažnosti a rozpínavosti nejsou u téhož plynu přesně stejné a stále, nezávislé na tlaku i na teplotě.

Proto zaveden byl pojem plynu dokonalého čili ideálního, který by se přesně řídil co do svého tlaku, objemu a teploty stavovou rovnicí čili spojeným zákonem Boyle - Mariotte - Gay - Lussacovým. Plyny skutečně nejsou plyny dokonalými, protože se u nich objevily odchylky od zákona spojeného. Součin z tlaku a objemu, který má býti při stálé teplotě stálý, se u skutečných plynů mění, a to u většiny plynů s počátku klesá až k určité hodnotě nejmenší a pak teprve se zvětšuje při tlacích velmi značných. Jen u vodíku, pokud jeho teplota neklesne pod  $-80^{\circ}\text{C}$ , se součin **P.V** zvětšuje s rostoucím tlakem, jak již dříve bylo zjištěno *Regnaultem*. Pro tento plyn jest také různost koeficientů roztažnosti a rozpínavosti poměrně velmi malá. Dle měření, která provedl *Chappuis* roku 1903 má vodík v mezích mezi bodem mrazu a varu koeficient roztažnosti 0.0036600 a koeficient rozpínavosti 0.0036626, takže vodík se poměrně nejvíce blíží plynu ideálnímu.

**60. Stavová rovnice van der Waalsova.** Vystihnouti vzájemnou závislost tlaku, objemu a teploty u skutečných plynů jedinou rovnicí, pokoušelo se několik badatelů. Poměrně nejlépe se to podařilo profesorovi university amsterodamské *Janu van der Waalsovi*, který roku 1873 sestavil stavovou rovnici pro plyny ve tvaru:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = R T \quad (21)$$

V ní mají veličiny **P**, **V**, **R** a **T** též význam, který jsme již poznali dříve, a a b jsou veličiny, které pro každý plyn mají hodnotu jinou, ale pro určitý plyn považoval je *van der Waals* za stálé veličiny. Jejich význam vysvitne z následující úvahy.

Položíme-li v rovnici (21) **T** = 0, pak pravá strana rovnice nabude hodnoty nulové. Levá strana jest součinem dvou výrazů. Součin však se může rovnati nule jen tehdy, když jeden nebo druhý jeho činitel jest nulový. První

výraz součtový  $P + \frac{a}{V^2}$  se nemůže rovnati nule, proto musí druhý činitel **V** — **b** v tomto případě býti roven 0. Z toho

plyne, když  
že

$$\mathbf{V} - \mathbf{b} = 0, \\ \mathbf{b} = \mathbf{V}.$$

Jest tedy  $\mathbf{b}$  nejmenší objem, na který lze plyn stlačit při teplotě nulové dle absolutní stupnice čili při teplotě  $273^{\circ}$  pod bodem mrazu. Jest to objem, který zaujmají všechny molekuly obsažené v určitém množství plynovém, jestliže by mezery mezi nimi byly zmenšeny na nejmenší možnou míru, a rovná se, jak vyplývá z úvah o molekulárním pohybu, čtyřnásobnému objemu samotných molekul plynových. Představujeme si totiž dle moderních názorů o složení hmoty, že mezi jednotlivými molekulami hmoty jsou mezery, které nejsou vyplněny hmotou a které u látek různých skupenství jsou různě veliké, nejmenší u látek tuhých, největší u plynů. Jejich velikost ovšem závisí i na tlaku a teplotě. Úplně je odstraniti ve hmotách nepodaří se arciť nikdy.

Hmotné molekuly jako každé částice hmotné se navzájem přitahují tím větší silou, čím jsou k sobě blíže. A s tímto vzájemným přitahováním souvisí právě druhá nová veličina  $\mathbf{a}$  v rovnici van der Waalsově.

Výraz  $\mathbf{V}_2$  který jest v rovnici přičten k tlaku  $\mathbf{P}$ , jímž působí plyn na venek, jest měrou tak zvaného tlaku kohesního<sup>43)</sup> čili tlaku, držícího částice plynové při sobě. O něm předpokládá van der Waals, že jest tím větší, čím jsou částice blíže při sobě, čili čím jest objem menší, a to tak, že ten tlak vzroste čtyřikrát, devětkrát..., když se objem zmenší dvakrát, třikrát..., jinými slovy, že jest kohesní tlak nepřímě úměrný druhé mocnině objemu plynového. Veličiny  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  lze určovati různými způsoby. Z nich nejjednodušší jest ten, že je vypočítáme z rovnice (21), do níž dosadíme hodnoty naměřené pro ostatní měřitelné veličiny. Poněvadž pak jsou neznámé veličiny dvě, nutno míti dvě rovnice, aby se z nich  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  mohlo počítati. Zvolíme si tedy určitou teplotu  $\mathbf{T}_1$  a pro dva zvolené tlaky  $\mathbf{P}_1$ ,  $\mathbf{P}_2$  měřené v atmosférách, kterým podrobíme 1 gram molekulu plynovou, změříme příslušné objemy  $\mathbf{V}_1$  a  $\mathbf{V}_2$  a dosadíme změřené hodnoty do rovnice (21). Tím vzniknou vztahy:

$$(\mathbf{P}_1 + \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{V}_1^2}) (\mathbf{V}_1 - \mathbf{b}) = \mathbf{R} \cdot \mathbf{T}_1,$$

$$(\mathbf{P}_2 + \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{V}_2^2}) (\mathbf{V}_2 - \mathbf{b}) = \mathbf{R} \cdot \mathbf{T}_1,$$

<sup>43)</sup> Z latinského slova cohaereo (čti kohereo) = souvisím, držím pohromadě.

z nichž lze řešením vypočítati **a**, **b**. Pozdější badání však ukázala, že hodnoty **a**, **b** nejsou přesně veličinami stálými pro jednotlivý plyn, nýbrž že závisí ještě na teplotě a objemu plynu. Sledovati však, jaké jsou ty závislosti, vedlo by příliš daleko nad rámec tohoto spisu. Také nelze zde již uváděti různých jiných tvarů, ve které byla upravena rovnice stavová.

**Příklady ke cvičení.** 27.) Jak velikého objemu nabude 1 l vzduchu, jestliže z normálních poměrů ( $0^{\circ}\text{C}$  a 1 atm.) zahřejeme jej na  $30^{\circ}\text{C}$  a podrobíme tlaku 3 atmosfér? [0-370 l].

28.) Jisté množství kyslíku jest stlačeno tlakem 5 atmosfér při teplotě  $40^{\circ}\text{C}$ . Kolikrát se zvětší jeho objem, přijde-li do stavu normálního ( $0^{\circ}\text{C}$ , 1 atm.)? [5-85].

29.) 50 l vzduchu jest při teplotě  $-20^{\circ}\text{C}$  pod tlakem  $1\frac{1}{2}$  atmosféry; jak velikého tlaku nabude vzduch, když se zahřeje na  $+20^{\circ}\text{C}$  v dutině mající objem 40 l? [2-17 atm.].

30.) Vypočítejte specifické hmoty vzduchu pro teploty  $20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  při tlaku 750 mm sloupce rtuťového! [0-001189. 0-001113, 0-001046 g v  $\text{cm}^3$ ].

31.) Jak veliké specifické hmoty nabude dusík, stlačíme-li jej tlakem 30 atmosfér při teplotě  $27^{\circ}\text{C}$ ? Jakou bude mítí hutnotu? [0-034316; nezměněnou].

32.) 3 grammolekuly kyslíku uzavřeny jsou v objemu 10 l při teplotě  $45^{\circ}\text{C}$ . Jak veliký mají tlak? [7-826 atm.].

### Praktické užití roztažnosti teplem.

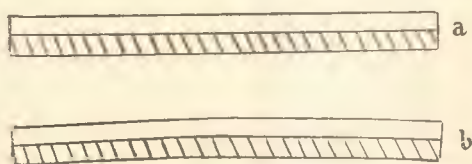
**61. Kovové teploměry.** Roztažnosti teplem se užívá hojně v praktickém životě a četné jsou okolnosti, při kterých jest nutno k ní přihlížeti i mimo případy, které byly již uvedeny v odstavci 32.

Že jest roztažnost kapalin, hlavně rtuti, základem teploměrství teploměry kapalinovými, poznali jsme již v odstavcích 9. až 15. Ale k měření teploty lze užití též teploměrů, kterými se měří teplota dle roztažnosti látek tuhých i plyných. Do první skupiny patří **teploměry kovové**, ježto látkou teploměrnou v nich jest **tuhý kov**.

Jejich působení zakládá se na **neroztažnosti teplem různých kovů**, jež jsou pevně spojeny. Snýtujeme-li spolu dvě ploché tyče stejně silné a dlouhé, na příklad železnou a měděnou, tvoří za obyčejné teploty přímý pás (obr. 46 a).



Železo v obrazci vyznačeno jest čárkováním. Když však ten pás na okrajích zavěsíme a uprostřed zahřejeme, pás se prohne (obr. 46 b) tak, že na vypuklé straně jest ten kov, který se více roztahuje, v našem případě jest to měď. Toto zkroucení pásu jest tím větší, čím více zahříváme určitou dvojici kovovou, při různých dvojicích pak, čím větší jest rozdíl koeficientů roztažnosti těch dvou kovů, které jsou spolu spojeny. Upevní-li se jeden konec takového pásu ze dvou kovů a ohne-li se pás do podkovy, pak se při změnách teploty mění poloha druhého konce pásu.

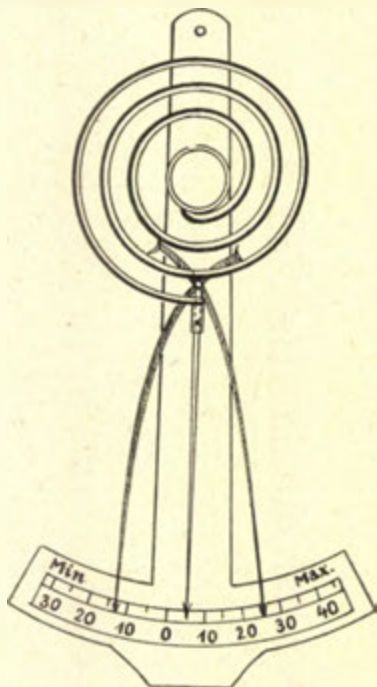


Obr. 46

Tento pohyb lze převéstí pákovým převodem nebo ozubenými kolečky na ukazovatele, který může na stupnici, zhotovené zkusmo dle dobrého teploměru rtuťového, ukazovati vždy příslušnou teplotu.

První teploměr tohoto druhu sestrojil kodaňský hodinář Urban Jørgensen počátkem XIX. století a později Hermann a Pfister v Bernu dali mu tvar dosud obvyklý. Pás spojený ze dvou kovů upevněný na jednom konci jest stočen do závitnice a volný jeho konec jest spojen s kratším ramenem dlouhého ukazovatele, který jest jako páka otáčivý kolem osy (obr. 47). Poměrně neveliké posunutí kratšího raménka ukazovatelova, které nastane změnou teploty a tím změnou tvaru stočeného pásu, z větší se na volném konci ukazovatelově tím více, čím jest dolní rameno delší než horní. Pohybující se ukazovatel tlačí před sebou prostřednictvím výstupků ještě dvě ručičky, které se otáčejí kolem téže osy. Jedna ručička jest od ukazovatele

nalevo a tu dotlačí ukazovatel hlavní do té polohy, která odpovídá jeho největší výchylce směrem k teplotám nízkým. Druhá ručička napravo od hlavního ukazovatele jest jím tlačena až do polohy, odpovídající nejvyšší teplotě, na kterou vystoupil ukazovatel hlavní. Při zpětném pohybu ukazovatelů zůstanou ručičky na svých místech, takže uka-



Obr. 47

zuji nejvyšší a nejnížší teplotu, která nastala v místnosti, kde takový teploměr jest zavěšen, během určité doby.

Opatří-li se tento teploměr při určitém stupni teploty vodivým dotykem spojeným s vedením elektrického proudu, v němž jest zapjata baterie a elektromagnetický zvonek, začne zvonek zníti, jak-

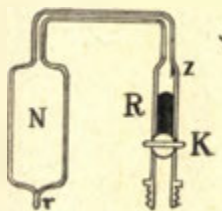
mile se dotkne ukazovatel vodivého dotyku. Stane se to tehdy, když teplota dostoupí toho stupně, při kterém jest připevněn onen vodivý dotyk. Tak dá tento teploměr samočinně znamení, že v některé místnosti stoupá teplota nad určitou přípustnou výší. Užívá se toho v nemocničních sálech, v nichž nemá stoupnouti teplota nad určitý stupeň. Ve sklenicích, kde se pěstují rostliny, vyžadující vyšší teploty, než bývá u nás v zimě, nesmí teplota klesnouti pod určitý stupeň. I tam upozorní teploměr Hermann-Pfisterův zahradníka, že jest třeba více topiti, je-li na teploměru vodivý dotyk spojený s elektrickým zvonkem připevněn u té teploty, pod níž nemá klesnouti teplota ve skleníku.

Nevýhodou tohoto teploměru jest však, že neukazuje rychlých malých změn teploty, ale to nevadí při pozorování teplot v místnostech uzavřených, kde tak rychlých změn není. Citlivější kovový teploměr i pro náhlé změny sestrojil francouzský mechanik Breguet (čti Breket) (1748—1823). Spájel tři tenké proužky, stříbrný, zlatý a platinový, a stočil v závitnici, kterou zavěsil jedním koncem na stojánek a dolní konec volný opatřil ukazovatelem, který se pohyboval podél vodorovného děleného kruhu, na němž byly zase nanесeny zkusmo teploty dle teploměru rtuťového. Z těch tří kovů nejvíce se roztahuje stříbro, nejméně platina. Změna teploty způsobí větší nebo menší zkroucení závitnice a tím pohyb ukazovatele.

**62. Plynový teploměr.** Bylo již uvedeno, že se plyny teplem roztahují poměrně nejvíce a nejpravidelněji ze všech látek. Proto jest výhodno užití plynu jakožto látky teploměrné, jak učinil již Galilei při sestrojení svého vzduchového thermoskopu (viz odst. 5.). Jen bylo třeba upravití plynový teploměr tak, aby nepodléhal rušivým vlivům změn jiných veličin než těch, které chceme měřiti.

Víme již, že se plyn při stálém tlaku teplem roztahuje a naopak při stálém ob-

jemu roste jeho napětí, zahříváme-li jej. Poněvadž snáze lze udržovati stálý objem plynu než stálé napětí, byla pro zařízení teploměru plynového zvolena taková úprava přístroje, aby se teplota mohla posuzovati dle změn tlakových při stálém objemu, jak navrhoval již Amontons koncem XVII. století v Paříži. První takový teploměr sestrojil r. 1840 již uvedený francouzský badatel Regnault a později zdokonalil jej profesor v Mnichově Filip Jolly (čti Žolí), profesor ve Štýrském Hradci Leopold Pfaundler a konečně profesor v Paříži Pierre Chappuis. Pro běžnou potřebu fysikálních vědeckých měření jest nejvhodnější tvar Jolly-Pfaundle-



Obr. 48

rův, který se podobá velmi přístroji znázorněnému obrázkem 41, jímž se pozoruje rozpínavost plynů teplem. Liší se od něho jen tím, že skleněná nádobka **N** nemá otvor s kohoutkem nad rourkou kapilární, nýbrž kohout **K** (obr. 48) jest až pod značkou **z** na rourě kovové, ve kterou přechází roura **R** a na niž se připojuje hadice **H**. Kohout mívá dvojí vrtání, aby bylo možno spojití manometrickou trubicí s nádobou **N** při jedné poloze kohoutu a při druhé poloze se vzduchem vnějším. Nádoba **N** má pak dole ještě rourku, která byla původně otevřena, ale zataví se, až když jest nádoba **N** a roura z ní vybíhající naplněna plynem, který zvolíme za látku teploměrnou. Jím bývá nyní zpravidla vodík, který se nassává do nádoby právě tou spodní rourkou. Když jest celá

nádoba i roura naplněna suchým vodíkem, nassaje se do **R** trochu rtuti a pak se zataví rourka **r**. Potom se teprve našroubuje nádoba i s rourkami k manometrické trubici, z níž se vypudí zbytek vzduchu nad rtutí pod kohoutem **K**, jenž jest při tom natočen do té polohy, aby spojoval dutinu roury se vnějším vzduchem. Stačí k tomu zdvihati pravé rameno pohyblivé až do té výše, aby rtuť vyplnila i dutinu kohoutu. Kohout se potom otočí, aby spojoval nádobu **N** s trubicí. Nádoba **N** se pak obalí tajícím sněhem a stanoví se napětí **P<sub>0</sub>**, které má uzavřený vodík při této teplotě, když hladina rtuti v rourě **R** sahá až ke značce **z**. Toto napětí drží rovnováhu tlaku barometrickému, který se změří tlakoměrem, a tlaku sloupce rtuťového, o který jest hladina rtuti v pravém otevřeném rameni manometrickém výše než v rameni levém. Rozdíl výšek změří se na stupnici, podél níž se posouvá manometrická trubice. Nejlépe jest, měří-li se dalekohledem pozorovacím, aby pozorovatel zblízka teplem svého těla nezahřival části teploměru.

Má-li se měřiti tímto přístrojem teplota **t** nějakého prostředí, vloží se **N** do toho prostředí tak, aby byla jím úplně obklopena, a posouvá se pravé rameno manometrické tak dlouho, až se hladina rtuti v rourě **R** opět dotýká hrotu značky **z**. Vodík má pak napětí **P<sub>t</sub>**. Poněvadž jeho objem **V<sub>0</sub>** při teplotě bodu mrazu a **V<sub>t</sub>** při teplotě **t** jest udržen stejný, platí podle stavové rovnice:

$$P_t V_t = P_0 V_0 (1 + \gamma t),$$

z níž zkrácením **V<sub>t</sub>** a **V<sub>0</sub>** obdržíme rovnici

$$P_t = P_0 (1 + \gamma t).$$

Z této rovnice lze vypočítati hledanou teplotu **t**:

$$t = \frac{P_t - P_0}{P_0 \gamma}$$

Počáteční tlak uzavřeného vodíku **P<sub>0</sub>** bylo by možno voliti zcela libovolně. Nejjednodušší by bylo, voliti jej vždy tak, aby se rovnal tlaku zevnějšího vzduchu, a tak se také dříve činivalo. Ale r. 1887 mezinárodní úmluvou bylo ustanoveno, že počáteční tlak vodíkového teploměru **P<sub>0</sub>** jest voliti rovný tlaku sloupce rtuťového vysokého 100 cm při teplotě bodu



mrazu. Stoupne-li teplota vodíku na bod varu vody, zvětší se tlak na  $P_{100}$ . A táž mezinárodní komise pro míry a váhy ustanovila, že za 1 stupeň teploty vodíkového teploměru jest považovati takové zahřátí. při němž stoupne napětí vodíku o setinu rozdílu  $P_{100} - P_0$ .

V zemích českých byla tato vodíková stupnice zavedena zákonem od roku 1893. Rozumí se, že platnost její nekončí bodem mrazu a varu, nýbrž platí i pro teploty nižší a vyšší. Jen pro teploty velmi nízké plnívá se teploměr místo vodíkem plynem heliem a pro teploty vysoké dusíkem.

Touto normální stupnicí teploměrou jest povinen měřiti teploty každý vědecký badatel při svých pracích. Ale měření to jest dosti obtížné. Neboť vodíkové teploměry, jakých se v poslední době používá při přesných vědeckých pracích, nejsou tak jednoduchého tvaru, jaký byl popsán, nýbrž jsou přístroje dosti složité. Mimo to jest přihlížeti též k tomu, že se teplem roztahuje též nádoba N (obr. 48) i spojovací trubice až po značku z, čímž se objem uzavřeného plynu poněkud mění. Tyto změny jest nutno vyjádřiti početně a přihlížeti k nim při přesných měřeních, čímž se práce takovým teploměrem stává ještě složitější. A přece měření teploty jest při každé vědecké práci fysikální častým úkolem, který jest provésti v čase co nejkratším. Proto jest velmi výhodno, že dobré teploměry rtuťové se liší svými údaji od údajů normálního teploměru vodíkového jen zcela nepatrně. V mezích mezi bodem mrazu a varu dosahují největší odchylky hodnoty asi  $0.2''$  až  $0.3''$ , o něž teploměr rtuťový ukazuje výše. Lze tedy měření složitým teploměrem vodíkovým nahraditi měřením teploměrem rtuťovým, jímž se pracuje daleko rychleji a pohodlněji. Jen nutno určití přesně, jaké odchylky ukazuje proti stupnici vodíkové. To se provádí v říšských cejchovních úradech, kde se pro předložený dobrý rtuťový teploměr sestaví tabulka úchylek jeho stupnice od stupnice vodíkové. T e p -

loměr rtuťový, který jest opatřen takovou tabulkou, nahraňuje pak úplně teploměr vodíkový a proto se též nazývá teploměr normální.

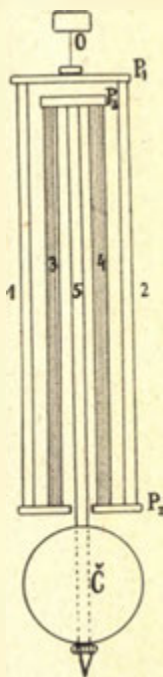
**63. Kompensační kyvadla.** Roztažnost délková má značný vliv též na chod přesných hodin kyvadlových i perových. Chod kyvadlových hodin jest řízen stejnodobými kyvy kyvadla, u dobrých hodin obyčejně kovového. Doba kyvu kyvadla jest však přímo úměrná druhé odmocnině z délky kyvadla na témže místě zemského povrchu. Když se tedy délka kyvadla v létě zahřátím prodlouží, kýve kyvadlo volněji a hodiny jím řízené by se opožďovaly. Naopak v zimě, když se délka kyvadla zmenší, doba kyvu se zkrátí, chod hodin by se zrychloval, hodiny by předbíhaly. Podobně jest tomu i u hodin perových. Jejich chod jest řízen stejnodobými kmity malého kolečka, tak zvaného nepokoje, jež jest do své rovnovážné polohy taženo napětím jemného pružného pera stočeného do závitnice. Doba kyvu nepokoje závisí na hmotě kolečka a na její vzdálenosti a rozloze vzhledem k ose, kolem které kolečko kmitá. Když kolečko se zahřeje a tím zvětší svůj poloměr, doba kmitová kolečka se tím zvětší a hodiny by se opožďovaly. Ochladí-li se kolečko, poloměr se zmenší, doba kmitu se zkrátí, hodiny by se zrychlovaly.

Nemá-li tato nepravidelnost chodu hodinového nastati střídáním tepelných stavů, jest nutno kyvadla a nepokoje upravit tak, aby změny teploty neměly vlivu na jejich dobu kyvu. Toho se docílí tak zvaným kompensováním<sup>44)</sup> kyvadel a nepokojů.

Kompensaci kyvadel lze provéstí buď tím, že se složí kyvadlo z několika tyčí z různých kovů v kyvadlo roštové, nebo se kompenzuje rtutí.

<sup>44)</sup> latinské slovo compensatio (čti kompensacio) = vyrovnání, náhrada.

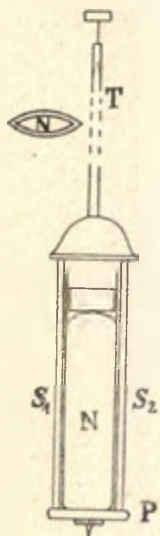
První kyvadlo roštové sestrojil r. 1725 londýnský hodinář John Harrison (čti Džon Herisn) z pěti tyčí ze dvou kovů, majících hodně různou roztažnost délkovou. Volil k tomu ocel a zinek. Dle tabulky koeficientů roztažnosti délkové v odst. 32. má ocel koeficient 0 0000115, zinek 0 0000300, tedy více než dvojnásobný. Harrison složil roštové kyvadlo



Obr. 49

ze tří tyčí ocelových a dvou zinkových (obr. 49). Dvě krajní tyče ocelové, označené v obrazci čísla 1, 2, spojeny jsou příčkou  $P_1$ , roztahují se při zahřívání směrem dolů, a dole nesou druhou příčku  $P_2$ . V ní jsou upevněny konce dvou tyčí zinkových označených 3, 4, které se roztahují směrem vzhůru a jsou nahoře spojeny třetí příčkou  $P_3$ . Tato nese horní

konec třetí tyče, ocelové, značené 5, která procházejíc volně příčkou  $P_2$  roztahuje se směrem dolů a na dolním konci má připevněnu těžkou kyvadlovou čočku Č, jejíž vzdálenost od osy  $O$  má býti i při změnách teploty stále táž. Poněvadž délka tyčí ocelových jest více než dvakrát větší než délka tyčí zinkových, vyrovnává se snížení čočky, způsobené prodloužením tyčí ocelových, zvýšením, vzniklým prodloužením tyčí zinkových vzhůru a tím zdviže-

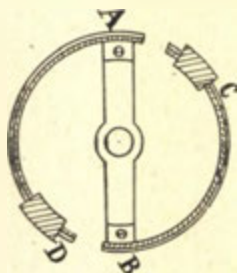


Obr. 50

ním příčky  $P_2$ , jež jest více než dvojnásobné proti snížení provedenému tyčemi ocelovými 1 a 2. Zůstává tedy celková délka kyvadla i při změnách teploty beze změny a kyvadlo má dobu kyvu nezávislou na změnách teploty.

Druhý způsob kompensování kyvadla rtuťí vymyslel londýnský mechanik a hodinář George Graham (čti Džorž Grejem) r. 1726. Kyvadlovou tyč  $T$  (obr. 50) zvolil ocelovou a místo čočky zavěsil

na ni nádobu skleněnou nebo ocelovou N omezenou dvěma částmi válcového pláště, mající v průřezu tvar čočkovitý. V ní bylo určité množství rtuti a na ní plovla deska ocelová. Příčka P nesoucí závěsné sloupky  $S_1$ ,  $S_2$  jest zespoda přitažena matickou šroubovou, kterou ji lze i s nádobou mírně zdvihati, aby se mohl řídit chod kyvadla. Když se kyvadlo zahřeje v létě, prodlouží se tyč T a současně zvětší svůj objem rtuť. Poněvadž se nemůže jinak roztáhnouti, stoupne její hladina a zdvihne tím též desku ocelovou na rtuti plovoucí. Vliv tohoto zdvižení jest takový, jako by se celá nádobka



Obr. 51

na zdvihla, a tím se vyrovná její snížení způsobené prodlouživší se tyčí. Proto se nezmění doba kyvu takového kyvadla, i když se zahřeje nebo ochladí. Tu zase rtuť se smrští, hladina i ocelová deska klesne a vyrovná tak zdvižení způsobené zkrátivší se tyčí závěsnou.

Kompensace kyvadlových tyčí není třeba, zhotoví-li se ze slitiny invaru nebo litého křemene, poněvadž jejich koeficienty roztáznosti jsou tak malé (viz odst. 32.), že změny tepelné, které nejsou příliš velké, téměř nezmění jejich délek.

Kompensování nepokojů v hodinách perových provede se tak, že se zhotoví ze dvou kovů, které se různě roztahují, obyčejně z oceli a mosazi a dá se jim tvar znázorněný obrazcem 51. Uvnitř jest pásek ocelový (vyznačený čárkováním), zevně mosazný,



který se roztahuje více než ocel. Obvod kolečka jest přerušen na dvou místech proti sobě. Zvětší-li se zahřátím průměr kolečka **AB**, současně se více zakříví obě části obvodu, čímž se těžké přívazky **C** a **D** přiblíží k ose **O** a doba kmitu kolečka se tím nemění. Výrobci přesných kompenzovaných hodin perových mají již přesně prozkoušeny rozměry obou pásků i velikost přívazků, aby docílili dokonalé rovnodoposti kyvů za chladu i za tepla.

**64. Redukce přesných měření délkových.** Má-li se provést přesné měření délkové, jest nutno též přihlížeti k roztažnosti teplem. Změna teploty způsobí totiž, že každý dílek měřítka se poněkud změní. Je-li měřítko zhotoveno na příklad při teplotě  $20^{\circ}\text{C}$ , lze jím správně měřiti jen zase při této teplotě, neboť jen při  $20^{\circ}\text{C}$  značí 1 dílec centimetrového měřítka přesně 1 cm. Měří-li se při teplotě vyšší, jest každý dílek o něco delší, a proto naměříme menší počet dílků, než by odpovídal přesně změřené délce. Naopak zase měříme-li při teplotě nižší, jest každý dílek o něco kratší, a proto naměříme více dílků, než jest správně. Nejednalo-li se o délky příliš veliké a není-li teplota značně vyšší nebo nižší než teplota, při které jest měřítko správné, neučiníme chyby velké. Ale jestliže jest měřená délka veliká a je-li ji změřiti co nejpřesněji, jest nutno k té chybě měřítka přihlížeti a z naměřeného počtu dílků vypočítati počet dílků, který bychom naměřili, kdyby měřítko bylo zcela správné i při té teplotě, při které měříme. Tento úkon nazývá se redukce<sup>45)</sup> měření na teplotu správnosti měřítka.

Budiž teplota, při které jest měřítko správné,  $t_0$  a teplota, při které měříme,  $t$  budiž vyšší než  $t_0$ ; koeficient roztažnosti látky, ze které jest měřítko zhotoveno, budiž  $\alpha$ . Při teplotě  $t_0$  má každý dílek měřítka centimetrového délku 1 cm, při teplotě  $t$  však jest každý 1 cm a tedy též každý dílek měřítka prodloužen o tolikrát  $\alpha$ , o kolik stupňů

<sup>45)</sup> Z latinského slovesa *reducere* = vésti zpět, převáděti.

jest  $t$  větší než  $t_0$ ; neboť koeficient  $\alpha$  značí prodloužení jednoho centimetru při zahřátí o  $1^\circ \text{C}$ . Má tedy každý dílek měřítka zahřátého na  $t^\circ \text{C}$  správně délku  $[1 + \alpha(t - t_0)] \text{ cm}$ . Naměříme-li při teplotě  $t_0$  délku  $l \text{ cm}$ , jest správná hodnota naměřené délky  $l$ -krát větší, tedy rovna  $l[1 + \alpha(t - t_0)] \text{ cm}$ . Rozumí se, že obdobně platí to i pro měřítka, jehož základní jednotkou není  $1 \text{ cm}$ , nýbrž kterákoliv délka jiná, třeba  $1 \text{ m}$ ,  $1 \text{ dm}$ ,  $1 \text{ mm}$  atd. Provedeme tedy redukci měření na teplotu správnosti měřítka tak, že délku naměřenou násobíme opravným čili redukčním činitelem  $1 + \alpha(t - t_0)$ .

Měříme-li při teplotě  $t$ , která jest nižší než teplota  $t_0$  správnosti měřítka, zůstává opravný činitel též, ovšem pak rozdíl  $t - t_0$  bude záporný a tedy činitel  $1 + \alpha(t - t_0)$  bude mít hodnotu menší než  $1$  a správná délka vyjde menší než délka naměřená.

Měříme-li na příklad při teplotě bodu mrazu mosazným měřítkem, správným při  $20^\circ \text{C}$ , délku  $50 \text{ cm}$ , jest opravný činitel  $1 + 0.0000188(0 - 20) = 1 - 0.0000188 \cdot 20 = 1 - 0.0003760 = 0.999624$ . Správná velikost změřené délky jest tedy  $49.9812 \text{ cm}$ . Když bychom redukcí neprovedli a přijali pro délku tu za správnou hodnotu  $50 \text{ cm}$ , chybili bychom o  $0.0188 \text{ cm}$  čili přibližně o  $0.2 \text{ mm}$ . Chyba ta nemá pro praktický život významu, ale při přesných měřeních vědeckých jest nutno ji odstraniti.

## 65. Redukování barometrických měření na $0^\circ$ .

Jak již bylo uvedeno (odst. 18.) měří se tlak vzdušný tlakem sloupce rtuťového v barometrické trubici na  $1 \text{ cm}^2$ , který drží právě rovnováhu tlaku vzdušnému. Poněvadž tlak sloupce kapalinového roste přímo úměrně s rostoucí výškou kapalinového sloupce, jest při měření tlaku na barometrické trubici změřiti délku sloupce rtuťového. Ale ta zase bude při určitém tlaku různá dle toho, jak jest rtuť teplá. Je-li rtuť teplejší, má menší specifickou hmotu a proto musí býti sloupec delší, aby udržel rovnováhu tlaku určité velikosti. Je-li naopak rtuť studenější, jest těžší specificky a sloupec držící rovnováhu určitému tlaku jest kratší. Proto bylo ustanoveno, že barometrický tlak má se vždy měřiti tlakem rtuti nultupňové, to jest rtuti, mající teplotu bodu mrazu.

Ale teplota, při které barometrický tlak měříváme, bývá ve většině případů jiná a změří se teploměrem připevněným přímo na barometru nebo zavěšeným vedle něho na zdi. A proto jest nutno přepočítati naměřený sloupec rtuťový na teplotu bodu mrazu. Poněvadž také měřítka na barometru má určitou teplotu, při které jest správné, a tlak se měří při teplotě jiné, jsou při redukování barometrického měření na  $0^\circ \text{C}$  vlastně úlohy dvě:

1. redukce měření na teplotu správnosti měřítka,
2. redukce sloupce rtuťového se zřetelem k roztažnosti rtuti.

Oprava první provede se tak, jak bylo vysvětleno v odstavci předešlém. Naměříme-li měřítkem, jehož teplota správnosti jest  $t_0$  a koeficient roztažnosti délkové  $\alpha$ , délku barometrického sloupce  $b$  při teplotě  $t$ , jest jeho správná délka

$$b' = b [1 + \alpha (t - t_0)].$$

Druhou opravu provedeme, položíme-li si otázku, jak vysoký sloupec rtuti nulstupňové vyrovná tlak sloupce rtuti teplé  $t^\circ \text{C}$  vysokého  $b' \text{ cm}$ . Tlak působený na  $1 \text{ cm}^2$  sloupcem rtuti  $b' \text{ cm}$  vysokým rovná se váze toho rtuťového sloupce. Tu vypočítáme, násobíme-li objem rtuťového sloupce vypočtený v  $\text{cm}^3$  vahou jednoho krychlového centimetru rtuti, čili vahou specifickou. Tato zase se najde, když se specifická hmota v gramech násobí zrychlením, které uděluje Země předmětu padajícímu v tom místě, kde měříme barometrický tlak. Zrychlení to nazývá se zrychlení tíže zemské a udává, oč se zvětší rychlost padajícího předmětu za 1 vteřinu. Značí se  $g$  (gravitační<sup>40)</sup> zrychlení = zrychlení tíže zemské) a jest na různých místech zemského povrchu různé, na příklad v Praze má dohnouti 981 cm za 1 vteřinu. Jest tedy specifická váha rtuti nulstupňové  $s_0$ g silových jednotek, které se nazývají dyny. 1 dyna jest síla, která hmotě jednoho gramu udělí zrychlení 1 cm za vteřinu. Specifická váha rtuti teplé  $t^\circ \text{C}$  jest  $st$ g dyn. Objem sloupce rtuťového  $b' \text{ cm}$  vysokého o průřezu  $1 \text{ cm}^2$  jest  $1 \cdot b' \text{ cm}^3 = b' \text{ cm}^3$  a tlak toho sloupce na  $1 \text{ cm}^2$  jeho postavy jest  $b'st \text{ g dyn}$ .

Neznámou výšku sloupce rtuti nulstupňové, který udrží rovnováhu tlaku sloupce  $b' \text{ cm}$  vysokého rtuti  $t^\circ$  teplé označme  $b_0$ . Pak tedy musí platiti rovnost obou tlaků

$$b_0 s_0 g = b'st g.$$

Krátiti lze zrychlení  $g$ . Specifickou hmotu rtuti  $s$  vyjádříme specifickou hmotou rtuti nulstupňové dle odstavce 40. Jest totiž

$$st = s_0 (1 - \beta t)$$

když  $\beta$  značí koeficient roztažnosti objemové rtuti. Pak jest

$$b_0 s_0 = b's_0 (1 - \beta t)$$

Krátíme-li ještě  $s_0$  a dosadíme-li za  $b'$  hodnotu, kterou jsme odvodili výše, vychází vzorec, dle něhož se obecně provádí redukce barometrického tlaku na  $0^\circ$ :

$$b_0 = b [1 + \alpha (t - t_0)] [1 - \beta t].$$

<sup>40)</sup> Z latinského slova *gravis* = těžký.

Značne jednoduššího tvaru však tento vzorec nabude, když teplota správnosti měřítka na barometru jest také bod mrazu. Pak  $t_0 = 0$  a předešlá rovnice redukční nabude tvaru:

$$b_0 = b(1 - \alpha t)(1 - \beta t).$$

Ten se ještě dále může zjednodušiti, když se provede násobení obou dvojčlenů v závorkách:

$$b_0 = b[1 + \alpha t - \beta t - \alpha\beta t^2].$$

Poslední člen obsahující součin  $\alpha\beta$  jest velmi malý proti členům předešlým; neboť oba koeficienty roztažnosti  $\alpha$  i  $\beta$  jsou veličiny řádu miliontin základní jednotky, jejich součin pak jest řádu biliontin (dvanáctého místa desetinného). Proto lze celý ten člen vynechat a ze zbývajících dvou posledních členů vytknouti —  $t$ , takže obdržíme

$$b_0 = b[1 - (\beta - \alpha)t].$$

Dosadíme-li do tohoto vzorce průměrný koeficient roztažnosti rtuti

$$\beta = 0.000182$$

a koeficient roztažnosti mosazi, z níž obyčejně bývají měřítka na barometrech,

$$\alpha = 0.000019,$$

dostaneme:

$$b_0 = b[1 - 0.000163 t].$$

Při barometrech, jež mají stupnici zhotovenou přímo na skle jest

$$\alpha = 0.000008.$$

a pak

$$b_0 = b[1 - 0.000174 t]$$

Aby nebylo třeba po každé opravě barometrického měření počítati dle uvedených vzorců, vypočítávají se opravy jednou provždy pro každou teplotu, při měření obvyklou, a vypočtené hodnoty sestavují se do přehledných tabulek. V našich logaritmických tabulkách Valouchových jest tabulka barometrických oprav zařaděna mezi fyzikálními tabulkami pod číslem 18. (v VI. vydání z roku 1926).

V prvním sloupci udána jest příslušná teplota  $t$ , při které se měří tlak, v celistvých stupních stoupajících po  $1^\circ \text{ C}$  od  $1^\circ$  do  $40^\circ \text{ C}$ . Ostatní sloupce obsahují příslušné opravy pro měřené tlaky 680 mm, 690 mm atd. až do 780 vždy po 10 mm rostoucí. Opravy ty vypočítány jsou pro měřítka mosazná ze součinu  $b \cdot 0.000163 t$ . Část té tabulky pro nejběžnější teploty mezi  $15^\circ$  až  $25^\circ \text{ C}$  a tlaky od 700 do 770 mm jest tu otištěna.

t°	700	710	720	730	740	750	760	770
15	1'71	1'74	1'76	1'78	1'81	1'83	1'86	1'88
16	1'83	85	88	90	93	96	98	2'01
17	1'94	97	2'00	2'02	2'05	2'08	2'11	2'13
18	2'05	2'08	11	14	17	20	23	26
19	17	20	23	26	29	32	35	38
20	28	31	35	38	41	45	48	51
21	40	43	46	50	53	57	60	64
22	51	55	58	62	65	69	73	76
23	62	66	70	74	77	81	85	89
24	74	78	82	86	89	93	97	3 01
25	85	89	93	97	3'02	3'06	3 10	3'14

Redukce na 0° provede se pak tím způsobem, že se hodnota vytčená z tabulky odečte od naměřeného tlaku v milimetrech sloupce rtuťového. Tak na příklad pro tlak **740 mm** změřený při **20° C** jest oprava **2'41 mm**, takže redukovaný tlak jest **737'59 mm**. Je-li teplota **t** určena číslem obsahujícím též desetiny stupňů a tlak v milimetrech a desetínách milimetrů, jest nutno tabulky proložití, interpolovati<sup>47)</sup>. Vypočítá se, jak veliká oprava odpovídá jedné desetině stupně při určitém tlaku, násobí se počtem desetin, o který přesahuje měřená teplota celistvý počet stupňů, a tento součin připočte se k hodnotě nalezené z tabulek pro teplotu nejbliže menší, ale vyjádřenou jen celistvým počtem stupňů. A podobně se vypočítá, jak veliká oprava připadá při určité teplotě na 1 mm tlakový, po případě na desítinu milimetru, a toto číslo násobí se počtem milimetrů po případě desítin milimetrů, o který převyšuje měřený tlak nejbliže menší počet desítek milimetrových. Součin se zase přidá k nejbliže menší hodnotě vytčené z tabulky. Na číselném příkladě uvidíme nejlépe postup výpočtu.

Jest redukovati tlak **748'2 mm** měřený při **17'4° C**. Pro

<sup>47)</sup> Latinské slovo *interpolo* = přizpůsobuji.



17° a tlak 740 mm jest oprava 2·05 mm. Pro 18° a tlak 740 mm jest oprava 2·17 mm. Tedy pro 1° jest rozdíl oprav 0·12 mm, pro 0·1° pak 0·012 mm. Pro 0·4° C jest opravu zvětšiti o 0·048 mm, přibližně 0·05 mm, takže oprava jest  $(2·05 + 0·05) \text{ mm} = 2·10 \text{ mm}$ .

Pro 17° a tlak 750 mm jest oprava 2·08 mm; pro 18° a tlak 750 mm jest oprava 2·20 mm. Obdobně tedy pro 0·4° C jest zvětšiti opravu o 0·05 mm, takže jest  $(2·08 + 0·05) \text{ mm} = 2·13 \text{ mm}$ .

Jest tedy pro 17·4 C rozdíl oprav připadající mezi 740 a 750 mm na 10 mm 0·03 mm, na 1 mm připadá 0·003 mm, na 8·2 mm konečně připadá  $0·003 \text{ mm} \times 8·2 = 0·0246 \text{ mm}$ . Jest tedy zvětšiti opravu příslušnou 740 mm při 17·4° C o 0·025 mm, takže redukovaný tlak jest

$$(748·2 - 2·125) \text{ mm} = 746·075 \text{ mm}.$$

Většinu výpočtů zde podrobně uvedených provádíme z paměti, ježto jde o čísla malá, takže se při častějším cviku vypočítá oprava pomocí tabulek velmi rychle.

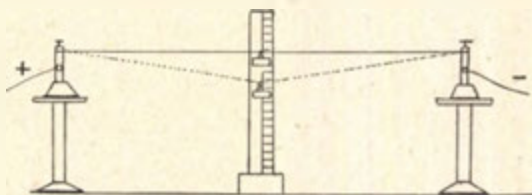
**66. Tepelné měřicí stroje elektrické.** Konečně všimneme si ještě praktického užití roztažnosti délkové tenkých drátů v měřicích strojích elektrických.

Prochází-li elektrický proud tenkým drátkem, drátek se zahřívá a tím prodlužuje. Zahřátí jest tím větší, čím silnější proud prochází drátkem. Poněvadž pak při větším zahřátí nabude drátek též větší délky, jest možno podle prodloužení drátku souditi o síle proudu jím procházejícího. O tom jest možno se přesvědčiti tímto jednoduchým pokusem. Na dva stojánky postavíme dvě svorky (obr. 52), mezi něž napneme tenký železný drátek tlustý asi 0·25 mm a dlouhý asi 2 m. Uprostřed zatížíme jej malým závažím (asi 5 g) přivěšeným dráteným očkem. Pak vzdálíme od sebe stojánky tak, aby drátek byl napjat, a za závaží postavíme měřítko svisle, abychom mohli na něm zjistiti polohu dolního okraje závažíčka. Ke svorkám připojíme dráty elektrického vedení od zdroje proudu elektrického majícího napětí asi 10 voltů, tedy na příklad pětičláňkovou baterii akumulátorů, spojených za sebou, to jest tak, že záporný pól jednoho akumulátoru jest spojen s kladným pólem následujícího,

a t. d. Do vedení zapneme též reostat, abychom mohli změnou odporu měnit sílu proudu.

Když proud spojíme přes dosti veliký odpor reostatu, začne se závažíčko snižovat a snižuje se víc a více, když ubírajíce odporu na reostatu zesílíme proud. Kdybychom místo proudu stálého zapáli do vedení proud, jehož směr se rychle mění, čili tak zvaný proud střídavý, jakým na příklad svítíme v žárovkách, ovšem vhodně zeslabený, dostaví se účinek týž.

Tohoto zahřívání a prodlužování tenkého drátku elektrickým proudem užil po prvé r. 1883 anglický

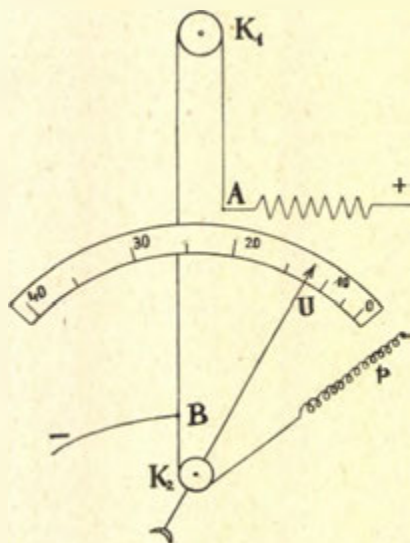


Obr. 52

důstojník Cardew (čti Khardjú) na měření elektromotorické síly čili napětí proudu elektrického. Jeho přístroj byl zařízen takto. Tenký drátek ze slitiny platiny a stříbra mající průměr 0 064 mm upevnil na jednom konci v bodě A (obr. 53) a spojil, přes dosti veliký odpor s jedním pólem zdroje elektrického proudu. Pak vedl jej přes kladku  $K_1$  a druhý konec B spojil s přívodem od druhého pólu zdroje. Mimo to spojil konec B s vláknem vedeným přes pevnou kladku  $K_2$  a napínaným pružným perem p. Prodlouží-li se drátek teplem, vzniknuvším v něm elektrickým proudem, otočí se kladka  $K_2$  a ukazovatel U, který jest s ní pevně spojen, posune se po stupnici zhotovené zkusmo. Na ní lze zhotoviti dělení takové, že udává počet voltů zdroje, který byl k přístroji připojen. Celé to zařízení bylo uzavřeno v ochranném pouzdře kovovém a jen ukazovatel po-

hyboval se po stupnici pod průhledným skleněným okénkem, aby bylo možno sledovati jeho polohy z vnějška.

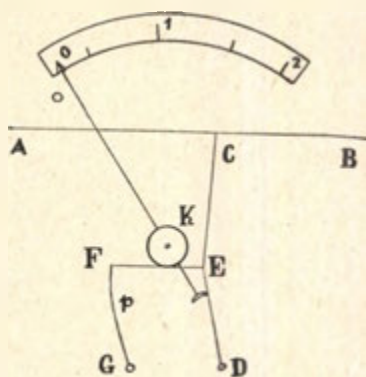
Pohodlnější přístroje na měření napětí i síly proudu, založené na prodloužení drátku proudem, vyrábí od roku 1890 firma *Hartmann a Braun* ve Frankfurtě nad Mohanem dle návrhu podaného vrchním inženýrem *Aschem* (čti Ašem). I v nich jest



Obr. 53

hlavní součástí drátek ze slitiny platiny se stříbrem, tlustý 0.06 mm, dlouhý asi 16 cm, upevněný na obou koncích *A*, *B* (obr. 54) a spojený s přívodem proudu elektrického. V bodě *C* jest spojen s drátkem jiným, který má druhý konec *D* pevný. V bodě *E* jest tento druhý drátek mírně napiat vláknem *EF*, které est vedeno kolem kladky *K*, jež se pohybuje na zahročené ose v achatových ložiscích, aby bylo tření co nejmenší. Konec vlákna *F* jest tažen nalevo pružným perem *p* upevněným v *G*. S kladkou jest opět spojen

ukazovatel, který se pohybuje po stupnici zhotovené zkusmo, přirovnáním s jiným již hotovým měřicím přístrojem. Když se drátek **AB** proudem oteplí, prodlouží se, čímž se sníží bod **C** a tah pera **p** působí pohyb kladky a ukazovatele spojeného s ní směrem napravo. Také tyto přístroje hodí se pro proud stejnosměrný i střídavý, poněvadž oteplení vyvinuté proudem nezávisí na směru proudu.



Obr. 54

Stupnice u většiny přístrojů tohoto druhu jest nerovnoměrná, ale od roku 1908 hotoví firma **Hartmann - Braun** též přístroje se stupnicí rovnoměrně stoupající. Aby byly tyto měřicí stroje nezávislé na změnách teploty ve svém okolí, hotoví se deska, na níž jsou konce drátu **AB** připevněny, ze dvou kovů, mosazi a železa, tak, aby její výsledný koeficient roztažnosti byl roven koeficientu roztažnosti slitiny platiny a stříbra, z níž jest drátek **AB**. Zařízení to jest obdobné jako u kompenzačního kyvadla roštového. Oč se prodlouží drátek **AB**, o tolik se též vzdálí od sebe oba koncové body **A**, **B** vlivem prodloužení desky, na níž jsou připevněny. Mimo to bývá u jednoho konce, **A** nebo **B**, šroubek v obrazci

nezakreslený, jehož otočením v jednu nebo druhou stranu se poněkud mění napětí drátku a tím se zařídí ukazovatel na nulový bod stupnice, dokud proud neprochází přístrojem.

Tyto měřicí stroje elektrické nazývají se stroje žárové, poněvadž jejich účinek zakládá se na tepelném působení elektrického proudu. Jejich výhodou jest, že nepůsobí na ně vlivy okolních změn magnetických, jako na přístroje zakládající se na magnetickém působení proudu elektrického. Hodí se tedy dobře pro strojovny a taková místa, kde se má měření elektrického proudu prováděti v blízkosti velikých hmot železných. Nevýhodou žárových strojů měřicích však jest, že se drátek proudem zahřívá a též prodlužuje poněmáhlu, takže také ukazovatel stoupá na stupnici jen pozvolna. Nejsou tedy tyto přístroje schopny ukazovati velmi rychlé změny síly proudové.

**Příklady ke cvičení.** 33.) Skleněným měřítkem byla na výsluní při teplotě  $45^{\circ}\text{C}$  změřena délka 437·8 mm. Jak veliká jest přesná délka, je-li měřítko správné při  $20^{\circ}\text{C}$ ? [437·975 mm].

34.) Mosazné měřítko jest správné při teplotě  $15^{\circ}\text{C}$ ; jak veliká jest délka úsečky, pro niž bylo naměřeno 155·4 cm při  $-10^{\circ}\text{C}$ ? [155·327 cm.]

35.) Dvoumetrovým měřítkem invarovým byla změřena délka 198·5 cm při  $25^{\circ}\text{C}$ . Oč bylo naměřeno méně, nežli jest správná délka, je-li měřítko správné při  $15^{\circ}\text{C}$ ? [0·003 cm.]

36.) Redukujte na  $0^{\circ}\text{C}$  tlak 732·8 mm změřený při  $20\cdot4^{\circ}\text{C}$  na měřítku mosazném a) výpočtem dle vzorce, b) dle tabulky! [730·36 mm.]

### Jak měříme množství tepla?

**67. Základní pokusy.** Odvažme si dvě stejně veliká množství vody, jedno vody studené, druhé teplé, a pak je smícháme. Dostaneme dvojnásobné množství vody, která bude teplejší než voda studená, ale chladnější než voda teplá. Představujeme si, že teplá voda sdělila část svého tepla, které



v sobě obsahovala, v o d ě s t u d e n ě , kteráž se jím ohřála; ale zato voda teplá se ochladila, poněvadž jí tepla ubylo.

Smícháme-li na příklad 200 g vody 50° C teplé se 200 g vody dvacítistupňové, obdržíme 400 g vody, jejíž teplota jest 35° C, tedy právě uprostřed mezi teplotami obou míchaných vod. Dobře jest provést tento pokus rychle v nádobách skleněných a — než změříme teplotu směsi — jest nutno důkladně směst promíchati teploměrem. Studená voda se o 15° C oteplila, teplá se ochladila o stejný počet stupňů. Z toho soudíme, že 200 g teplé vody vydalo právě tak veliké množství tepla, kolik ho 200 g vody studené potřebovalo, aby se ohřálo o stejný počet stupňů, o kolik zchladla voda teplá.

Ze zkušenosti víme, že musíme 200 g vody dvacítistupňové ohřívati na příklad plamenem plynovým, hřejícím stále stejně, po určitou dobu, aby se oteplila ze 20° na 35° C. Za tu dobu dodá hřející plamen těm 200 g vody určité množství tepla. Soudíme, že totéž množství tepla obdrželo 200 g vody dvacítistupňové při provedeném smíchání obou vod od 200 g vody teplé 50° C, když nabyla jejich směs teploty 35° C. O tom, jak si teplo máme představovati, nepraví nám ovšem tento pokus ničeho. Jen poučuje, že jest určitého jeho množství třeba, aby se jisté množství vody, mající určitou teplotu, ohřálo o určitý počet stupňů. Z toho plyne, že teplo jest veličina, kterou možno měřiti jako každou jinou veličinu fysikální.

Smíchejme spolu dvě n e s t e j n á množství vod různě teplých, na příklad 200 g vody 50° C teplé, se 300 g vody 20° C teplé. Směs nebude již míti teploty 35° C, která leží uprostřed mezi teplotami obou míchaných vod, nýbrž teplota směsi jest 32° C, tedy menší než v případě předeším. Jest totiž vody studené více a proto způsobila větší ochlazení vody teplé a sama se oteplila při tom o menší počet stupňů než předešle. Provedeme-li smíchání opět

rychle, aby se žádné teplo neztratilo do okolí, můžeme předpokládati, že i tu platí: Kolik tepla voda teplejší pozbyla, tolik ho voda studená obdržela. Z toho pak vyplývá, že větší množství vody spotřebuje ke svému oteplení o stejný počet stupňů většího množství tepla.

Jest tedy množství tepla, kterého jest třeba, aby se určité množství vody oteplilo o jistý počet stupňů, tolikrát větší, kolikrát jest více vody a kolikrát jest větší počet stupňů, o který se má voda otepliti.

**68. Jednotky množství tepelného.** Aby bylo možno měřiti množství tepla, jest nutno stanovit si pro ně určitou jednotku. Jest přirozeno dle popsanych pokusů voliti za jednotku tepla to množství tepla, kterým se ohřeje 1 g vody o 1° C. Tato jednotka byla nazvána **1 malá kalorie**<sup>48)</sup> nebo též **gramová kalorie** a značí se zkratkou 1 kal. Aby se ohřál 1 kg vody o 1° C, jest mu třeba dodati množství tepla tisíckrát větší čili 1000 kal. Toto množství bylo zvoleno za velkou jednotku množství tepelného a bylo nazváno **1 velká kalorie** čili **1 kilogramová kalorie**, jež se značí 1 Kal.

Aby se ohřály 3 kg vody o 2° C, jest třeba jim dodati

$$3 \times 2 \text{ Kal.} = 6 \text{ Kal. tepla.}$$

A podobně aby se ochladilo 100 g vody o 30° C, jest nutno jí ubrati

$$100 \times 30 \text{ kal.} = 3000 \text{ kal.} = 3 \text{ Kal. tepla.}$$

Při prvním směšovacím pokuse v odst. 67. v y - d a l o tedy 200 g vody teplé

$200 \times 15 \text{ kal.} = 3000 \text{ kal.} = 3 \text{ Kal. tepla,}$   
neboť ochladilo se o 15° C z 50° C na 35° C. A 200 g vody chladné spotřebovalo je, aby se oteplilo ze 20° C na 35° C, tedy též o 15° C.

<sup>48)</sup> Latinské podstatné jméno calor (čti kalor) = teplo.

Při pokuse druhém se 200 g vody padesátistupňové ochladilo na 32° C, tedy o 18° C, a vydalo při tom

$$200 \times 18 \text{ kal.} = 3600 \text{ kal.} = 3.6 \text{ Kal.}$$

Tímto teplem se oteplilo 300 g vody dvacítistupňové o 12° C, k čemuž potřebovalo

$$300 \times 12 \text{ kal.} = 3600 \text{ kal.} = 3.6 \text{ Kal.},$$

tedy zase stejně veliké množství.

Vypočítáme tudíž množství tepla  $Q$ , jež nutno dodatí, aby se  $m$  gramů vody oteplilo o  $t^\circ \text{C}$ , nebo ubratí, aby se totéž množství ochladilo o  $t^\circ \text{C}$ , když množství vody  $m$  násobíme počtem stupňů  $t$ . Jest tedy

$$Q = m.t. \quad (22)$$

Smícháme-li  $m_1$  gramů vody  $t_1^\circ \text{C}$  teplé s  $m_2$  gramy vody teplé  $t_2^\circ \text{C}$ , nabudeme  $m_1 + m_2$  gramů vody teplé  $t^\circ \text{C}$ . Je-li  $t$  větší než  $t_2$ , ochladí se  $m_1$  gramů vody teplejší o  $(t_1 - t)^\circ$  a vydá  $m_1(t_1 - t)$  kal. tepla.  $m_2$  gramů vody studenější se ohřeje o  $(t - t_2)^\circ$  a přijme  $m_2(t - t_2)$  kal. tepla. Provede-li se smíchání rychle, aby nebylo tepelných ztrát do okolí, můžeme předpokládati, že do okolí neuniklo žádné teplo a že tedy množství tepla, vydané látkou teplejší, jest rovno množství přijatému látkou studenější. Pak tedy platí rovnost:

$$m_1(t_1 - t) = m_2(t - t_2),$$

z níž lze vypočítati výslednou teplotu směsi  $t$ . Provedeme-li násobení na obou stranách, obdržíme:

$$m_1 t_1 - m_1 t = m_2 t - m_2 t_2.$$

Členy obsahující  $t$  převedme na jednu stranu a vytkneme  $t$ :

$$(m_1 + m_2)t = m_1 t_1 + m_2 t_2$$

Z toho

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} \quad (23)$$

Tento vzorec pro výpočet výsledné teploty směsi dvou nestejných množství vod různě teplých znal již Jiří Vilém Richmann (čti Ričman) (1711—1753), rodem Švéd. který byl profesorem a členem akademie v Petrohradě. Teplo si představoval jako jemnou nevažitelnou látku, která přechází z látek teplejších stýkajících se se studenými na studenější tak dlouho, až se vyrovnají teploty všech hmot, které se stýkají.

Že vzorec (23) platí pro míchání vod nestejně teplých, ať v množství stejném, ať různém, přesvědčíme se, dosadíme-li do něho hodnoty číselné z pokusů směšovacíh odstavce 67. Při prvním pokuse jest:

$$m_1 = m_2 = 200 \text{ g}, t_1 = 50^\circ, t_2 = 20^\circ, t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{70^\circ}{2} = 35^\circ$$

Při druhém:

$$m_1 = 200 \text{ g}, m_2 = 300 \text{ g}, t_1 = 50^\circ, t_2 = 20^\circ, \\ t = \frac{200 \cdot 50 + 300 \cdot 20}{200 + 300} = \frac{1000 + 600}{5} = \frac{1600}{5} = 32^\circ$$

Výsledky výpočtu shodují se s teplotami změřenými při pokusech.

Při přesných měřeních však bylo zjištěno, že 1 g vody nepotřebuje přesně stejného množství tepla, zahřeje-li se na příklad z  $0^\circ$  na  $1^\circ \text{C}$ , jako zahřeje-li se ze  $25^\circ$  na  $26^\circ \text{C}$ , nebo ze  $73^\circ$  na  $74^\circ \text{C}$  a t. d. Z toho vyplývá, že výměr jednotky množství tepelného, jedné kalorie, jakožto množství tepla, kterým se 1 g vody oteplí o  $1^\circ \text{C}$ , není dosti přesný. Aby to bylo přesně určité množství tepla, musí býti ještě udáno, z kolikátého stupně má býti ten 1 g vody oteplen o  $1^\circ \text{C}$ . Toto doplnění výměru jedné kalorie provedl první Regnault, který stanovil, že 1 kal. jest množství tepla, jímž se 1 g vody nulstupňové zahřeje na  $1^\circ \text{C}$ . Tato jednotka množství tepelného nazývá se kalorie Regnaultova nebo nulstupňová.

Pro měření ve vědeckých pracovnách jest výhodnější kalorie, kterou zavedl slavný anglický badatel Clarc Maxwell (čti Klerk Mexvel) (1831-1879). Určil za jednu kalorii to množství tepla, jímž se 1 g vody oteplí ze  $14\frac{1}{2}^\circ \text{C}$  na  $15\frac{1}{2}^\circ \text{C}$ . Tato kalorie nazývá se kalorie patnáctistupňová nebo Maxwelllova. Třetí druh jednotky tepelné jest kalorie průměrná, kterou zavedl německý badatel profesor Robert Vilém Bunsen (1811—1899), jakožto stý díl toho množství tepla, kterým se 1 g vody zahřeje z  $0^\circ \text{C}$  na  $100^\circ \text{C}$ . Jest zajímavo i výhodno, že tato kalorie Bunsenova jest téměř přesně rovna kalorii Maxwelllově. Naproti tomu jest nulstupňová

kalorie Regnaultova větší asi o 0·7%, takže

1 kal. Regnaultova = 1·007 kal. Maxwelllovy.

**69. Teplo specifické.** Provedme třetí směšovací pokus. Smíchejme stejná množství dvou různých látek nestejně teplých a změřme teplotu směsi. Na příklad smíchejme 200 g vody 51° C teplé se 200 g rtuti dvacítistupňové. Smíchání provedeme tak, že studenou rtuť vlejeme rychle do teplé vody a pak dobře promícháme a změřme teplo- měrem teplotu směsi 50° C. Tento výsledek nás překvapí a překvapil již Fahrenheita, který první provedl smíchání teplé vody se stejným obje- movým množstvím studené rtuti. Fahrenheit čekal, že teplota směsi bude střední teplota mezi teplotou vody a rtuti, ale směs měla teplotu vyšší než střední. Fahrenheit nedovedl si vy- světliti této neshody. To podařilo se až skotskému fysikovi Josefu Blackovi (čti Blekovi) (1728 až 1799), profesoru chemie na universitě v Glasgowe a pak v Edinburce, tímto způsobem:

Ochladí-li se 200 g vody 51° C teplé o 1° C, vydá  $200 \times 1 \text{ kal.} = 200 \text{ kal.}$  tepla, jež obdr- želo 200 g studené rtuti. Každý gram rtuti obdržel tedy jednu kalorií tepla a jí se ohřál ze 20° na 50° C, to jest o 30° C. Z toho soudil správně Black, že 1 g rtuti potřebuje mnohem méně tepla než 1 g vody, aby se oteplil o 1° C. Z čísel uvedených plyne, že potřebuje pouze třicátého dílu jedné kalorie, čili  $\frac{1}{30}$  kal., aby se ohřál o 1° C.

Black vystihl tuto zvláštnost rtuti vzhledem k vodě tím, že přisoudil rtuti menší schopnost při- jímati teplo, menší jímavost tepla, čili menší kapacitu<sup>40)</sup> pro teplo, které i Black si představoval jako nevažitelnou látku.

Místo pojmu tepelné kapacity zavedl r. 1784 Jan

<sup>40)</sup> Pechází z latinského slova capio (čti kápí) = jímám.



Gadolin pojem **specifické teplo** jakožto množství tepla, jímž se 1 g určité látky zahřeje o  $1^{\circ}\text{C}$ . Z uvedených směšovacích pokusů plyne, že specifické teplo vody jest 1 kal., specifické teplo rtuti  $\frac{1}{30}$  kal. = 0.033 kal. Specifické teplo, jež jest pro každou látku význačnou veličinou, značíváme písmenem **c**.

Aby se **m** gramů látky mající specifické teplo **c**, oteplilo o  $1^{\circ}\text{C}$ , jest k tomu třeba **m c** kalorií, kdežto **m'** gramů vody potřebuje ke svému oteplení o  $1^{\circ}$  **m'** kalorií. Aby se **m** gramů látky oteplilo o  $t^{\circ}\text{C}$ , jest třeba jí dodati množství tepla

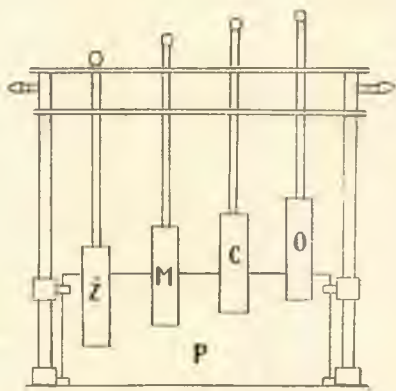
$$Q = m c t \text{ kal.}, \quad (24)$$

kdežto **m'** gramů vody oteplí se o  $t^{\circ}\text{C}$ , dodáme-li jí **m' t kal.** tepla. Z toho jest viděti, že pro výpočet množství tepla potřebného k tomu, aby se **m** gramů nějaké látky o specifickém teple **c** zahřálo o 1 nebo více stupňů, zastupuje součin **m c** počet **m'** gramů vody. Proto nazývá se součin **m.c** vodní hodnota těch **m** gramů látky. Udává tedy vodní hodnota, kolik gramů vody by se týmž množstvím tepla zahřálo o stejný počet stupňů.

Že mají různé kovy různá specifická tepla, můžeme se přesvědčiti tímto jednoduchým pokusem. Zahřejeme několik válečků z různých kovů, které mají stejně velikou hmotu i stejný objem, na stejnou teplotu. Nejlépe se to provede tak, že se vloží do společné vodní lázně, která se v kovové nádobě uvede do varu. Pak všechny válce najednou z lázně vyjmem a spustíme současně na parafinovou desku **P** (obr. 55) asi 0.7 cm silnou, upeněnou svisle ve stojánku. Uvidíme, že válce, odevzdávající své teplo parafinu, rozpustí ho nestejné množství a tedy že se též nestejně hluboko zaboří do parafinu. Nejhlouběji zapadne válec železný **Ž**, méně mosazný **M**, ještě méně cínový **C** a nejméně olovený **O**. Pokus ten svědčí o tom, že ty čtyři válce, ačkoliv mají stejně velikou hmotu a byly zahřáty všechny na touž teplotu, neměly v sobě každý stejně mnoho tepla. Nejméně tepla nabral v lázni válec olovený, nejvíce železný. Z toho plyne, že každý z těch čtyř

kovů má jiné specifické teplo, nejmenší olovo, největší železo. Ovšem jak jsou ta specifická tepla veliká, o tom nás tento pokus nepoučí.

Pokus podobný provedl první John Tyndall (čti Džon Tyndól) v druhé polovině XIX. století, ale místo válců užil několika stejně těžkých koulí z různých kovů, jež zahřál na touž teplotu a pak zapustil všechny současně do parafinového kotouče položeného vodorovně na trojnožce. Koule se zabořily různě hluboko do parafinu.

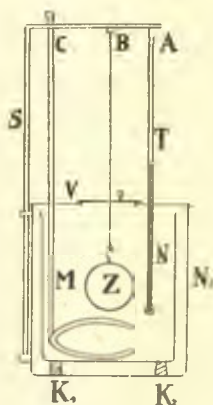


Obr. 55

**70. Směšovací kalorimetr.** Stanoviti specifické teplo látek jest důležitým úkolem fysikálním, který možno provésti různým způsobem. Nejobvyklejší způsob udal již Josef Black. Užil k tomu přístroje, který se nazývá směšovací kalorimetr, poněvadž se měření v něm provede smícháním dvou látek různě teplých a majících různá specifická tepla. Ježto jde o to, aby při míchání obou látek ani neuniklo žádné teplo do okolí, ani z okolí tepla nepřibýlo, dává se kalorimetru nyní tato podoba.

Vlastní nádoba kalorimetrická jest nádoba válcová z tenkého plechu N (obr. 56), obyčejně mosazného vyleštěného, při přístrojích zvláště jemných pozla-

ceného. Nádoba ta postaví se na korkové podložky  $K_1$ ,  $K_2$  do širší mosazné nádoby  $N_1$  ze silnějšího plechu, která jest uvnitř též dobře vyleštěna. Tuto nádobu lze postavit zase na korkové vložky do nádoby třetí z plechu zinkového s dvojitými stěnami; mezi ně nalije se vody. Tato nádoba v nákrese vy- značena není. Vyleštění stěn, korkové vložky, vrstva vzduchová mezi oběma nádobami vnitřními a ko- nečně vrstva vody v nádobě vnější chrání prostor vnitřní nádoby před ztrátami tepla i proti teplu vni-



Obr. 57

kajícímu dovnitř z okolí. S nádobou  $N_1$  jest spojen sloupek  $S$  se závěsem, na který se zavěšuje v bodě  $A$  jemný teploměr  $T$  dělený na desetiny stupně, v místě  $B$  tuhé těleso, jehož specifické teplo jest určovati, a v místě  $C$  jest otvor, kterým prochází zá- věs míchačky  $M$ . Míchačka jest podkovovitý mosazný plech, kterým lze pohybovati vzhůru i dolů buď přímo rukou, nebo při jemnějších přístrojích vede se od jeho horního držadla provazec přes kladku a za něj tahá pozorovatel stojící opodál a pohybuje tak mí- chačkou vzhůru a dolů. Kalorimetr přikryje se ví- kem  $V$ , v němž jsou potřebné otvory pro teploměr, závěs míchačky i pro vložení hmoty  $Z$ . Teplotu tep-

loměru měří pozorovatel buď přímo, nebo při přesnějších měřeních pozoruje teploměr s místa vzdálenějšího malým pozorovacím dalekohledem, zařízeným tak, že jest možno posouvatí jej po svislé tyči nahoru a dolů, při čemž osa dalekohledu zůstává vždy ve směru vodorovném.

Máme-li kalorimetrem směrovacím stanoviti specifické teplo  $c_1$  na příklad kulového závaží  $Z$  hmoty  $m_1$ , ohřejeme je na vyšší teplotu  $t_1$  v přístroji podobně zařízeném jako přístroj na urovnání bodu varu vody, ale upraveném tak, aby závaží  $Z$  nebylo obklopeno parou, nýbrž pouze suchým teplým vzduchem, jehož teplota  $t_1$  se změří teploměrem vloženým do zahřívajícího prostoru. Do kalorimetru, jehož vnitřní nádoba  $N$  se zváží napřed, odváží se  $m_2$  gramů kapaliny, jejíž specifické teplo  $c_2$  známe a kterou bývá obyčejně voda. Jen kdyby se těleso, jehož specifické teplo určujeme, ve vodě rozpouštělo, nutno voliti kapalinu jinou, v níž se těleso nerozpouští. Když se tepelný stav kapaliny i nádoby řádně vyrovná, změří se přesně teploměrem  $T$  teplota  $t_2$  kapaliny i kalorimetru. Pak se závaží  $Z$  rychle vyndá ze zahřívací nádoby a vloží do kapaliny v kalorimetru. Za stálého promíchávání míchačkou sleduje pak pozorovatel rtuť v teploměru  $T$ , až se ustálí na teplotě  $t$ , kterou změří co nejpřesněji.

Za předpokladu, že žádné teplo neuniklo do okolí ani nepřibýlo tepla z okolí, platí pak vztah: Množství tepla vydané závažím  $Z$  rovná se množství tepla přijatému kapalinou v kalorimetru. Ježto závaží  $Z$  ochladilo se o  $(t_1 - t)$  stupňů, vydalo množství tepla  $m_1 c_1 (t_1 - t)$  kal. Kapalina pak ohřála se o  $(t - t_2)$  stupňů, tedy přijala množství tepla  $m_2 c_2 (t - t_2)$  kal. Platí tedy rovnost:

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 c_2 (t - t_2), \quad (25)$$

z níž jest možno vypočítati neznámé  $c_1$

$$c_1 = \frac{m_2 c_2 (t - t_2)}{m_1 (t_1 - t)}$$

Ale, chceme-li obdržeti přesný výsledek pro specifické teplo vložené látky, nesmíme zapomenouti, že teplem vydaným tou látkou neořhřála se pouze kapalina v kalorimetru nýbrž i nádoba kalorimetrická, míchačka i teploměr. Všecky tři hmoty přijmou od závaží  $Z$  část tepla, jímž se všechny oteplí na výslednou teplotu  $t$ . Jest to tedy tak, jako kdyby bylo v kalorimetrické nádobě více kapaliny, než kolik jsme jí navážili, a to právě o tolik, kolik činí vodní hod-

noty těch tří předmětů, nádoby **N**, míchačky **M** a teploměru **T**.

Míchačka i nádoba bývají z mosazi, proto vypočítáme jejich vodní hodnotu, když jejich hmotu **m'** v gramech násobíme specifickým teplem mosazi **c'**, jež jest **0.093 kal.** Vodní hodnotu teploměru vypočítáme, uvážíme-li, že obsahuje v sobě rtuť a sklo. **1 cm<sup>3</sup>** rtuti má hmotu **13.6 g** a specifické teplo rtuti jest, jak jsme viděli již v odst. **69.**, **8.033 kal.** Jest tedy vodní hodnota jednoho **cm<sup>3</sup>** rtuti  **$13.6 \times 0.033 = 0.45$**  jednotky. **1 cm<sup>3</sup>** skla má hmotu **2.45 g** a specifické teplo skla jest **0.19 kal.**, takže vodní hodnota jednoho **cm<sup>3</sup>** skla jest  **$2.45 \times 0.19 = 0.47$**  jednotky, tedy velmi blízká vodní hodnotě jednoho **cm<sup>3</sup>** rtuti. Jest tedy průměrná vodní hodnota jednoho **cm<sup>3</sup>** teploměru **0.46 jednotky**. Při měření výsledné teploty v kalorimetru zahřívá se jen ta část teploměru, která jest ponořena do kapaliny. Označme objem ponořené části teploměru **v**, pak jest jeho vodní hodnota **0.46. v** jednotek. Určí se tedy tak, že si zjistíme, kam až se teploměr ponořuje do kapaliny v kalorimetru při měření, a pak si změříme tento ponořený objem kalibrovanou nádobou. Nalijeme do ní vody až po určitý dílek a pak vnoříme do ní teploměr z kalorimetru tak, aby se ponořil právě tak hluboko, jako byl ponořen v kalorimetru. Počet **cm<sup>3</sup>**, o který stoupne hladina vody v kalibrované nádobě, udá ponořený objem teploměru **v**.

Určivše si takto vodní hodnoty nádoby, míchačky i teploměru, přičteme je k vodní hodnotě kapaliny **m.c<sub>2</sub>** v kalorimetru.

Tím se doplní rovnice (25) na tvar tento:

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = (m_2 c_2 + m' c' + 0.46 v) (t - t_2), \quad (25)'$$

z něhož opět vypočítáme **c<sub>1</sub>**.

Směšovacím kalorimetrem lze též stanoviti specifické teplo kapalin, a to dvojím způsobem. Máme-li kapalinu, jejíž specifické teplo chceme měřiti, dosti značnou záso bu, nalijeme ji do kalorimetru množství **m<sub>2</sub>** místo vody a do ní vložíme zahřátý předmět hmoty **m<sub>1</sub>**, jehož specifické teplo **c<sub>1</sub>** již známe, na příklad mozasné závaží. Pak se celé měření provede jako v případě předešlém, ale z rovnice (25)' počítáme pak neznámou veličinu **c<sub>1</sub>**. Je-li kapalina, jejíž specifické teplo určíme jen menší množstvím, vpravíme ji do skleněné rourky opatřené baňkou na způsob teploměru tak, jako se plní teploměrná baňka a rourka rtutí, pak z rourky vypudíme vzduch a rourku zatavíme. Tuto baňku s kapalinou pak zahřejeme na vyšší teplotu **t<sub>1</sub>** a vložíme do vody v kalorimetru. Promíchavše vodu a změřivše výslednou teplotu **t**, můžeme počítati neznámé specifické



teplo  $c_1$ . Jen nutno pamatovati na to, že na teplotu  $t''$  byla ohřáta nejen kapalina, nýbrž i sklo baňky a že se též ochladilo na  $t''$  a tedy vydalo množství tepla  $m_1' c_1' (t_1 - t'')$ , když  $m_1'$  značí hmotu skla a  $c_1'$  jeho specifické teplo. Toto množství tepla jest nutno přidati k množství tepla stojícímu na levé straně rovnice (25)' a po této úpravě lze z ní počítati  $c_1$ .

O specifickém teple plynů a jeho určování proběheme později.

**71. Výsledky měření specifických tepel látek tuhých a kapalin.** Specifická tepla látek tuhých i kapalin měřili mnozí pozorovatelé a zjistili všichni souhlasně, že specifické teplo určité látky není veličinou přesně stálou, nýbrž že závisí především na teplotě látky. Jiného množství tepla potřebuje 1 g látky, aby se ohřál z  $0^\circ$  na  $1^\circ \text{C}$  než k tomu, aby se oteplil z  $29^\circ$  na  $30^\circ \text{C}$ , nebo ze  $78^\circ$  na  $79^\circ \text{C}$  atd. Totéž, co jsme již shledali u vody, když jsme definovali pojem jedné kalorie, platí i pro ostatní látky. Označme příponou u veličiny  $c$  stupeň, pro který to specifické teplo platí;  $c_0$  znamená tedy specifické teplo při teplotě bodu mrazu,  $c_{50}$  specifické teplo při  $50^\circ \text{C}$ ,  $c_{100}$  specifické teplo při bodu varu.

U látek tuhých specifické teplo většinou stoupá s rostoucí teplotou. Tak na příklad pro stříbro jest:

$c_0$	=	0.0545	kal.
$c_{100}$	=	0.0566	„
$c_{200}$	=	0.0588	„
$c_{300}$	=	0.0609	„

Podobně pro zinek:

$c_0$	=	0.0907	kal.
$c_{100}$	=	0.0951	„
$c_{200}$	=	0.0996	„
$c_{300}$	=	0.1040	„

Platina má:

$c_0$	=	0.032	kal.
$c_{100}$	=	0.033	„
$c_{500}$	=	0.038	„
$c_{1000}$	=	0.048	„

Dle nejnovějších měření bylo zjištěno pro vodu:

$c_0$	=	1.007	kal.
$c_{15}$	=	1.000	kal.
$c_{25}$	=	0.997	„
$c_{30}$	=	0.999	„

$C_{50}$	$= 1.003$	kal.
$C_{70}$	$= 1.009$	„
$C_{100}$	$= 1.012$	„

Nejmenší hodnotu má specifické teplo vody pro  $25^{\circ}\text{C}$ , k níž od  $0^{\circ}\text{C}$  ponenáhlu klesá a pak zase stoupá. Pro rtuť bylo pečlivými měřeními zjištěno, že její specifické teplo s rostoucí teplotou klesá. Tak má rtuť:

$C_0$	$= 0.03337$	kal.
$C_{20}$	$= 0.03326$	„
$C_{40}$	$= 0.03315$	„
$C_{60}$	$= 0.03305$	„
$C_{80}$	$= 0.03294$	„
$C_{100}$	$= 0.03284$	„
$C_{200}$	$= 0.03235$	„

Ačkoliv jsou tyto změny zanedbatelné, musí se k nim přihlížeti při přesných pracích vědeckých. Zvláště však mnoho se mění specifická tepla s měnící se teplotou u prvků boru, křemíku a uhlíku, pro něž podrobná měření provedl profesor polytechniky v Zürichu Jindřich Bedřich Weber v letech 1872 až 1875. Našel, že bor má při  $-40^{\circ}\text{C}$  specifické teplo  $0.1965$  kal., při  $233^{\circ}\text{C}$  již téměř dvakrát tolik  $0.3663$  kal. Křemík má při  $-40^{\circ}\text{C}$   $0.1360$  kal., při  $233^{\circ}$  již  $0.2029$  kal. Uhlík jako diamant má při  $-50^{\circ}\text{C}$  specifické teplo  $0.0635$  kal., při  $600^{\circ}\text{C}$  již hodnotu skoro sedmkrát větší  $0.4408$  kal.

Místo specifického tepla platného jen při určité teplotě zavádí se hlavně v technické praxi průměrné specifické teplo, které platí mezi dvěma zvolenými teplotami. Tak má na příklad platina průměrné specifické teplo v mezích  $0^{\circ}$  až  $100^{\circ}\text{C}$

$$C_{0, 100} = 0.0323 \text{ kal.},$$

v mezích  $0^{\circ}$  až  $1000^{\circ}\text{C}$

$$C_{0, 1000} = 0.0377 \text{ kal.}$$

Hodnoty, které jsme uvedli v odstavci 70. pro specifické teplo rtuti ( $0.033$  kal.), skla ( $0.19$  kal.) a mosazi ( $0.093$  kal.), jsou též hodnoty průměrné v mezích  $0^{\circ}$  až  $40^{\circ}\text{C}$ .

Dále bylo zjištěno, že specifické teplo se značně mění, změní-li se skupenství látky. Nejnapadnější změna jest u ledu a vody. Led má specifické teplo  $0.51$  kal., voda okrouhle  $1$  kal. Jod tuhý má  $c = 0.054$  kal., kapalný  $0.108$  kal., síra tuhá v mezích od  $0^{\circ}$  do  $100^{\circ}\text{C}$   $0.23$  kal., kapalná od  $120^{\circ}$  do  $150^{\circ}\text{C}$   $0.134$  kal., olovo tuhé od  $0^{\circ}$  do  $100^{\circ}\text{C}$   $0.0314$  kal., tekuté od  $350^{\circ}$  do  $450^{\circ}\text{C}$   $0.0402$  kal.

Některé látky vyskytují se v různých tak zvaných vidlech, to jest mají stejné složení chemické, ale svým zevnějškem se od sebe liší. Z nich nejdůležitější jest

uhlík, který vedle vidu plynného vyskytuje se ve trojím vidu tuhém a to jako uhlí, tuha čili grafit, a diamant. Takové látky mají specifické teplo v každém vidu jiné. Tak má při 60° C diamant specifické teplo 0·153 kal., grafit 0·199 kal., čisté dřevěné uhlí 0·194 kal.

Také látky téže jakosti, lišící se pouze některou vlastností fysikální, mají různá specifická tepla. Na příklad čistá měď měkká má průměrné specifické teplo mezi 0° až 100° C 0·0950 kal., měď tvrdá 0·0936 kal.; sklo mírně chlazené 0·1937 kal., rychle chlazené křehké 0·1923 kal. a t. d.

Mimo to bylo zjištěno, že specifické teplo u žádné látky tuhé nedosahuje hodnoty 1 kalorie, která přísluší vodě. Toto veliké specifické teplo vody jest příčinou, že se voda otepluje velmi pomalu, mnohem pomaleji než na příklad pevná půda, jejíž specifické teplo průměrné jest asi 0·25 kal. V důsledku toho jest vždy na výsluní voda chladnější než půda pevná na břehu. Proto jest též vzduch nad vodou vždy v létě chladnější než nad vyhřátou půdou. Ale naopak zase se voda pomaleji ochlazuje než půda, když ji přestane Slunce zahřívati. Proto po zapadu Slunce za letního večera jest voda zpravidla teplejší než půda.

Pomalé oteplování i ochlazování vody má také ten důsledek, že krajiny při velkých jezezech nebo přímořské nejsou vystaveny tak náhlým střídáním horka a chladu a mají proto též mírnější podnebí než krajiny vnitrozemské; neboť oteplený vzduch nad širou vodní hladinou, která jen pomalu mění svou teplotu, mírní i prudké ochlazení i zabráňuje prudkému přílišnému vedru.

**72. Zákon Dulong-Petitův.** Když byla změřena specifická tepla pro mnoho různých prvků tuhých, ukázal se ten nápadný výsledek, že největší specifická tepla mají ty prvky, které mají nejmenší atomové hmoty, a naopak prvky s největšími hmotami atomovými mají speci-

fická tepla nejmenší. Tuto vzájemnost zkoumali podrobně dva profesoři polytechniky v Paříži Alexis Petit (čti Ptí) a Pierre Dulong (čti Pier Dylong) a r. 1819 vyslovili zákon, že součin ze specifického tepla a atomové hmoty prvků jest veličina stálá. Zákon ten byl po nich nazván zákon Dulong-Petitův. Označíme-li atomovou hmotu  $\alpha$  a specifické teplo  $c$ , jest vyjádřen zákon ten rovnicí:

$$\alpha \cdot c = \text{stálé.}$$

Součin  $\alpha \cdot c$  značí množství tepla, jímž se 1 gram atom určitého prvku oteplí o  $1^{\circ}\text{C}$  a nazývá se atomové teplo. Lze tedy vysloviti zákon Dulong-Petitův takto: Atomové teplo pro prvky tuhé jest veličinou stálou.

Když však bylo poznáno, že se specifické teplo mění s teplotou látky, plynulo z toho nezbytně, že též atomové teplo závisí na teplotě a může býti stálým jen pro určitou teplotu.

Jako důkaz správnosti zákonu Dulong-Petitova jsou v následující tabulce uvedeny hodnoty atomových hmot a specifických tepel při  $18^{\circ}\text{C}$  některých známějších prvků, postupujících dle stoupajících atomových hmot; v posledním sloupci tabulky vypočten jest součin  $\alpha c$ .

Prvek	$\alpha$	$c_{18}$	$\alpha c_{18}$
Lithium	6.94	0.94	6.52
Magnesium	24.32	0.25	6.08
Hliník	27.1	0.214	5.80
Železo	55.84	0.105	5.86
Nikl	58.68	0.106	6.22
Měď	63.57	0.094	5.98
Zinek	65.37	0.092	6.01
Paladium	106.7	0.058	6.12
Stříbro	107.88	0.055	5.93
Cín	118.7	0.052	6.17
Platina	195.2	0.032	6.25
Zlato	197.2	0.031	6.11
Olovo	207.2	0.031	6.42

Průměrná hodnota součinu  $\alpha c$  jest 6·2 kal. Látky, pro něž se specifické teplo velmi mnoho mění s teplotou, dávají pro atomové teplo výsledky zcela jiné. Jsou to uvedené již prvky bor, uhlík, křemík, jimž přísluší hodnoty tyto:

Prvek	$\alpha$	$c_{18}$	$\alpha c_{18}$
Bor	11·0	0·235	2·59
Uhlík	12·0	0·120	1·44
Křemík	28·3	0·168	4·75

Jejich atomová tepla jsou značně menší než uvedená hodnota průměrná 6·2 kal. Jestliže však vypočítáme atomová tepla pro teploty vysoké, pro něž se již mění specifická tepla těch prvků jen velmi málo, obdržíme výsledky značně bližší průměrné hodnotě 6·2 kal. Tak jsou mezní hodnoty specifického tepla boru 0·50 kal., uhlíku 0·47 kal., křemíku 0·21 kal., atomová tepla pak jsou v témže pořadí prvků: 5·5 kal., 5·64 kal., 5·94 kal. Hodnoty ty neliší se již mnoho od průměrné hodnoty atomového tepla.

Vedle tepla atomového bylo zavedeno též teplo molekulární jakožto množství tepla, jímž se 1 grammolekula určité látky oteplí o 1° C. Označíme-li molekulovou hmotu  $\mu$  a specifické teplo opět  $c$ , jest molekulární teplo dáno součinem  $\mu c$ . O něm vyslovil r. 1831 profesor královecké university František Neumann (čti Najman) zákon obdobný zákonu Dulong-Petitovu, že jest též veličinou stálou pro všechny sloučeniny.

Ale pečlivá zkoumání Regnaultova ukázala, že tak obecně zákon ten neplatí, nýbrž že jen sloučeniny obdobného složení mají molekulové teplo přibližně stálé. Ale pro každý typ sloučenin jest jeho hodnota jiná.

Neumannův zákon nahradil r. 1844 slavný anglický badatel James Joule (čti Džeims Džaul) a r. 1864 profesor university heidelberské Herrmann Kopp zákonem jiným, že totiž molekulární teplo sloučeniny rovná se součtu atomových tepel



atomu prvků zastoupených v molekule sloučeniny. Zákon ten lze vyjádřiti rovnicí

$$\mu c = n_1 \alpha_1 c_1 + n_2 \alpha_2 c_2 + n_3 \alpha_3 c_3 + \dots$$

ktež  $n_1, n_2, n_3, \dots$  značí počet atomů jednotlivého prvku obsažených ve sloučenině. Jako se při slučování atomů v molekuly sečítají atomové hmoty, tak se zde sečítají atomová tepla ve výsledné teplo molekulární. Ovšem za atomová tepla jest nutno dosazovati pro každý prvek jeho vlastní hodnotu a nikoli jen hodnotu průměrnou **6.2 kal.** Zákon Joule-Koppův se dobře osvědčil. Hodnoty molekulárních tepel vypočtené dle něho pro sloučeniny souhlasí s hodnotami, jež byly zjednány přímým měřením.

Zcela obdobný zákon platí též pro specifické teplo slitin kovových i pro sklo. První znal již Regnault, druhý našel profesor university jenské Adolf Winkelmann r. 1893. Slijeme-li  $x$  vahových dílů látky mající specif. teplo  $c_1$  s  $y$  dílů látky o specif. teple  $c_2$  se  $z$  dílů látky mající specif. teplo  $c_3$  atd., obdržíme slitinu specifického tepla  $c$ , pro něž platí

$$c = x c_1 + y c_2 + z c_3 + \dots$$

Poměrná čísla  $x, y, z$  jsou při tom dána v setinách množství celkového, takže

$$x + y + z + \dots = 1.$$

Slova lze vyjádřiti tento výsledek takto: Ke specifickému teplu slitiny přispívá každá součást svým specifickým teplem dle svého poměrného zastoupení ve slitině. Nebo: Specifické teplo slitiny vypočítá se ze specifických tepel součástí počtem směšovacími.

Toto pravidlo osvědčuje se též přibližně pro výpočet specifických tepel roztoků látek tuhých v kapalinách.

**73. Jak se měří kalorimetrem směšovacími vysoké a nízké teploty?** Směšovacího kalorimetru lze užití s výhodou též k tomu, abychom správně změřili teploty značně vysoké, po případě velmi nízké, pro které již nestačí obyčejné teploměry. Měření provede se takto:

Do kalorimetru dá se odvážené množství vody, jejíž hmota spolu s vodní hodnotou kalorimetru, míchačky a teploměru, budiž  $m_2$ , teplota vody i kalorimetru budiž  $t_2$ . Do vody vložíme pak odvážené množství  $m_1$  nějaké látky tuhé, jejíž specifické teplo jest přesně známo a mění se jen málo s teplotou. Hodí se k tomu dobře platinové závaží nebo koule, která má vysokou nebo nízkou teplotu neznámou  $t_1$ . Při vložení hmoty velmi horké do vody

v kalorimetru jest dbáti toho, aby kapalina z kalorimetru nevystříkla. Náležitě kapalinu promíchavše změříme pak výslednou teplotu kapaliny, kalorimetru i vloženého tělesa  $t$ . Je-li  $c_1$  průměrné specifické teplo vloženého kovu platné v mezích teplot  $t_1$  až  $t$ , vydal, po případě přijal vložený kov množství tepla  $m_1 c_1 (t_1 - t)$  kal. Voda spolu s kalorimetrem pak přijala, po případě vydala množství tepla  $m_2 (t - t_2)$ . Ježto není tepelných ztrát, platí rovnost

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 (t - t_2),$$

z níž vypočítáme neznámé  $t_1$ . Provedeme-li násobení na levé straně, obdržíme:

$$m_1 c_1 t_1 - m_1 c_1 t = m_2 (t - t_2);$$

z toho dále

$$m_1 c_1 t_1 = m_2 (t - t_2) + m_1 c_1 t,$$

$$t_1 = \frac{m_2 (t - t_2)}{m_1 c_1} + t.$$

Jinak lze rovnici psáti

$$t_1 c_1 = \frac{m_2 (t - t_2)}{m_1} + t c_1,$$

$t_1 c_1$  jest množství tepla, jehož potřebuje 1 g látky, kterou jsme do vody v kalorimetru vložili, aby se ohřál z  $0^\circ$  na  $t_1$ , a podobně jest  $t c_1$  množství tepla, kterého potřebuje též 1 g, aby se oteplil z  $0^\circ$  na  $t$ . Součiny  $c_1 t$  lze si předem vypočítati a sestaviti v tabulku, v níž v jednom sloupci jsou uvedeny teploty, ve druhém příslušné hodnoty sou-

činů  $c_1 t$ . Také poměr  $\frac{m_2}{m_1}$  lze si vypočítati jednou pro vždy,

když užijeme po každé téhož kusu kovu i stejného množství vody v kalorimetru. Pak tedy zbývá jen změřiti si

teploty  $t_2$  a  $t$ , rozdílem  $t - t_2$  násobiti poměr  $\frac{m_2}{m_1}$ , z tabulky vyčísti  $t c_1$  a číselnou hodnotu součtu obou výrazů  $\frac{m_2}{m_1} (t - t_2) + t c_1$ , vyhledati zase v tabulce ve sloupci druhém

a konečně ze sloupce prvního vyčísti příslušnou hledanou teplotu  $t_1$ . Není-li v tabulce obsažen právě příslušný součin  $c_1 t$ , hledá se příslušná hodnota teploty  $t$  tak zvaným prokládáním tabulek zcela podobně, jak bylo vysvětleno při tabulkách na redukci barometrického měření na  $0^\circ$  C.

**74. O specifickém teple plynů.** Zahřeje-li se 1 gram látky tuhé nebo kapalné o  $1^\circ$  C, zvětší se poněkud též jeho objem. Ale zvětšení to se děje proti tlaku vzdušnému, který se všech stran působí na povrch toho 1 gramu, a proto musí roztahující se látka

vykonati určitou práci, aby působení toho tlaku překonala. Ovšem u látek tuhých i kapalných jest zvětšení objemu při zahřátí o  $1^{\circ}\text{C}$  nepatrné a proto též vykonaná práce jest tak maličká, že nepadá na váhu. Ale zcela jinak jest tomu u plynů.

Zahřeje-li se  $1\text{ g}$  plynu z  $0^{\circ}$  na  $1^{\circ}\text{C}$ , zvětší se jeho objem o  $\frac{1}{273}$  původního objemu dle zákona Gay-Lussacova, děje-li se ta změna při stálém tlaku. To jest již zvětšení objemu dosti veliké, a aby se mohlo provést, jest k tomu třeba vykonati práci dosti značnou, kterou musí konati plyn na útraty tepla, jež se mu dodává. Když se však  $1\text{ g}$  plynu zahřeje o  $1^{\circ}\text{C}$ , ale tak, že jest při tom zcela uzavřen a že se jeho objem nemůže zvětšovat, odpaďává ta práce a tím také spotřeba tepla na vykonání té práce. Proto jest u plynů rozlišovati dvojí specifické teplo.

Oteplí-li se  $1\text{ g}$  plynu o  $1^{\circ}\text{C}$  při stálém tlaku (isobarycky) jest nutno mu dodati množství tepla, jež nazveme specifické teplo při stálém tlaku a značiti budeme  $c$  s příponou  $p$ , tedy  $C_p$ . Oteplí-li se  $1\text{ g}$  plynu při stálém objemu (isochoricky), nutno mu dodati množství tepla, které nazveme specifické teplo při stálém objemu a značiti budeme  $c$  s příponou  $v$ , tedy  $C_v$ .

Z toho co bylo uvedeno, již vyplývá, že  $C_p$  musí býti větší než  $C_v$ , neboť v obou případech musí se totéž množství plynu ohřát o  $1^{\circ}\text{C}$ , ale mimo to musí při změně isobarycké plyn vykonati práci při svém roztažení objemovém. Nutno mu tedy dodati více tepla, a to právě o tolik, aby tato přebývající část stačila na vykonání potřebné práce.

Měření specifické teplo  $C_p$  při stálém tlaku jest možno též kalorimetrem směšovacím. Arciž nelze přímo vpustiti plyn do kapaliny v kalorimetru, poněvadž by z ní unikl zase, nesděliv jí svého tepla. Proto prohání se ohřátý plyn vhodným stálým tlakem hadovitou trubicí z tenkého plechu, zasazenou do kalorimetru, a když ho určité množství prošlo, stanoví se výsledná teplota kapaliny v kalorimetru. Při výpočtu specifického tepla plynu  $C_p$  z rovnice (25) nutno připočítati ke hmotě vody v kalorimetru vodní hodnotu hmoty plechové hadovité trubice, neboť též ona spolu s vodou v kalorimetru se otepluje teplem, jež jí přivádí ohřátý plyn, a ustálí se na téže teplotě jako voda.

Tímto způsobem provedli první měření specifického tepla plynů při stálém tlaku francouzští badatelé De la Roche (čti Ros) a Berard r. 1812 pro několik plynů, ale obdrželi výsledky ne zcela přesné. Po nich prováděli měření mnozí badatelé, nejdokonaleji Regnault roku

1862, pak r. 1875 mladý německý fysik, potomní profesor na universitě v Erlangách Eilhard Wiedeman (čti Ailhard Videman) a v letech 1894 až 1897 Silvio Lus-sana, profesor fysiky na universitě v Sieně.

Stanoviti specifické teplo plynu při stálém objemu jest úloha obtížnější. Nejjednodušeji bylo by ji možno provést tak, že by se určité množství plynu, uzavřené neprodyšně v plechové nádobě, zahřálo v nějaké lázni a pak vložilo do kapaliny v kalorimetru, načež by se změnila výsledná teplota. Ale výsledek takového měření by jistě neuspokojil. Neboť hmota plynu obsažená v plechové nádobě jest nepatrná proti hmotě nádoby a proto i při největší pečlivosti nebylo by možno docíliti touto kalorimetrickou metodou přesných výsledků.

Teprve r. 1886 podařilo se anglickému badateli Johnu Jolyovi (čti Džonu Džolyovi) stanoviti specifické teplo některých plynů při stálém objemu tím, že užil kalorimetru parního, to jest zařízení, v němž se na studeném předmětě zavěšeném na jemných vahách sráží vodní pára. Tím se ten předmět oteplí na teplotu páry a zároveň se jeho váha zvětší o váhu páry, která se na něm srazila v podobě vodních kapek. Když se zváží, kolik páry se srazilo, může se z toho vypočítati specifické teplo látky zavěšené na vahách. Joly užil jakožto přivěšeného předmětu dvou měděných balonů, majících hmotu **92.2 g**, do nichž se vešlo **158 cm<sup>3</sup>**. Jeden byl naplněn plynem, jehož specif. teplo **C<sub>v</sub>** určoval, druhý byl vzduchoprázdný. Plyn plnil balon jednak za obvyčejného tlaku, jednak stlačenými až na 26 atmosfér, aby se přesvědčil, zdali závisí **C<sub>v</sub>** na tlaku plynu. Každý balon byl zavěšen na jedné misce citlivých rovnoramenných vah. Do uzavřeného prostoru, kde byly oba balony zavěšeny, vedl vodní páru vycházející z vroucí vody. Vážením zjistil, že se na balonu plném srazilo více páry než na prázd-ném. To bylo způsobeno tím, že plný balon odnímal srážejícím se parám více tepla než balon prázdny. Z toho pak vypočítal Joly specifické teplo plynu obsaženého v balonu.

Z výsledků měření těch pro **C<sub>p</sub>** i **C<sub>v</sub>** bylo shledáno, že poměr obou specifických tepel plynových  $\frac{C_p}{C_v}$  jest stálou veličinou, která má i v jiných oborech fysikálních důležitý význam a kterou lze vypočítati z měření jednodušších, než byly pokusy Jolyovy. Proto se výhodněji určuje specifické teplo plynů při stálém objemu ze změřené hodnoty specifického tepla při stálém tlaku a z poměru

$$\kappa = \frac{C_p}{C_v}$$

který se bezpečně stanoví cestou jinou.

**75. Jak se určuje poměr  $\frac{C_p}{C_v}$ ?** První cesta, kterou lze určit

poměr  $k = \frac{C_p}{C_v}$  jest založena na šíření zvuku v plynech. Pro rychlost, kterou se šíří zvuk v plynu specifické hmoty  $\sigma$  při teplotě  $t$  a tlaku  $p$  odvodil r. 1816 slavný francouzský přírodovědec a matematik Pierre Laplace (čti Pier Laplas) na základě teoretickém vzorec:

$$C_t = \sqrt{k \cdot \frac{p}{\sigma}}$$

kdež  $k$  jest právě poměr obou specifických tepel plynu, jimž se zvuk šíří. Poněvadž byla přesně změřena mnohými pozorovateli a různými metodami rychlost zvuku ve vzduchu a protože též ostatní veličiny  $p$  a  $\sigma$  jsou pro vzduch přesně měřitelný, lze z toho vzorce vypočítati  $k$ . Zdvojnásobíme-li obě strany rovnice, obdržíme:

$$C_t^2 = k \cdot \frac{p}{\sigma},$$

z toho

$$k = \frac{\sigma \cdot C_t^2}{p}$$

Pro vzduch při  $0^\circ \text{ C}$  a tlaku 1 atmosféry jest  $\sigma = 0.001293 \text{ g}$  v  $\text{cm}^3$ ,  $C_t = 331 \text{ m}$  za vteřinu =  $33100 \text{ cm}$  za vteřinu. Tlak 1 atmosféry jest nutno vyjádřiti v silových jednotkách dynách (viz odst. 65.). Ježto tlak 1 atmosféry (viz odst. 18.) rovná se tlaku sloupce 76 cm vysokého nulstupňové rtuti na  $1 \text{ cm}^2$  při hladině mořské v zeměpisné šíři  $45^\circ$ , jest tlak ten roven tlaku

$$13.596 \times 76 \text{ gramů na } 1 \text{ cm}^2 = 1033.3 \text{ g na } 1 \text{ cm}^2.$$

Ten přepočítáme na dyny, násobíme-li zrychlením zemské tíže v šířce zeměpisné  $45^\circ$  při hladině mořské, jež jest  $980.66 \text{ cm}$  za vteřinu. Jest tedy 1 atmosféra =  $1.013.300 \text{ dyn na cm}^2$ . Posadíme-li tuto hodnotu za  $p$  do rovnice pro  $k$ , obdržíme

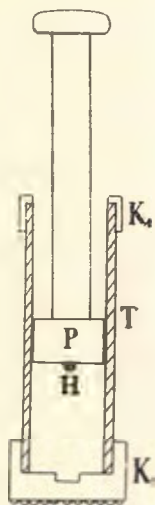
$$k = 1.40.$$

Druhá cesta, kterou lze určit poměr specifických tepel  $\frac{C_p}{C_v}$  zakládá se na zákoně, který odvodil profesor polytechniky a university v Paříži Simeon Poisson (čti Poason) (1781—1840) pro adiabatické<sup>50)</sup> změny ob-

<sup>50)</sup> Z řeckého slova διαβαίω (čti diabaino) = prostupuji, procházím, a předpony α (alfa) značí zápor jako české ne.



jemu a tlaku plynů. Nazýváme tak změny, jež se s plynem provedou tak rychle, že se při nich nemůže vyrovnati teplota plynu s teplotou okolí; při rychlém stlačení se plyn zahřeje, při prudkém rozpětí se ochladí. Příkladem takové adiabatické změny stavu vzduchového jest prudké stlačení vzduchu ve známém vzdušném zapalovadle. Jest to skleněná silnostěnná trubice válcová **T** (obr. 57), v níž se pohybuje píst dobře přiléhající **P** opatřený táhlem. Na pístě jest dole háček, na nějž se připevní kousek zápalné hubky **H**. Trubice má nahoře kování **K**,

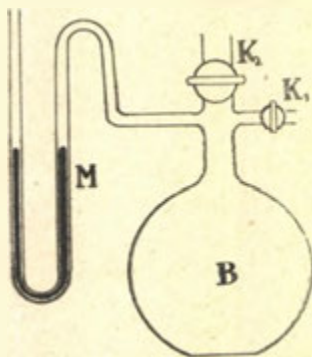


Obr. 57

dole **K<sub>2</sub>**. Kování **K<sub>2</sub>** má na horní straně malou prohlubinku, dole jest zdrsнено, aby se při pokuse nesmekala trubice, když se dolní plochou opře o stůl. Když se píst vrazí prudce do trubice postavené svisle, plyn se prudkým stlačením tak zahřeje, že zápalná hubka začne doutnati, takže se v trubici objeví kouř, když píst povytáhneme, po případě se někdy i hubka zapálí, což se objeví zábleskem v trubici. Poněvadž byl ten děj proveden rychle, nemůže se teplo vyvinuté sdělití okolí, proto jest to děj adiabatický. Rozšíření tepla na venek brání zde silná trubice skleněná, již se teplo velmi špatně rozvádí.

Profesor Poisson odvodil, že pro takové adiabatické zjevy neplatí zákon Boyle-Mariotteův, platící jen pro zjevy isothermické, při nichž jest součin z tlaku a objemu veličinou stálou, nýbrž že platí tu vztah sice podobný, ale ponekud složitější. Součin z tlaku a objemu povýšeného na  $k$ -tou mocninu jest veličinou stálou; při tom  $k$  značí poměr specifického tepla plynu při stálém tlaku  $C_p$  ku specifickému teplu při stálém objemu  $C_v$ . Zákon Poissonův lze tedy napsati rovnici

$p \cdot v^k = \text{stálé veličině.}$



Obr. 58

Na základě tohoto vztahu vypracovali r. 1819 dva francouzští průmyslníci Clement a Desormes (čti Kleman a Dezorm) jednoduchou metodu, jak lze stanoviti veličinu  $k$ . Užili k tomu velkého skleněného balonu **B** (obr. 58), který byl na jedné straně spojen trubicí s otevřeným manometrem **M**, na druhé přes kohout **K<sub>1</sub>** s hustilkou nebo vývěvou. Širokým otvorem v hrdle kohoutu **K<sub>2</sub>** bylo možno spojití jej se vzduchem zevnějším. Měření a určení veličiny  $k$  provede se jím takto:

Nejdříve se hustilkou mírně zvýší napětí uzavřeného vzduchu po případě jiného plynu, kterým jest balon naplněn. Tím nabude uzavřený plyn přetlaku proti tlaku zevního vzduchu, který se změří rozdílem hladin v obou ramenech manometrických. Napětí, kterého nabude plyn, když se jeho teplota vyrovná s okolím budiž  $p_1$ , objem plynu v balonu  $v_1$ , specifická hmotnost  $\sigma_1$ . Pak se rychle otevře kohout **K<sub>2</sub>**, jímž část plynu unikne do vnějšího vzduchu, a celé původně uzavřené množství plynu nabude objemu  $v_2$ , specifické hmoty  $\sigma_2$  a napětí jeho vy-

rovná se tlakem zevnějšího vzduchu  $p_2$ . Při tom se tlak a objem změnily adiabaticky, plyn se náhlým rozpětím ochladil a proto veličiny  $p_2$ ,  $v_2$  souvisí s původním napětím  $p_1$  a objemem  $v_1$  vztahem Poissonovým, platí tedy:

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$$

Kohout  $K_1$  se nechá otevřený jen zlomek vteřiny a pak se zase hned uzavře, takže plyn po chvíli vyrovná svou teplotu s teplotou okolního prostoru, kterou měl původně, přijímaje stěnami balonu teplo od okolního vzduchu. Tím však jeho napětí zase poněkud stoupne nad tlak vzduchu vnějšího, což se ukáže zase rozdílem hladin na manometru. Je-li v tomto třetím stavu napětí plynu v baloně  $p_3$ , souvisí se stavem původním  $p_1$ ,  $v_1$  dle zákona Boyle-Mariotteova, poněvadž jde o změnu isothermickou. Proto platí:

$$p_1 v_1 = p_3 v_2,$$

neboť celkový objem jest nyní též, jako byl hned po otevření kohoutu  $K_2$ . Z rovnice poslední vypočteme poměr

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_3}{p_1}$$

Z rovnice předešlé pak lze počítati  $k$ -tou mocninu téhož poměru:

$$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \frac{p_3}{p_1}$$

Povýšíme-li též obě strany předcházející rovnice na  $k$ -tou, obdržíme:

$$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^k$$

Přirovnáme-li spolu oba ty výsledky, zbavíme se neznámého objemu  $v_2$  a dostaneme rovnici:

$$\left(\frac{p_3}{p_1}\right)^k = \frac{p_2}{p_1}$$

jež obsahuje jedinou neznámou veličinu  $k$ , kterou můžeme z ní počítati, ovšem užitím logaritmů.

Clement a Desormes vypočítali pro vzduch  $k = 1.356$ . Později Hirn užívaje balonu 10-ti litrového odvodil  $k = 1.38$  a slavný německý fysik, objevitel X-paprsků Vilém Konrád Röntgen našel balonem 70-ti litrovým přesnou hodnotu  $k = 1.4053$  shodou s hodnotou vyplynuvší z měření akustických.

## 76. Výsledky měření specifických tepel plynů.

V následující tabulce uvedeny jsou pro některé známější

plyny hodnoty obou specifických tepel a v posledním sloupci vypočten jest jejich poměr  $\frac{C_p}{C_v}$ .

Plyn	$C_p$ kal.	$C_v$ kal.	$\frac{C_p}{C_v} = k$
Vzduch	0·238	0·169	1·40
Kyslík	0 218	0·156	1·40
Dusík	0·249	0·178	1·40
Vodík	3·410	2·400	1·41
Chlorovodík	0·190	0·135	1·40
Kysličník uhelnatý	0·250	0·178	1·40
Helium	1·260	0 759	1·66
Argon	0·127	0·077	1·65
Rtuťové páry	0·0246	0·0147	1·67

Z tabulky vyplývá, že poměr  $k = \frac{C_p}{C_v}$  má pro všechny plyny, jež obsahují v molekule dva atomy, jako kyslík, dusík, vodík, chlorovodík, kysličník uhelnatý hodnotu 1·40. Plynnům jednoatomovým však, které mají molekuly pouze o jednom atomu, jako helium, argon, rtuťové páry, přísluší hodnota tohoto poměru větší, průměrně 1·66.

Již Regnault dokázal měřeními při různých teplotách, že specifické teplo pro vzduch nezávisí na teplotě. Nalezl v mezích od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+10^{\circ}\text{C}$   $C_p = 0·2377$  kal., v mezích od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $200^{\circ}\text{C}$  pak  $C_p = 0·2375$  kal. Pro vodík pak našel v mezích od  $-28^{\circ}\text{C}$  do  $+9^{\circ}\text{C}$   $C_p = 3·399$  kal. a v mezích od  $12^{\circ}\text{C}$  do  $198^{\circ}\text{C}$   $C_p = 3·4090$  kal. Ale na tlaku specifické teplo není nezávislé, s rostoucím tlakem se zvětšuje. Pro vzduch naměřil Joly při 7 atmosférách  $C_v = 0·17202$  kal., při 26 atm.  $C_v = 0·17225$  kal. Pro vodík pak našel Lussana při tlaku 1 atm.  $C_v = 3·4025$  kal., při 30 atm.  $C_p = 3·7882$  kal.

I u plynů lze zavést pojem tepla atomového jako součin  $\alpha C_p$  při stálém tlaku nebo  $\alpha C_v$  při stálém objemu

metrická nádoba má 216 g, míchačka 40 g, obě jsou mosazné ( $c = 0.093$  kal.). Vypočtete specifické teplo závaží a) bez zřetele k vodní hodnotě teploměru, b) hledíce k vodní hodnotě teploměru, jenž byl při měření ponořen objemem  $2.2 \text{ cm}^3$ ! Dle výsledku suďte z jakého kovu závaží bylo! [a)  $0.0926$  kal., b)  $0.0927$  kal., z mosazi].

40.) Na kterou teplotu byla zahráta platinová koule hmoty 100 g, jestliže vložena jsouc v kalorimetru do  $200 \text{ g}$  vody  $12^\circ \text{ C}$  teplé ohřála ji na  $20.5^\circ \text{ C}$ ? Kalorimetr i míchačka jsou z mosazi a mají dohromady hmotu 150 g, teploměr byl při měření ponořen objemem  $1.4 \text{ cm}^3$ ;  $c$  platiny budiž voleno průměrně mezi  $0^\circ$  a  $1000^\circ \text{ C}$ ! [ $504.3^\circ \text{ C}$ ].

41.) Do skleněné baňky hmoty 35 g teplé  $15^\circ$  bylo nalito 100 g lihu  $25^\circ \text{ C}$  teplého. Výsledná teplota, měřená teploměrem ponořeným  $0.8 \text{ cm}^3$ , byla  $23.9^\circ \text{ C}$ . Jak veliké jest specif. teplo lihu? [ $0.568$  kal].

42.) Klempířská pájka jest slitina 2 dílů cínu a 1 dílu olova. Jak veliké má specifické teplo? [ $0.0447$  kal].

### Co jest teplo?

**77. Dvojí názor o podstatě tepla.** V předešlých odstavcích bylo vysvětleno, že teplo jest veličina, kterou lze měřiti i počítati, a bylo ukázáno, jak se měření tepla provádí. Otázku, co jest teplo, jsme však nechali posud nezodpověděnou. Odpovědi na ni správně snažily se odedávna nejbystřejší hlavy lidstva. Celkem byly dány dvě podstatně různé odpovědi na tuto otázku. První zněla: Teplo jest látka, která přechází z těles teplejších na studenější. Druhý názor na teplo považuje teplo za zvláštní druh pohybu.

První odpověď vzata jest ze zkušeností, které podává denní život. Dotkneme-li se rukou nebo jinou částí svého těla nějakého teplého předmětu, pocítujeme, jak „cosí“ příjemného přechází na naše tělo, jež jest tím oteplováno. Jestliže se dotkneme tělesa studeného, pocítujeme, jak se našemu tělu „cosí“ ubírá, tělo chladne. Podobně hováme-li si na vyhřátém písku, pocítujeme, jak „cosí“ nám vniká do těla. Když však po koupeli v řece postavíme se na chvíli do proudu studeného vzduchu, pocítujeme,



a platí se, vyhovují-li zákonu Dulong-Petitovu, totiž jsou-li to veličiny přibližně stálé pro různé plyny. Hodnoty součinů  $\alpha$ ,  $C_p$  pro plyny jednoatomové jsou:

Helium:  $\alpha = 4.0$ ,  $\alpha \cdot C_p = 5.04$  kal.

Argon:  $\alpha = 39.9$ ,  $\alpha \cdot C_p = 5.06$  „

Páry rtuťové:  $\alpha = 200.6$ ,  $\alpha \cdot C_p = 4.93$  „

Pro plyny dvouatomové jest nutno počítati teplo molekulové jako součin  $\mu \cdot C_p$  při stálém tlaku nebo  $\mu \cdot C_v$  při stálém objemu a pak děliti dvěma, abychom vypočítali příslušné teplo atomové. Obdržíme tyto výsledky pro

Kyslík:  $\mu = 32$ ,  $\frac{1}{2} \mu \cdot C_p = 3.488$  kal.

Dusík:  $\mu = 28.08$ ,  $\frac{1}{2} \mu \cdot C_p = 3.496$  „

Vodík:  $\mu = 2.016$ ,  $\frac{1}{2} \mu \cdot C_p = 3.437$  „

Chlór vodík:  $\mu = 36.468$ ,  $\frac{1}{2} \mu \cdot C_p = 3.464$  „

Kysličník uhelnatý:  $\mu = 28.0$ ,  $\frac{1}{2} \mu \cdot C_p = 3.50$  „

Vyplývá z nich, že atomové teplo při stálém tlaku jest pro jednoatomové plyny značně větší (průměrně 5 kal.), než pro plyny dvouatomové, jednoduché i složené, které mají okrouhlou hodnotu 3.5 kal.

Platí-li zákon, který jsme poznali pro výpočet specifického tepla směsí, po případě slitin látek tuhých a kapalných, též pro plyny, můžeme se přesvědčiti, vypočítáme-li si dle něho specifické teplo vzduchu, jež jest směsí 21% kyslíku se 79% dusíku vedle nepatrného množství jiných plynů, které bývají ve vzduchu obsaženy, ale pro tento výpočet nemají významu. Výpočet  $C_p$  pro vzduch dává:

$$(0.21 \times 0.218 + 0.79 \times 0.249) \text{ kal.} = 0.2425 \text{ kal.}$$

Pro  $C_v$  obdržíme:

$$(0.21 \times 0.156 + 0.79 \times 0.178) \text{ kal.} = 0.1734 \text{ „}$$

Vycházejí tedy hodnoty jen o málo větší, než jsou měřené hodnoty uvedené v tabulce. Ale při jiných plynech a plynových směsích se zákon uvedený dobře neosvědčuje, zvláště nikoliv při těch plynech, které lze snadno zkapaliniti.

**Příklady ke cvičení.** 37.) Jak teplá bude voda v koupací vaně, smícháme-li 3 hl vody  $10^\circ \text{C}$  teplé s  $1\frac{1}{2}$  hl vody  $60^\circ \text{C}$  teplé? [ $26.7^\circ \text{C}$ ].

38.) Kolik vody  $45^\circ \text{C}$  teplé jest přidati ke 2.1 hl vody  $20^\circ \text{C}$  teplé, aby směs měla teplotu  $30^\circ \text{C}$  [ $1.4$  hl].

39.) Aby stanoveno bylo specifické teplo závaží 500 gramového, bylo závaží zahráté na  $100^\circ \text{C}$  vloženo do 700 g vody teplé  $16.8^\circ \text{C}$ , jež se tím oteplila na  $21.8^\circ \text{C}$ . Kalori-

jako by nám vítr „cosí“ z těla rval, prochládáme a brzy zmocní se nás zcela nepříjemný pocit zimy.

Dle prvního názoru na teplo, zahřívá se těleso tehdy, když mu tepelné látky přibývá, a ochlazuje se, když se mu tepelné látky ubírá. Zpravidla pak pozorujeme, když se dva nestejně teplé předměty stýkají, že oteplí-li se jeden předmět, současně chladne předmět druhý, takže jest přirozeno souditi, že teplo jest jakási látka, která přechází z jednoho předmětu na druhý.

Ale i pro druhý názor na teplo poskytuje denní život doklady dosti přesvědčivé. Již nejstarší národové i národové nízké kultury znali, že možno jest vzbuzovati teplo třením dvou látek o sebe. Rozdělávání ohně křesáním oceli o křemen jakož i třením dvou dřev o sebe ve vrtácích na rozdělávání ohně, o nichž byla již zmínka v odst. 2., jsou toho dokladem. Při těchto dějích nelze vyložiti oteplení přechodem tepla z jednoho tělesa na druhé. Vždyť se třením zahřejí obě látky, které byly dříve obě chladné. Jediný možný výklad vzniku tepla v těchto případech jest, že teplo se vzbuzuje pohybem, který působí vzájemné tření látek, že tedy jest určitá souvislost pohybu s teplem. Tento názor vyslovili již někteří starověcí filosofové, ale přes to až do počátku XIX. století většina badatelů přidržovala se názoru prvního, považujíc teplo za látku. Autoritativním byl názor nejslavnějšího učence starověkého Aristotela (384—322 př. Kr.), který považoval oheň za jeden ze čtyř živlů, o nichž o všech soudil, že jsou to hmotné součásti světa.

Názor o teple jakožto látce doplněn byl v XVI. století badatelem Gassendim tak, že mimo látku tepelnou existuje též látka působící chlad. Soudil tak ze zjevu, že rozpouští-li se ve vodě nějaká sůl, zpravidla se roztok ochlazuje. Další propracování těchto názorů provedli v XVII. století lékař Jan Joachim Becher (čti Bechr) (1635—1682) a Jiří Ernst Stahl (čti Štál) (1660—1734), lékař a profesor lékařství v Halle, kteří



hodčím budou váhy. A proto hleděli přesným vážením tělesa studeného a téhož tělesa horkého dokázati, je-li těleso teplé těžší než těleso studené čili nic. Bylo-li by těžší, dokázalo by se tím, že jest těžší právě o tolik, kolik váží látka tepelná, které obsahuje těleso teplé více než těleso studené. Ale touto cestou se rozhodnutí nepodařilo. Ba někteří badatelé našli, že těleso horké jest lehčí než za studena, což se ovšem snadno vysvětlí z té okolnosti, že má větší objem než za studena a proto vytlačuje více vzduchu a jest tedy více vzduchem nadlehčováno než za studena, když má objem menší. Ale někteří badatelé soudili z výsledků těch vážení, že teplo jest látka, mající negativní (zápornou) váhu. Představovali si to tak, že tepelná látka jest od Země odpuzována a proto těleso, které v sobě více látky té obsahuje, jsouc teplejší, je též lehčí.

Aby se o správnosti nebo nesprávnosti těchto názorů přesvědčil, provedl r. 1799 přesný pokus vážením anglický badatel, politik i voják hrabě Benjamin Rumford (čti Ramförd) (1753—1814), který se již delší čas, téměř 20 let zabýval otázkami týkajícími se podstaty tepla. Nalil do tří stejných lahví stejná množství vody, líhu a rtuti a vyrovnal přesně jejich váhu za obyčejné teploty tím, že ovinul hrdla lahví stříbrnými drátky. Potom dal všechny tři láhve na delší čas do místnosti, kde byla teplota pod bodem mrazu, a zvažil je opět, když láhve i jejich náplně zchladly, na teplotu té místnosti. Shledal, že všechny tři láhve váží opět přesně stejně, ačkoliv voda v první láhvi zmrzla v led a obsahovala tedy mnohem méně tepla, než dříve, dokud byla tekutá. Z toho soudil správně Rumford, že vůbec nelze vážením dokázati jsoucnost tepelné látky.

Rok před tímto pokusem, tedy r. 1798, provedl hrabě Rumford jiný památný pokus, který úplně vyvrátil domněnku o tepelné látce. Toho roku byl jako ministr války ve službách kurfiřta bavor-



ského a jeho úkolem bylo reorganisovati bavorskou armádu. V této hodnosti měl přístup do vojenských zbrojovek, kde byly vrtány hlavně děl. Při tom si všimal, jak vysokou teplotu má při vrtání kov hlavně a jak ještě teplejší bývají vytvořené při tom piliny. Obě tyto teploty byly vyšší než bod varu vody. Vysvětliti, jak vzniká tolik tepla, dalo Rumfordovi mnoho přemýšlení a zároveň vedl jej tento zjev k důkazu nesprávnosti domněnky o tepelné látce.

Odkud by mohlo míti toto teplo svůj původ? Buď z tepla obsaženého ve vrtaném kovu, nebo z tepla obsaženého v pilinách. Aby však teplota nějaké látky stoupla, když se jí zvenčí žádného tepla nedodá, jest možno jen tak, že specifické teplo té látky se musilo zmenšiti. Proto měřil Rumford pečlivě specifické teplo kovu hlavně i pilin a zjistil, že se vrtáním nezměnilo ani specifické teplo kovu, ani specifické teplo pilin. Aby se přesvědčil, zdali snad nepochází teplo to z okolního vzduchu, vložil kov, z něhož se vrtala hlaveň, do dřevěné skříně, naplněné ledovou vodou, již se tam vešlo přes 13 kg. Hlaveň i piliny se opět zahřívaly, ale nejen to, i voda se zahřívala a to tak mocně, že se po 2½ hodině začala vařiti, což způsobilo veliké překvapení a údiv všech přítomných. A zvláště to jim bylo nápadné, že bylo možno vyvinouti libovolné množství tepla z jediné látky, totiž z vrtaného kovu.

Rumford vypočítal též množství vyvinutého tepla při tomto pokuse a věda, že by jeden kůň dovedl udržovati v činnosti vrták, jímž se hlaveň navrtávala, přirovnal množství vyvinutého tepla s prací vykonanou koněm a shledal, že by se tímto způsobem, to jest třením dvou látek o sebe nevyplácelo vyráběti teplo. Kdyby se totiž spálila potrava, kterou nutno krmiti koně, aby vrtání mohl prováděti, vyvinulo by se více tepla, než se ho získalo třením.

Tímto pokusem dokázal hrabě Rumford nezvratně, že nelze považovati teplo za



látku ani nevažitelné nějaké fluidum<sup>51)</sup>), nýbrž že jest teplo jakýsi druh pohybu. Sám ovšem praví, že nedovoluje si tvrditi ničeho bližšího o tom, jak tento pohyb povstává, jak se udržuje a jak se šíří.

Hned rok nato, r. 1799, provedl zajímavý pokus, týkající se též vývoje tepla třením, mladý anglický učenec Humphrey Davy (čti Empry Dejvy) (1778—1829). Třel o sebe dva kusy ledu a způsobil, že začaly tátí a že vzniklá voda měla vyšší teplotu než okolní vzduch. Jak již bylo uvedeno v odst. 71., má voda specifické teplo 1 kal., kdežto led jen 0·51 kal. Není tedy možno, aby oteplení, které při tomto pokusu vzniklo, mělo svou příčinu v tom, že by specifické teplo nové látky (vody) bylo menší než specifické teplo látky původní (ledu). A že také to oteplení nemohlo vzniknouti z okolního vzduchu, dokázal Davy tím, že pokus ten provedl znova ve skleněném zvoně (tak zvaném recipientu<sup>52)</sup>) postaveném na vývěvě, jíž byl vyčerpán vzduch z dutiny zvonu. Mimo to ještě obalil zevně zvon ledovou vodou, aby naprosto nemělo teplo přístupu dovnitř. A zase byl výsledek pokusu týž. Třením o sebe obou kusů ledu, které měly původně teplotu  $-2^{\circ}$  C, vzniklo tolik tepla, že led roztál ve vodu teplou  $+2^{\circ}$  C. Tímto pokusem vyvrátil Davy navždy domněnku, že teplo jest jakousi látkou.

**79. Vztah tepla a práce.** Pokusy Rumfordův a Davyův ukázaly jasně, že teplo vzniká z práce, která se při jeho vzniku zmaří. I byla nasnadě otázka, jaký jest vzájemný poměr práce a tepla. Také touto otázkou se zabývalo mnoho badatelů v první polovině XIX. století. Všimneme si jen prací nejdůležitějších z nich, totiž uvedeného již Jamesa Joulea, německého lékaře Julia Roberta Mayera (1814—1878) a dánského technika a ba-

<sup>51)</sup> Z lat. slovesa *fluere* = téci, *fluidus* = tekutý.

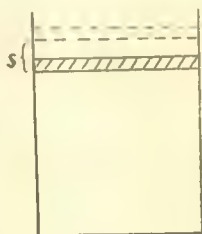
<sup>52)</sup> Z latinského slovesa *recipere* = přijímati, do sebe pojmouti.

datele Ludvíka Augusta Coldinga (čti Kholdinga) (1815—1888).

Robert Mayer, rodák z Heilbronu, měl jako lodní lékař příležitost procestovati velikou část světa a poznati, jak různými způsoby přeměňuje se práce v teplo a zase naopak a že při těchto přeměnách platí určitá zákonitost. A rovněž seznal, jak i při jiných přeměnách přírodních, chemických i fyziologických objevují se určité vzájemné vztahy velikostní. Mayer vypočítal, kolik práce vzniká vždy z jednotky tepla, když se promění v práci tímto důmyslným způsobem.

Založil svůj výpočet na různosti specifického tepla vzduchu při stálém tlaku a při stálém objemu. Představme si nádobu krychlovou úplně uzavřenou, obsahující  $1 \text{ dm}^3$  vzduchu při teplotě  $0^\circ \text{C}$  majícího právě napětí 1 atmosféry. Hmotu tohoto vzduchového množství jest

$$1000 \cdot 0\cdot001293 \text{ g} = 1\cdot293 \text{ g}.$$



Obr. 59.

Aby se zahrála tato hmota vzduchu o  $1^\circ \text{C}$  při stálém objemu, jest nutno jí dodati množství tepla  $Q_1$   $1\cdot293 \cdot C_v \text{ kal.}$ , když  $C_v$  jest specifické teplo vzduchu při stálém objemu, jež se rovná okrouhle (viz odst. 76.)  $0\cdot170 \text{ kal.}$  Tedy

$$Q_1 = 0\cdot220 \text{ kal.}$$

Po druhé uzavřeme též  $1 \text{ dm}^3$  vzduchu stejně teplého a majícího zase napětí  $1 \text{ atm.}$  do nádoby téhož tvaru, ale mající horní víko posuvné, ovšem tak, aby dokonale přiléhalo ke stěnám pobočným (obr. 59), jež jsou vyšší než  $1 \text{ dm}$ . Na víko nechť tlačí okolní vzduch též tlakem  $1 \text{ atm.}$ , rovnající se, jak již bylo vypočteno v odstavci 75., tlaku závaží  $1\cdot033 \text{ kg}$  na každý  $\text{cm}^2$ . Na celé víko, mající plochu

**100 cm<sup>2</sup>**, působí tedy tlak, rovnající se váze závaží **P = 1·033 kg × 100 = 103·3 kg**.

Aby se opět zahřálo uzavřené stejné množství vzduchu o **1° C**, jest nutno dodati mu nyní množství tepla

$$Q_2 = 1·293 \cdot C_p \text{ kal.},$$

když **C<sub>p</sub>** značí specifické teplo vzduchu při stálém tlaku, jež jest dle odst. 76. **0·238 kal**. Nyní se totiž zahřívá vzduch při stálém tlaku, to jest zvětší svůj objem, ale podrží původní napětí rovné tlaku vzduchu zevnějšího. Jest tedy

$$Q_2 = 0·308 \text{ kal.}$$

větší než množství tepla **Q<sub>1</sub>**, jehož bylo třeba na zahřátí téhož množství vzduchu o **1° C** při stálém objemu, o **0·088 kal**. Robert Mayer usoudil správně, že tento přebytek tepla spotřeboval vzduch na to, aby zdvihl pohyblivé víko nádoby proti tlaku zevního vzduchu a vykonal tak práci, které bylo třeba, aby mohl zvětšiti svůj objem. Poněvadž jest vzduch uzavřen v pevných stěnách, nemohl se roztahovati jinak než vzhůru. Práci, kterou při tom vykonal, snadno vypočítáme.

Předpokládejme, že víko samo jest bez váhy. Síla, kterou působí uzavřený vzduch zdola na víko, jest právě tak veliká, jako síla, kterou tlačí zevnější vzduch na víko shora. Abychom mohli vypočítati vykonanou práci rozpínajícím se plynem, jest nutno stanovití ještě dráhu **s**, o kterou se při tom víko nádoby zvýší. Ze zákona Gay-Lussacova víme, že oteplí-li se plyn z **0°** na **1° C**, zvětší svůj objem o  $\frac{1}{273}$  toho objemu, který měl při teplotě **0° C**. V našem případě měl vzduch při **0° C** objem **1 dm<sup>3</sup>**. Zvětší tedy objem o  $\frac{1}{273}$  dm<sup>3</sup>. Poněvadž ta část, o kterou se objem vzduchu zvětší, má tvar kvádra o základně **1 dm<sup>2</sup>**, musí býti výška jeho čili posunutí víka, a tedy též vykonaná dráha **s** rovna  $\frac{1}{273}$  dm. Tuto délku vyjádříme si v metrech, abychom práci obdrželi v základních pracovních jednotkách, kterých se užívá v technické praxi, to jest kilogrammetrech. Jednotkou práce jest totiž ta práce, kterou nutno vykonati, aby se závaží vážící **1 kg** zdvihlo do výše **1 m**; nazývá se kilogrammetr a značí **1 kgm**.

Při pokusu Mayerově jest tedy dráha  $\frac{1}{2730}$  m a síla rovná se váze **103·3 kg**; proto vykonal plyn při svém zvětšení objemu práci  $\frac{103·3}{2730}$  kgm. Provedeme-li dělení, obdržíme **0·0378 kgm**. Tato práce vznikla tedy z uvedeného rozdílu množství tepla

$$Q_2 - Q_1 = 0.088 \text{ kal.}$$

Z toho jest možno vypočítati, kolik práce vznikne z 1 kal. tepla. Patrně jest to

$$\frac{0.0378}{0.088} \text{ kgm} = 0.429 \text{ kgm práce.}$$

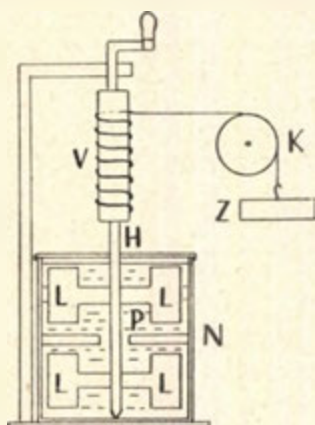
Z kalorie velké vznikne tedy tisíckrát více, to jest 429 kgm práce.

Robert Mayer vypočítal závislost tepla a práce teoreticky, neprováděje skutečných měření. Colding a Joule stanovili závislost tu přímými pokusy a měřeními.

Colding zařídil si k tomu důkladné saně, jež měly kovový spodek a pohybovaly se jím po kovových kolejkách. Vedle toho však byly opatřeny též kolečky, jimiž pohybovaly se po dřevěných podložkách. Do saní naložil těžké koule dělové, aby bylo velké tření. Saně byly jedním směrem uváděny v pohyb tahem velkého závaží, jež bylo zavěšeno na provaze připevněném k saním a vedeném přes kladku pevnou. Při tom se třely saně o kovové koleje. Zpět do původní polohy vracely se zase saně po kolečkách jako vozík tím, že po mírně nakloněných dřevěných podložkách sjely zpět. Colding změřil si před pokusem přesně délku kovových kolejí, jež byly na jednom konci pevně připevněny a na druhém se mohly volně prodlužovati, když se zahřály teplem vyvinutým třením saní o ně. Po druhé změřil si délku kolejí, když saně po nich několikrát přejely. Z prodloužení kolejí vypočítal jejich oteplení a z toho množství tepla vyvinutého třením saní o koleje. Z velikosti závaží a jeho dráhy vykonané pádem vypočítal pak práci, která byla při pohybu saní vykonána. Z mnoha pokusů takových soudil Colding, že množství vyvinutého tepla jest přímo úměrno vykonané práci a že nezávisí na jakosti kovu, z něhož jsou koleje a kovové spodky saní. A dále vypočítal, že 1 velká kalorie tepla vznikne, když se zmaří 372 kgm práce. Číslo toto jest proti výsledku Maye-

rovu příliš malé, ježto při měřeních Coldingových nebylo dosti přesně stanoveno oteplení látek troucích se o sebe a nepřihlíženo ke ztrátám tepla do okolí.

Též na základě tepla vyrobeného třením, ale jinou přesnější cestou našel vzájemnou závislost práce a tepla James Joule. Měření svá provedl zařízením, jež jest schematicky znázorněno obr. 60. Do kalorimetrické válcové nádoby vložil svislý válcový hřídel **H**, na němž bylo připevněno několik plochých



Obr. 60

lopatek ve dvou řadách nad sebou. Lopatky otáčely se mezi příčkami spojenými se stěnami kalorimetru. V kalorimetru bylo určité množství vody **M kg**, do níž byl vložen teploměr v nákresu nezakreslený. Hřídel byl nahoře spojen se silnějším válcem **V**, opatřeným klikou. Spojení mezi oběma válci bylo možno zrušiti a pak zase zjednati. Dokud byl válec oddělen od lopátkového hřídele, navinul se na něj motouz, tak že se otáčelo horní klikou. Motouz byl veden přes pevnou kladku **K** a zatížen závažím **Z kg**, které bylo podchyceno, a pak válec spojen s hřídelem.

Poté Joule vypustil závaží. Jeho pádem roz-



točil se hřídel i s lopatkami, jež se třely o vodu a tím ji zahřívaly. Závaží padalo až na další zachycovač po dráze s metru. Joule ji změřil a zjistil, o kolik stupňů ( $t$ ) stoupla teplota vody v kalorimetru. Množství vyvinutého tepla třením bylo tedy  $Mt$  Kalorií. Práce vykonaná pádem závaží a třením proměněná v teplo byla pak  $Z$  s kgm. Pripadá tedy na 1 Kal. vyvinutého tepla množství zmařené práce  $Z$  s kgm. Z četných měření Jouleových vyšla hodnota 425 kgm na 1 Kal., tedy blízká hodnotě Mayerově, stanovené jen na základě úvah teoretických. Mnozí badatelé provedli ještě v pozdějších letech zdokonalenými pomůckami měření, kolik práce jest nutno zmařiti, aby se vyvinula 1 Kal. tepla, a našli jakožto hodnotu pravdě nejbližší střední hodnotu mezi číslem Mayerovým a Jouleovým, totiž 427 kgm na 1 Kal. Tato hodnota nazvána byla mechanická rovnocmocnina tepla 1 Kal., cizím názvem mechanický ekvivalent<sup>53)</sup> tepla, a jest jednou z nejdůležitějších přírodních veličin stálých.

Výměna práce a tepla však se může dít též směrem opačným, že totiž se mění teplo v práci, jak jsme viděli při úvaze Mayerově. Nejznámějším pak dokladem této přeměny jsou parní stroje, v nichž teplo, vyvinuté spálením paliva pod kotlem, převádějí vhodná zařízení v pohyb a tím vzniká práce. Jest možno se ptáti, kolik tepla jest třeba, aby vznikla jednotka práce 1 kgm, když se všechno teplo promění v práci. Na tuto otázku odpovíme snadno, uvážíme-li, že jest to děj opačný k přeměně práce v teplo. Jestliže z 1 kal. vznikne 427 kgm práce, vyžaduje 1 kgm práce  $\frac{1}{427}$  Kal. tepla čili 2341 malé kalorie tepla. Tato hodnota nazývá se tepelný ekvivalent práce 1 kgm.

<sup>53)</sup> Z latinského slova *aequivalens* (eti ekvivalens) — rovnocenný, rovnocmocný.

**80. Mechanická teorie tepla.** Ježto z tepla může vznikat práce, považujeme teplo za jistý druh energie.<sup>64)</sup> Nazýváme totiž energii schopnost konati práci. Jako může konati práci těleso, které se pohybuje nebo těleso mající nějakou zvláštní polohu, tak také může konati práci látka na základě svého zvláštního stavu tepelného, v němž obsahuje více tepla než tělesa jiná. Padá-li beran zdvižený nad kúl, který má býti zaražen do půdy, spočívá jeho schopnost zarazit kúl, čili vykonati práci, v jeho pohybu. má tedy energii pohybovou. Je-li týž beran vyzdvižen do výše, ještě než padá, má již též v sobě tu schopnost zarazit kúl, říkáme, že má též energii, ale polohovou neboť jeho schopnost konati práci spočívá ve zvláštní vyšší poloze. Jak ukazuje tento příklad zdviženého a padajícího beranu, může se energie polohová měniti v energii pohybovou a naopak. Při takové přeměně platí všeobecný zákon, který se nazývá zákon zachování energie. Práví: Kolik energie jednoho druhu ubude, tolik energie druhého druhu přibude, takže úhrnný součet energie jest při určitém ději veličinou stálou.

Pravili jsme, že teplo jest též jistý druh energie. I teplo se může měniti v energii mechanickou, a to polohovou i pohybovou. A též pro tyto přeměny platí uvedený zákon zachování energie. Jest právě zásluha Mayerova, že první rozšířil platnost zákona o zachování energie též na přeměnu tepla v práci a naopak. Že pak platí zákon ten i pro všechny druhy energie vůbec, odůvodnil a početně vyjádřil r. 1847 ředitel německého říšského fyzikálního technického ústavu v Charlottenburce (čti Šarlotenburce) Hermann Helmholtz (1821—1894).

Když tedy víme, že teplo jest též energie, nutno se otázati dále, jak si máme představovati teplo

<sup>64)</sup> Z řeckého slova *ἐργον* (čti ergon) = dílo, práce.

jakožto energii. Na tuto otázku odpovídá **mechanická teorie tepla**, kterou hlavně propracoval slavný německý fysik Rudolf Clausius (čti Klausius) (1822—1888), profesor university v Bonně. Jak již ukazuje název, převádí teorie tato teplo na základ mechanický. Soudí totiž souhlasně s názorem, který měl již Bacon a Komenský, že teplo jest mechanická energie pohybová, ale nikoliv těles jako celků, nýbrž jejich nejmenších částic, molekul, na něž můžeme si představití tělesa rozdělená mechanickými prostředky.

Jak jsme již uvedli, jsou molekuly těles částice velmi maličké, mající délkové rozměry řádu stomiliontin centimetru. Molekuly nevyplňují prostoru tělesem zaujatého spojitě, nýbrž jsou mezi nimi mezery, nevyplněné hmotou. Jinak nebylo by možno si představití, jak to může býti, že lze tělesa stlačovati.

U látek tuhých má každá molekula svou rovnovážnou polohu určitou, do které jest tažena působením sousedních molekul a kolem které koná podobný pohyb kmitavý jako koná kyvadlo u kyvadlových hodin kyvy na obě strany od své polohy rovnovážné. A právě jak rychle kmitá a jak daleko se ze své rovnovážné polohy vzdálí každá molekula, rozhoduje o tom, jak vysokou teplotu má těleso, a tedy též o tom, kolik tepelné energie obsahuje v sobě. Zahřívá-li se těleso tuhé, nabývají jeho molekuly větší rychlosti, kmitají dále ze svých rovnovážných poloh a jejich doby trvání jednotlivých kmitů se zkracují. Dotkneme-li se zahřátého tělesa, pocítujeme tyto rychlejší kmity jeho částic jakožto vyšší jeho teplotu. Stýká-li se těleso teplejší se studenějším, působí živější kmity částic tělesa teplejšího častěji a mocnější nárazy na částice tělesa chladnějšího, takže i jeho částice ponenáhlu nabývají větší energie pohybové; těleso chladnější se otepluje stykem s tělesem teplejším, až pohyby částic

obou těles jsou stejně živé, čili až se teploty obou látek vyrovnají. Ježto se při zahřátí částice tělesa více vzdalují ze svých rovnovážných poloh, nabývá těleso následkem toho též většího objemu čili roztahuje se teplem.

V látkách kapalných jsou molekuly volnější, mohou se snáze pohybovat, ale i tu jsou vázány na jisté, ovšem proměnlivé rovnovážné polohy působením molekul okolních. Zahřívání kapaliny projeví se opět živějším pohybem molekul, a protože se mohou dále vzdáliti ze svých poloh rovnovážných, jest roztážnost teplem u kapalin větší než u látek tuhých.

Nejjednodušší poměry pak jsou u plynů. Molekuly plynové mají úplnou volnost pohybu. Pohybují se přímočaře od stěny ke stěně dutiny, v níž jest plyn uzavřen. Narážejíce na stěny rychle po sobě a mnoha nárazy současně, působí na stěny souhrnem nárazů svých tlak, který nazýváme napětí plynu, pokud působí na  $1\text{ cm}^2$  stěny. Jestliže se nádoba, v níž jest plyn uzavřen, zmenší na polovinu, děje se na každý  $1\text{ cm}^2$  stěny v téže době dvakrát tolik nárazů než dříve, a proto jest napětí plynů dvojnásob větší, jak to žádá zákon Boyle-Mariotteův (odst. 51.). Jestliže se plyn zahřeje v nádobě o pevných stěnách, nabudou molekuly větší rychlosti a narážejí na stěny silněji a častěji v téže době. Proto roste napětí plynu, jak vyžaduje zákon o rozpínavosti plynů Gay-Lussacův (odst. 49.). Roztážnost teplem plynu pevně neuzavřeného vzniká tím, že molekuly, nabývše větších rychlostí, oddalují se, čímž objem plynu roste.

Z tohoto stručného nástinu základních myšlenek mechanické teorie tepla jsme seznali, že tato teorie dovede zcela uspokojivě vyložiti zjevy roztážnosti tepelné látek tuhých, kapalných i plyných, jakož i rozpínavost plynů teplem. Uvidíme

v dalších odstavcích, že mechanická teorie dovede vyložiti i všechny zjevy, které jsou spojeny se změnamí skupenství látek.

### O změnách skupenství.

**81. Tání a tuhnutí.** Již v úvodě bylo uvedeno, že staří národové uměli tavit kovy a připravovati sklo. Bylo jim tedy známo, že tuhé látky mění se v kapalně, čili tají, když je zahříváme, a naopak látky kapalně mění se v tuhé, tuhnou čili mrznou, když je ochlazujeme. Vykládali si, že tuhé látky proto tají, že oheň vniká do jejich pórů a tím částice od sebe oddaluje. Heron Alexandrijský soudí, že diamant nelze roztaviti proto, že má tak malé póry, že částice tepla nemohou se do nich dostat. Naproti tomu kovy mají póry větší a proto mohou částice ohně vniknouti do nich a způsobiti jejich rozžhavení a konečně roztavení. Když zase teplo z pórů látek tekutých unikne, kapaliny ztuhnou. Obdobné názory o tání a tuhnutí měl též Galileo Galilei.

Tání ledu zkoumali podrobněji v XVII. století členové již zmíněné florencské „Akademie pokusné“ a současně Robert Boyle. Členové Akademie i Boyle poznali již (viz odst. 11.), že led taje vždy při určité teplotě stálé, nazvané teplota nebo bod tání. Ale více než stálost této teploty zajímaly členy „Akademie“ změny objemové, které při tání ledu nastávají. Již Galileo si všiml, že led plave na vodě, že tedy musí býti specificky lehčí než voda, čili že určité množství vody má menší objem než stejně těžký kus ledu. Členové „Akademie“ hleděli zjistiti, oč se zvětší objem, když zmrzne, tímto způsobem. Naplnili skleněnou trubičku na jednom konci zatavenou úplně vodou ledovou a dali vodě v rource zmrznouti. Shledali, že při mrznutí vystupuje otevřeným koncem z rourky kousek ledu. Tento kousek zvážili a zjistili, že v trubici zůstalo  $\frac{8}{10}$  všeho ledu, že tedy objem



ledu jest o  $\frac{1}{10}$  větší než objem téhož množství ledové vody. Ale pozdější přesná měření vedla k výsledku, že se objem vody při zmrznutí zvětší skoro o  $\frac{1}{10}$  původního objemu, čili že specifická hmotu ledu jest 0·9 g, kdežto voda má specifickou hmotu 1 g. Z toho si vysvětlíme, že plují-li ledové kry po vodě, vyčnívají pouze malou svou částí nad kapalinu, totiž  $\frac{1}{10}$  svého objemu, a zbývajících  $\frac{9}{10}$  celkového objemu jest potopeno pod hladinu vodní. Proto plující ledové kry po moři, které se při tání dostanou z krajín polárních i do moří teplejších, mohou způsobiti tak hrozné neštěstí, jaké postihlo před několika lety obrovský dopravní parník *Titanic* (čti Taitenik), který srazil se prudce v Atlantickém oceánu s plující ledovou krou, z níž jen  $\frac{1}{10}$  byla nad vodou; nárazem na obrovskou plující hmotu ledovou pod hladinou se roztrhl a pohřbil tak na 2000 lidských životů.

Jak mocně se zvětšuje objem vody, když mrzne, ukázali členové „Akademie“ florencské názorným pokusem tímto. Naplnili silnou kovovou bombu uzavřenou se všech stran ledovou vodou a dali pak vodu zmrznouti. Mrznoucí voda roztrhla bombu, byť byla sebe silnější. Dočká se proto nemilého překvapení hospodyně, postaví-li si v zimě na noc láhev třeba s minerální vodou ven na balkon. Najde ráno láhev zpravidla prasklou. Zvětšování objemu mrznoucí vody má velký význam v přírodě. Voda dostane se do trhlin skalních na podzim, v zimě v nich zmrzne. Při tom se roztahuje a roztrhne od sebe kusy skal, jež se pak na jaře, když zase led roztaje, řítí po úbočí dolů. Podobně trhá mrznoucí voda zdivo, do jehož pórů se dostane. Blahodárně působí mrznoucí voda v ornici, jejíž četné mezery na podzim vyplní, pak v nich zmrzne, roztáhne je a způsobí, že jest pak půda schopna na jaře přijmouti v sebe zrna nové obilní setby.

Již roku 1550 poznal Blasius de Villafranca (čti Vilafranka), že některé látky tuhé rozpouštějící se v kapalině ochlazují sebe

i kapalinu. Zjistil to rozpouštěje ve vodě ledek. Roku 1589 poznal Della Porta, že se ještě silnějšího ochlazení docílí, smíchá-li se ledek s ledem, který při tom roztaje. Členové „Akademie“ florenské pak užívali k ochlazování směsí sněhu a soli kuchyňské nebo sněhu a lihu. Takovéto směsi nazýváme směsí chladicí, poněvadž působí chlad větší, než měly obě látky před smícháním. Tyto směsi znal též Boyle a vysvětloval, proč se ochlazuje tím, že k rozpouštění soli a ledu jest třeba tepla, které musí vyniknouti do pórů těch látek; proto si obě látky teplo ubírají a následkem toho chladnou.

Pomocí těchto směsí zkoumal Boyle, zdali všechny kapaliny ztuhnou podobně jako voda, když se jejich teplota náležitě sníží. Ale přesvědčil se, že některé, jako líh a kyseliny, neztuhnou ani sebe větším snižováním teploty, pokud ho mohl svými chladicími směsemi tehdy docíliti. Z těchto pokusů Boylových i jiných badatelů vyplývá, že každá látka kapalná má svou určitou teplotu tuhnutí a naopak každá látka tuhá má svou určitou teplotu tání závislou na jakosti látky.

Chtějíce pozorovati celý děj tání nějaké látky tuhé a stanoviti teplotu tání, počínáme si takto: Naplníme širší zkumavku nebo baňku látkou, jejíž tání chceme pozorovati a která za obyčejných poměrů jest tuhá. Hodí se k tomu dobře bílá sůl, které užívají fotografové jako ustalovací lázně, sirnatan sodný. Zkumavku nebo baňku se sirnatanem vložíme do širší kádinky s vodou, kterou postavíme na drátěnou sítku a zahříváme zespoda plamenem. Do sirnatanu i lázně vodní vložíme dobré teploměry, na nichž pozorujeme ustavičně teplotu. S počátku pozorujeme, že oba teploměry poenáhlu stoupají, rychleji teploměr v lázni, volněji teploměr v sirnatanu. Když dostoupí teplota sirnatanu teploty  $47^{\circ}\text{C}$ , začíná se sirnatan rozpouštět v šedavou kapalinu, jejíž teplota nestoupá hned, i když dále lázeň zahříváme, nýbrž drží se na teplotě  $47^{\circ}$  dotud, pokud

všechn sirnatan neroztaje. Pak teprve začne stoupati též teplota sirnatanu, zase volněji než teplota lázně.

Teplu, které dodávala horká lázeň sirnatanu po tu dobu, pokud sirnatan tál, neprojevovalo se stoupáním teploty sirnatanu, nýbrž spotřebovalo se na proměnu skupenství tuhého v kapalně. Tento úkaz první pozoroval při tání ledu franc. fysik Deluc (čti Delyk) roku 1754 a samostatně skotský badatel Josef Black (čti Blek). Dosud převládal názor, že k roztavení ledu, když již má teplotu bodu tání, jest třeba jen malého množství tepla. Naproti tomu upozornil Black na to, jak dlouho to trvá, než led přinesený do teplé místnosti celý roztaje. Na teplotu bodu tání se zahřeje rychle, ale než roztaje, trvá to velmi dlouho. Z toho usoudil Black, že led spotřebuje mnoho tepla právě na své tání. A protože se toto teplo neprojevuje stoupáním teploty ledu, nazval je Black teplo utajené. Nyní označujeme to teplo názvem skupenské teplo, poněvadž se spotřebuje na proměnu skupenství.

Nazýváme skupenské teplo tání ledu, nebo jiné látky tuhé, to množství tepla, kterým se 1 g látky tuhé, zahřátý na svou teplotu tání, změní v kapalinu téže teploty. O tom, jak se toto skupenské teplo tání určuje, promluvíme v odstavci 83.

Nyní vrátíme se k pokusu s rozpuštěným sirnatanem sodným, zahřátým asi na  $60^{\circ}\text{C}$ . Vyndejme nádobku se sirnatanem z horké vodní lázně a nechme ji na vzduchu chladnouti. Teplota ponenáhlu klesá, až klesne na teplotu  $47^{\circ}$ , kdy přestává klesati, ale za to pozorujeme, jak se při stěnách a dně nádoby počínají tvořiti krystalky tuhého sirnatanu. Sirnatan tuhne, či mrzne, mění skupenství kapalně v tuhé a při tom ukazuje stále teploměr touž teplotu  $47^{\circ}$ . Až když všecek sirnatan ztuhne, začne teplota jeho pomalu klesati na okolní teplotu. Toto pozoro-

vání nás učí, že tuhnutí látky kapalně děje se při téže teplotě, při které látka tuhá tála, že tedy teplota tání a tuhnutí jest jedna a táž u téže látky. Poněvadž pak i při tuhnutí unikalo teplo ze sirnatanu do okolního vzduchu, plyne z toho, že látka tuhne vydává teplo, zase teplo utajené, či skupenské. Zase nazýváme skupenské teplo tuhnutí to množství tepla, které vydá 1 g látky zahřáté na teplotu tuhnutí při proměně svého skupenství kapalného v tuhé. Množství to pak jest stejně veliké, jako skupenské teplo tání téže látky.

Tuhý sirnatan a kapalný nazýváme dvě fáze téže látky, podobně led a voda jsou fáze tuhá a kapalná téže látky. Stýkají-li se spolu fáze tuhá s fází kapalnou, při čemž každá fáze má jinou teplotu, zpravidla mění se skupenství fáze jedné i druhé. Ale může nastati též stav takový, že obě fáze mají stejnou teplotu a ani jedné fáze neubývá ani druhé nepřibývá, čili nastává rovnovážný stav obou fází. Dodáváme-li takové rovnovážné soustavě teplo zvenčí, přibývá fáze kapalná, ubývá tuhá, při stálé teplotě. Ochlazujeme-li soustavu, ubývá fáze kapalná, přibývá tuhá zase při téže teplotě, která jest právě teplotou tání i tuhnutí.

Děj, jak jsme jej pozorovali na tuhoucím sirnatanu, jest pravidelný. Ale jestliže sirnatan chladne na teplotu bodu tuhnutí úplně v klidu, může se dostaviti též děj výjimečný, totiž že se jeho teplota sníží pod bod tuhnutí, to jest  $47^{\circ}$ , až na teplotu okolí, na příklad  $20^{\circ}\text{C}$ , ale sirnatan nezuhne, nýbrž vydrží i při této nízké teplotě kapalný. Nazýváme pak takovou kapalinu **kapalina přechlazená**. Jakmile ji otřeseme, nebo vhodíme malý tuhý krystalek sirnatanu do kapaliny, nastane rázem rychlé tuhnutí celé kapalně hmoty, při čemž teplota látky vystoupí prudce na teplotu tání  $47^{\circ}$  a drží se na této výši, až všecek sirnatan ztuhne. Pak teprve volně



klesá na teplotu okolí. Při tuhnutí zase vrací každý gram skupenské teplo tuhnutí, to teplo, které v lázni dříve přijal při svém tání.

Jako lze přechladiti sirnatan sodný, tak lze též přechladiti jiné kapaliny, když je v klidu ochlazujeme pod jejich teplotu tuhnutí. Tak lze přechladiti vodu až na teplotu  $-20^{\circ}\text{C}$ , když jest úplně čistá a v čisté nádobě. Když pak vodou přechlazenou zatřese nebo vhodíme do ní krystalek ledu, začne rychle tuhnouti při teplotě bodu mrazu. Tento úkaz pozoroval první Black zvláštním vhodným teploměrem zařízeným na přechlazení vody. Byl to rtuťový teploměr mající dělení asi  $20^{\circ}$  pod bod mrazu, na jehož nádobku byla ještě vyfouknuta baňka skleněná naplněná čistou vodou a vodní parou. Baňka se ochladí v klidu na  $-10^{\circ}\text{C}$ , voda zůstane kapalnou, když se pak baňkou zatřese, voda zmrzne a teploměr rychle stoupne na  $0^{\circ}\text{C}$ .

Kdybychom podobně zkoumali tání parafinu, vosku nebo tuku, přesvědčili bychom se, že látka tuhá, zahříváme-li ji, začíná nejdříve měknouti, stane se tvárnou a pak poněkud taje, při čemž stále mírně stoupá teplota, kterou ukazuje teploměr do ní vložený. Nemají tedy takovéto látky, jež jsou směsí různých součástí, určitého bodu tání. Ke konci tohoto odstavce uvedeme body tání a tuhnutí některých důležitých látek:

Pentan . . . . .	$-160^{\circ}$	C
Alkohol ethylnatý (líh čistý) . . . . .	$-114^{\circ}$	C
Čpavek (amoniak) . . . . .	$-78^{\circ}$	C
Rtuť . . . . .	$-38.9^{\circ}$	C
Led . . . . .	$0^{\circ}$	C
Sirnatan sodný . . . . .	$+47^{\circ}$	C
Síra . . . . .	$119^{\circ}$	C
Cín . . . . .	$231.8^{\circ}$	C
Vismut . . . . .	$271.0^{\circ}$	C
Kadmium . . . . .	$320.9^{\circ}$	C
Olovo . . . . .	$327.4^{\circ}$	C
Zinek . . . . .	$419.4^{\circ}$	C



Stříbro	. . . . .	960 <sup>5</sup> ° C
Zlato	. . . . .	1063 <sup>0</sup> ° C
Měď	. . . . .	1083 <sup>0</sup> ° C
Železo	. . . . .	1530 <sup>0</sup> ° C
Křemenové sklo	. . . . .	1700 <sup>0</sup> ° C
Platina	. . . . .	1764 <sup>0</sup> ° C
Iridium	. . . . .	2340 <sup>0</sup> ° C
Wolfram	. . . . .	3400 <sup>0</sup> ° C

**82. Na čem závisí bod tání a tuhnutí?** V první řadě na čistotě látky. Každá přímíšenina působí, že se bod tání zpravidla snižuje. Proto mají vždy roztoky nižší body tuhnutí než čisté rozpouštědlo. Již roku 1788 pozoroval Charles Blagden (čti Šarl), že, ochlazuje-li se zředěný roztok nějaké soli ve vodě, začne při určité teplotě, která jest nižší než teplota tuhnutí čisté vody, rozpouštědlo tuhnutí v drobounkých krystalcích. Tato teplota nazývá se bod tuhnutí roztoku. Tak na příklad mořská voda, která v sobě obsahuje hodně kuchyňské soli, má bod tuhnutí asi  $-2\cdot2^{\circ}$  C. Blagden též zjistil, že snížení bodu tuhnutí pod teplotu tuhnutí rozpouštědla jest přímo úměrno množství rozpuštěné látky.

Obdobně má se to s body tání slitin kovů, jež možno též považovati za roztoky kovů. Nejznámější slitina kovů jest klempířská pájka, slitina to zhruba 2 dílů cínu a jednoho dílu olova, které užívají klempíři ke spájení kovů a opravě poškozeného nádobí kovového. Kdežto cín má bod tání okrouhle  $232^{\circ}$  C, olovo  $327^{\circ}$  C, jest bod tání klempířské pájky  $180^{\circ}$  C. Lze však slíti z několika kovů i takové slitiny, které mají bod tání nižší než bod varu vody, takže tají ve vodě již dříve, než se začne voda vařit. Jako příklad nejznámější budiž nám kov Woodův (čti Vúdův), který se skládá z 50% vismutu, 25% olova, 12·5% cínu a 12·5% kadmia. Body tání těchto čtyř kovů jsou mezi  $232^{\circ}$  a  $327^{\circ}$  C, slitina však taje již při teplotě kol  $75^{\circ}$  C a tuhne při teplotě asi  $67^{\circ}$  C.

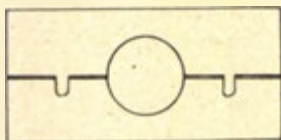
Dále závisí bod tání značně na tlaku, pod kterým tající látka jest. Body tání uvedené v přehledu předešlého odstavce jsou tak zvané normální body tání, to jest body tání za tlaku jedné atmosféry. Ale již roku 1849 seznal James Thomson (čti Džems Thomsn), že, taje-li led pod tlakem vyšším než jedna atmosféra, taje již při teplotě nižší než bod mrazu. Jeho bratr, slavný anglický badatel William Thomson (čti Viliem Thomsn), později povýšený na Lorda Kelvina, změřil, že při tlaku 8 atmosfér taje led již při teplotě asi o  $1\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  nižší než bod mrazu, při tlaku 17 atmosfér již  $\frac{1}{2}^{\circ}$  níže, než jest bod mrazu. Hodně názorně ukázal snížení bodu mrazu tlakem roku 1858 Mousson (čti Muson) v Ženevě. Dal vodě zmrznouti v silné ocelové rouře a vložil ji pak do mrazivé směsi; její teplotu udržoval asi  $20^{\circ}$  pod bodem mrazu. Nad led vložil do roury kousek kovu a působil pak shora šroubovým pístem na led ohromný tlak asi 13.000 atmosfér. Když pak povolil tlak a rouru rozebral, přesvědčil se, že vložený kus kovu byl na dně roury. To se mohlo státi jen tak, že led tím ohromným tlakem roztál při teplotě kol  $-20^{\circ}\text{C}$  a vodou klesl pak kus kovu ke dnu. Když pak přestal tlakem shora působiti, voda zase zmrzla. Tento zjev, že voda roztálá z ledu zase zmrzne, když přestane na ni působiti tlak, nazval slavný anglický fysik Michael Faraday (čti Faradej) (1791—1867) **regelace<sup>55)</sup> vody**.

Jinak lze ukázati regelaci vody pokusem, který provedl po prve profesor university glasgowské James Bottomley (čti Džems Botomlej). Přes kus ledu tvaru kvádrového, který vhodně podepřeme, přehodí se smyčka ocelového drátu, která se dole zatíží závažím 10 až 20 kg. Led ve svém nitru má teplotu nižší než jest bod mrazu, na povrchu však vlivem tepla dodávaného z okolí taje. Ale drát ne-

<sup>55)</sup> Z latinského slovesa *gelare* = zmrznouti, předpona *re* = opět, znova; tedy *regelare* = znova zmrznouti.

zůstává na svém místě, nýbrž zařezává se do ledu, jenž pod drátem podroben jest dosti značnému tlaku a tím snižuje se jeho teplota tání na teplotu pod bodem mrazu, kterou led uvnitř má. Jakmile však drát určitým místem ledu projede, hned zase voda, vzniknuvší z ledu a mající teplotu nižší než jest normální bod tání, zmrazne, když tlak na ni přestane působiti. Tak drát projede celým kusem ledu, až po případě padne i se závažím na podlahu, ale kus ledu zůstane celý.

Regelaci vody možno pozorovati též na kolejích, které zanechává těžký vůz jedoucí v zimě po sněhu čerstvě napadlém. Sníh má teplotu pod bodem mrazu, ale roztaje pod tlakem působeným koly vozu. Když však kola přejela a tlak minul, voda opět zmrazne v ledové průhledné koleje.



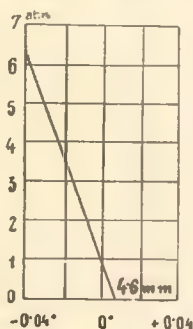
Obr. 61

Zjev regelace má též důležitý význam v přírodě pro tvoření ledovců. Na horách v krajích věčného ledu hromadí se mnoho sněhu, jenž tlačí tím více na spodní své vrstvy, čím výše ho napadlo. Když jest tlak ten dosti veliký, začnou tátí spodní vrstvy sněhové a po vodě táním vzniklé svázejí se pak veliké spousty sněhové po úbočích hor do údolí, působíce zhoubně a drtíce vše, co jim přijde v cestu.

Led nebo sníh stává se vlivem tlaku plastickým. To ukázati lze pokusem, který provedl slavný anglický experimentátor John Tyndall (1820—1893). Do každého ze dvou dřevěných kvádrů (obr. 61.) vyhloubil dutinu polokulovitou a nacpal pak do obou dutin, co se vešlo sněhu nebo malých kousků ledu. Pak oba kusy položil na sebe tak, aby vložené ty-

činky do kusu jednoho zapadly do otvorů kusu druhého, a podrobil oba kusy velkému tlaku v nějakém lise. Když dřeva z lisu vyndal a od sebe oddělal, našel z ledu nebo sněhu pěknou průhlednou kouli.

Důvod, proč se bod tání ledu tlakem snižuje, jest ten, že led tající zmenšuje svůj objem, jak již bylo uvedeno. Když se tedy působí na led tlakem, napomáhá se tomu zmenšování objemu



Obr. 62

a proto led taje již při teplotě nižší, než jest jeho normální bod tání. Každému tlaku odpovídá pro led určitý bod tání a opačně. Lze proto závislost obou těchto dvou veličin, jež určují rovnovážný stav mezi tuhou a kapalnou fází vody, znázorniti graficky tak, že nanášíme na osu vodorovnou příslušné body tání, na osu svislou pak příslušné tlaky. Část takového diagramu znázorňuje obr. 62. Poněvadž změny bodů tání jsou poměrně malé, značí 1 dílek osy vodorovné  $0.02^{\circ}\text{C}$ , 1 dílek osy svislé 1 atmosféru. Při tlaku 4.6 mm sloupce rtuťového, tedy téměř nulovém, jest rovnovážný stav ledu a vody dán teplotou  $+0.0076^{\circ}\text{C}$ . Část diagramu od čáry značící závislost bodu tání na tlaku napravo, odpovídá jen fázi kapalně, tedy vodě, část nalevo fázi tuhé,

ledu. Každý bod od čáry napravo znázorňuje tedy určitý stav (tlak a teplotu) vody, nalevo pak ledu.

Tlakem snižuje se bod tání u všech látek, které svůj objem táním zmenšují, tuhnutím zvětšují. Tak jest tomu u šedé litiny, kterou se odlévají připravené formy hliněné a která je, tuhnouc, vyplní do nejmenších podrobností. Rovněž tak chová se mosaz a liteřina, z níž lijí se písmena pro tiskáře. Většina látek však chová se opačně, totiž tajíce zvětšují svůj objem, tuhnouce se smršťují, tak na příklad síra, fosfor, parafín, kyselina stearová a jiné. U nich s rostoucím tlakem ovšem stoupá bod tání. Neboť působí-li na látku takovou vyšší tlak, brání jejímu tání a proto nastává tání až při teplotě vyšší než za tlaku normálního. Opět bylo by možno znázorniti si vzájemnou závislost tlaku a bodu tání těch látek graficky diagramem, kde by však linie stoupala směrem k teplotám vyšším při větších tlacích.

**83. Jak se určuje skupenské teplo tání?** První, kdo stanovil skupenské teplo tání ledu, byl uvedený již skotský badatel Josef Black. Užil k tomu dvou přesně stejných baněk skleněných, do nichž vloženy byly stejné 2 teploměry. Do jedné baňky nasypal určité množství ledu nulstupňového a do druhé nalil stejné množství nulstupňové vody a obě ty nádoby dal do teplého pokoje. Předpokládal, že jedna i druhá nádoba přijímá z okolí za stejnou dobu stejné velké množství tepla. Sledoval teploměry v obou nádobách a zjistil, že teplota vody stoupla na  $4^{\circ}$  za čtvrt hodiny. V druhé nádobě však teplota nestoupala, za to však led tál, a trvalo to plných 5 hodin, čili 20 čtvrt hodin, než všecken roztál. Z toho soudil Black, že určité množství ledu nulstupňového spotřebuje dvacetkrát více tepla k svému roztavení, než jest třeba tepla k tomu, aby se totéž množství vody nulstupňové ohřálo o  $4^{\circ}\text{C}$ . Poněvadž **1 g** vody potřebuje **4 kal.** tepla, aby se oteplil z  $0^{\circ}$  na  $4^{\circ}\text{C}$ , potřebuje proto **1 g** ledu nulstupňového, aby se proměnil ve vodu nulstupňovou 20krát tolik tepla, to jest **80 kal.** tepla. Jest tedy skupenské teplo tání ledu **80 kal.** Přesnější měření vedla k hodnotě **79.6 kal.**



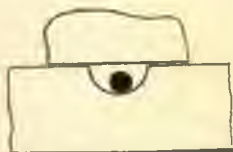
Jinak stanoví se skupenské teplo tání metodou směšovací ve směšovacím kalorimetru tím, že vhodíme určité množství ledu nulstupňového do odváženého množství vody teplejší a pozorujeme teplotu, které nabude směs obou látek. Vhodíme-li na příklad **20 g** ledu do **380 g** vody **20° C** teplé, nabude směs teploty **15° C**, když všechn led roztaje. **380 g** vody dvacístupňové ochladilo se o **5°**, tedy vydalo  **$380 \times 5 \text{ kal.} = 1900 \text{ kal.}$**  tepla, jež obdrželo **20 g** ledu. Led jimi roztál ve **20 g** vody nulstupňové, a ta se pak ohřála na **15° C**. K tomuto oteplení **20 g** vody z **0°** na **15°** spotřebovalo se  **$20 \times 15 \text{ kal.} = 300 \text{ kal.}$**  tepla. Odečteme-li je od **1900 kal.**, zbývá **1600 kal.** tepla, jež se vynaložilo na roztavení **20 g** ledu nulstupňového ve **20 g** vody nulstupňové. Potřeboval tedy **1 g** ledu nulstupňového ke svému roztavení ve vodu nulstupňovou **80 kal.** tepla. O těchto **80 kal.**, přesněji **79.6 kal.**, jest každý **1 g** vody nulstupňové bohatší než **1 g** ledu nulstupňového. Poněvadž jsme prohlásili teplo za energii, můžeme vypočítati, o jak velkou část energie obsahuje **1 g** vody nulstupňové více než **1 g** ledu nulstupňového. Poněvadž **1 kal.** jest rovnocenna s **0.427 kgm** práce, jest každý **1 g** vody nulstupňové bohatší o  **$79.6 \times 0.427 \text{ kgm} = 33.98 \text{ kgm}$**  čili téměř **34 kgm** než **1 g** ledu nulstupňového. Této značné energie bylo dle názoru mechanické teorie tepla třeba k tomu, aby se molekuly látky tuhé, to jest ledu, uvolnily, aby mohly konati kmitavé pohyby kol libovolných rovnovážných poloh, aby se tedy překoraly síly, jež držely ve skupenství tuhém každou částici v určité rovnovážné poloze. Ovšem tyto síly jsou u různých látek tuhých různé a proto také jest třeba na jejich překonání u různých látek tuhých různé zásoby energie a překonání to se děje za různého stavu pohybového jednotlivých částic. Jinými slovy různé látky tají za různých teplot a spotřebují k roztavení svého **1 gramu** různých množství tepla. Jsou také skutečně skupenská tepla tání pro různé látky různá. Poměrně malá skupenská tepla tání mají kovy, na příklad olovo **5.5 kal.**, cín **13.8 kal.**, zlato **16 kal.**, zinek **23 kal.**, stříbro **26 kal.**, železo **49 kal.**

Když naopak kapalina tuhne, děje se s molekulami látky změna opačná, molekulám musí býti uhráno energie pohybové, aby zaujaly určité pevné rovnovážné polohy, kolem nichž budou pak v tělese pevném kmitati. Tuto energii vydávají ve formě skupenského tepla tuhnutí, jež vydá každý gram látky ochlazené na svůj bod tuhnutí, když ztuhne.

Na spotřebě tepla při tání a rozpouštění zakládá se též násobení chladicích směsí, o kterých jsme se již zmínili. Nejjednodušší a vydatnou chla-

dicí směs dává směs sněhu a soli kuchyňské, smícháme-li je v poměru 3 : 1. Teplota směsi jest  $-20^{\circ}\text{C}$ , při níž směs roztaje. Množství tepla, kterého jest třeba k rozpouštění soli a roztavení sněhu, látka ubírá sama sobě a proto tak silně se ochladí. Ještě vydatněji chladí směs 10 dílů chloridu vápenatého se 7 díly sněhu. Jestliže před smícháním obě látky ochladíme pod  $0^{\circ}$ , má směs teplotu až  $-55^{\circ}\text{C}$ .

Veliké stupenské teplo tání ledu jest neobyčejným dobrodiním pro lidstvo. Kdyby totiž měl led malé skupenské teplo tání, vznikly by každoročně na jaře ohromné zátopy, kdyby všechen sníh, který za zimy napadal na horách, rychle roztál. Poněvadž jest skupenské teplo tání ledu veliké, spotřebuje se mnoho tepla a dlouho to trvá než sněhy v horských



Obr. 63

lesích roztají. Tím si také vysvětlíme, proč na jaře jest dlouho počasí sychravé a nevlídné, dokud všechen sníh alespoň v nižších polohách neroztaje.

**84. Ledový kalorimetr.** Znalosti skupenského tepla tání ledu užil Black k tomu, aby určoval specifické teplo látek tuhých. Zařízení jeho nazváno bylo kalorimetr ledový. Sestavit si ledový kalorimetr jest velmi snadno. Stačí k tomu 2 kusy ledu, z nichž do jednoho vyhloubí se jamka tak veliká, aby se do ní vešel předmět, jehož specifické teplo máme určit (obr. 63). Druhým kusem ledu se tento kus přikryje. Pak jest nutno připravit si malý kousek hubky, který se dobře vysuší, zváží a pak ochladí na teplu bodu mrazu.

Předmět, jehož specifické teplo chceme stanovit, měj hmotu  $M$  a teplotu  $t$ , než jej vložíme do jamky v ledu.

změnu objemu mohl co nejjemněji měřiti, zařídil **Bun-**  
**sen** svůj ledový kalorimetr takto: Vlastní kalorimetrická  
 nádoba skleněná **N** (obr. 64) zatavena jest do širší nádoby  
 skleněné **B**, která dole přechází v rouru zahnutou do pís-  
 meny **U**, jejíž delší rameno **T** ústí zabroušeným otvorem,  
 a do toho zapadá dobře zabroušená zátká, z níž vybíhá  
 uzounká kapilární trubice **K**. Nádoba **B** i trubice **T** vloží  
 se do širší nádoby naplněné čistým ledem, která v obraze  
 není nakreslena a která má dvojité stěny též ledem vy-  
 plněné. Nádoba **B** jest naplněna čistou vodou zbavenou  
 vzduchových bublin tím, že byla vařena a pak ochlazená  
 na 0°. Nádobka **N** se pak z vnitřka uměle ochladí, nejlépe  
 tak, že se v ní nechá rychle vypařovati éter, čímž se její  
 povrch obalí vrstvou ledu **L** utvořenou mrznutím ledové  
 vody v nádobě **B**. Když vznikne dosti silný obal ledový,  
 přestane se nádoba **N** chladiti, vysuší se a určí se na mě-  
 řítku, kam až sahá rtuť v kapilární rource **K**, když se  
 celkový stav přístroje ustálí. Nato se vhodí do nádoby **N**  
 hmota **M** teploty **t**, jejíž specifické teplo chceme určití, a  
 pozoruje se, oč se sloupeček rtuťový v kapiláře posune  
 dovnitř. Odpovíká-li posunutí v  $\text{cm}^3$  objemu, pak roztálo  
 vlivem vložené látky **m** gramů ledu z obalu **L** a pak

$$m = \frac{v}{0.0907} \text{ g} = 11.03 \text{ v gramů.}$$

Těchto **m** gramů spotřebovalo **m. 79.6 kal.** tepla, jež vy-  
 dalo **M** g látky ochladivší se na 0° C. Platí tedy

$$Mct = 11.03 \cdot 79.6 \text{ v,}$$

odkudž

$$c = \frac{878 \text{ v}}{Mt} \text{ kal.}$$

**Příklady na cvičení.** 42.) Jaké teploty nabude směs 400 g  
 vody 80° teplé se 400 g ledu 0°? [0°]

43.) Kolik kalorií nutno dodati 500 g železa 30° teplého,  
 aby se roztavilo? ( $c = 0.11 \text{ kal.}$ ) [107 kal.]

44.) Jak veliké jest specifické teplo mědi, jestliže měděná  
 koule hmoty 8.4 g zahřátá na 100° C rozpustí v ledovém  
 kalorimetru 1 g ledu? [0.0947 kal.]

45.) Kolik kg ledu —8° C teplého roztaje v 5 kg vody 40°  
 teplé? [2.39 kg.]

**85. Vypařování a sublimace.** Jest známá zkuše-  
 nost, že necháme-li nezazátkovaný kalamář delší čas  
 volně státi, ubývá inkoustu, až úplně v y s c h n e .  
 Rovněž postavíme-li nepřikrytou nádobku s vodou  
 na jednu miskú vah, vyvážíme a necháme alespoň  
 hodinu na vahách státi, přesvědčíme se opětým

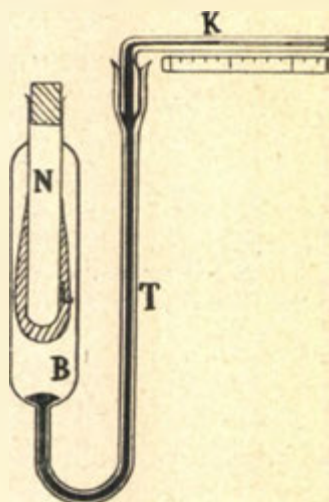
Vloží-li se do jamky a horním kusem ledu přikryje, nemůže nikam jinam dodávat teplo, jen ledu. Sám schladne na teplotu ledu  $0^{\circ}$  a vydá při tom **Mct kal.** tepla. Tímto teplem roztaje **m** gramů ledu v jamce, k čemuž se spotřeboval **m. 79.6 kal.** tepla. Poněvadž odjinud žádné teplo nemohlo působiti, platí, že

$$\text{Mct} = 79.6 \text{ m.}$$

Z toho lze počítati

$$c = \frac{79.6 \text{ m}}{M_t}$$

Zjištění množství **m** rozpuštěného ledu jest poměrně dosti málo přesné. Provede se zmíněnou houbičkou, již se jamka dobře vytře, a pak se houbička znova zváží. Rozdíl



Obr. 64

obou vážení dá **m**. Ježto však tento způsob určení **m** jest zdrojem chyb při měření, zdokonalil německý fysik Robert Vilém Bunsen ledový kalorimetr tak, že vyhovuje nejprísnějším požadavkům vědeckým. Místo aby vážil, kolik gramů ledu se vloženou hmotou rozpustí, určoval Bunsen, oč se změní objem ledu a vody tím, že **m** gramů ledu roztaje ve vodu nulstupňovou. Jest totiž objem **1 g** vody nulstupňové, čili specifický objem nulstupňové vody **1.00012 cm<sup>3</sup>**, specifický objem ledu  $0^{\circ}$  pak **1.09082 cm<sup>3</sup>**. Jestliže tedy roztaje **1 g** ledu v **1 g** vody nulstupňové, zmenší se tím objem směsi o **1.09082 cm<sup>3</sup> — 1.00012 cm<sup>3</sup> = 0.09070 cm<sup>3</sup>**. Aby tuto



zvážením, že v o d y u b y l o . Tuto zkušenost měli již národové starověcí. Rovněž věděli, že mokré předměty na vzduchu usychají. Soudili, že při tom se v o d a m ě n í v e v z d u c h , jiného plynu neznali. Také věděli, že tato přeměna děje se rychleji, když se voda mírně zahřívá. Děj tento, při kterém se m ě n í l á t k y s k u p e n s t v í k a p a l n ě h o v p l y n n ě , nazýváme nyní v y p a ř o v á n í a plyn, který z kapalin vzniká, nazývá se p á r a .

Rovněž jest známá zkušenost, že také z m r z l é prádlo u s c h n e , čili že též částice ledu v tkanivu obsažené se promění v páru, aniž před tím roztají ve vodu. Vložíme-li do skříně krystalky kafru nebo naftalinu, aby se do šatstva nedali moli, a otevřeme-li po několika dnech zase skříň, u z ř í m e , že krystalků ubylo, ale za to v celé skříni rozšířil se silný zápach par kafrových po případech naftalinových. Led, kafr a naftalin proměnily se v páry přímo ze skupenství tuhého. Tento zjev nazýváme **sublimace**.

Na čem záleží vypařování a čím se urychluje, poznáme z pokusů následujících. Nalijeme na dvě stejná hodinová sklíčka, položená na dvou miskách jemnějších vah a spolu vyvážená, stejné množství dvou různých kapalin, na příklad na jedno vody, na druhé lihu nebo éteru. Přesvědčíme se po krátké době, že sklíčko na němž jest nalito lihu nebo éteru jest lehčí než sklíčko s vodou. Lihu po případě éteru ubylo ve stejné době více než vody. Závisí tedy rychlost se kterou se kapaliny vypařují na j a k o s t i k a p a l i n y .

Nechme na jedné misce vah ploché hodinové sklíčko a na druhou dejme úzký kalíšek a zjednejme rovnováhu na vahách. Pak nalejme do kalíšku i na misku stejné množství téže kapaliny, na příklad éteru. Za chvíli uvidíme, že na misce s kalíškem jeví se převaha. Ubylo tedy rychleji kapaliny na misce o širokém povrchu než z nádobky úzké. Rychleji se tedy táž kapalina vypařuje, m á - l i š í r š í p o v r c h .



Dejme zase obě sklička hodinová na misku vah, vyvažme a nalijme na obě stejné množství téže kapaliny, na příklad lihu. Foukajíce buď ústy nebo malým ručním měchem do kapaliny na jednom skličku, odhánějme páry, tvořící se z kapaliny na tomto skličku. Uvidíme, že záhy se objeví na druhé misce, kde je kapalina v klidu, převaha. Rychleji se tedy táž kapalina vypařuje, když se páry odhánějí.

Smočme konečně tři stejné kousky pijavého papíru do téhož množství téže kapaliny, zase na příklad lihu, a dejme jeden z nich na místo, kam přímo svítí Slunce, druhý na místo chráněné proti přímému působení paprsků slunečních, třetí pak do sklepa. Brzo se přesvědčíme, že nejdříve uschne papír na výsluní, déle to trvá u papíru ve stínu a velmi dlouhé doby bude vyžadovati, než uschne papír ve sklepě, jenž po případě neuschne zcela nikdy. Urychluje se tedy konečně vypařování zahříváním kapaliny, jež se vypařuje.

Všech těchto zkušeností a závislostí se výhodně užívá v denním životě. Hospodyně venkovské, chtějíce, aby jim mokré prádlo brzo uschlo, rozvěšují je širokými plochami na dvorky nebo zahrádky, kde volně může svítiti na ně Slunce, po případě alespoň foukatí vitr. V městech pak věší se prádlo na balkony nebo na půdy, kde jest vystaveno též působení slunečních paprsků, po případě alespoň průvanu. Chceme-li brzo oschnouti promoknuvše, chodíme v teplé místnosti, po případě procházíme se na výsluní.

Má-li oschnouti z moklé seno, přehazuje se nejdříve, aby měl k němu se všech stran přístup vzduch a sluneční teplo. Pak se dává do kupek, v nichž se dosušuje. Podobně suší se též obilí. Místnosti v novostavbách se vysušují tím, že se hodně větrají a topí se v nich. Potištěný papír v tiskárnách, nebo kusy látek v barvárnách rozprostírají se nebo rozvěšují po drátech, aby brzo vyschly. Po dešti oschne dlažba ulic

rychleji na místech, kam svítí Slunce, na jaře a v létě dříve než na podzim a v zimě.

Vypařování kapalin též urychlíme tím, že páry pohlcujeme jinými látkami tuhými nebo kapalnými. Tak vodní páry hodně pohlcuje kysličník fosforečný, nebo nezředěná čili koncentrovaná kyselina sírová.

Proto užívá se těchto látek jakožto vysušovačů takových prostorů, které mají býti uchovány prosty par vodních.

Některé kapaliny se za obyčejných poměrů vypařují velmi málo, ba téměř vůbec nevypařují. Příkladem jich jest rtuť a glycerin. Ty kapaliny, které se vypařují rychle, nazýváme **kapaliny těkavé**, jsou to na příklad benzin, éter, lih a jiné.

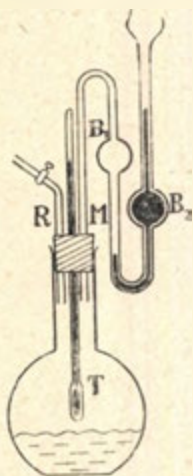
Sledujeme-li blíže vypařování kapalin různých, poznáme, že kapaliny se vypařují za každé teploty, každého tlaku a že při vypařování nepozorujeme na kapalině žádné jiné změny, než že jí ubývá na povrchu. Jest tedy vypařování přeměna látky skupenství kapalného v plynné, jež se děje na povrchu kapaliny za každé teploty i tlaku. Podobně látky tuhé sublimují na svém povrchu za každé teploty a každého tlaku.

**86. Var.** Jest však ještě jiná přeměna skupenství kapalného v plynné, kterou můžeme pozorovati, když ve skleněné baňce, do níž vložíme teploměr a kterou postavíme na drátěnou sítku, poněnáhu zahříváme vodu plamenem plynovým. S počátku pozorujeme, jak se na stěnách a u dna nádoby začínají ukazovati bublinky vzduchové, zprvu malé, pak větší a větší. Jest to vzduch, který byl pohlcen v pórech vody a který s rostoucí teplotou nabývá většího objemu, takže jeho bubliny stávají se viditelnými až při vyšší teplotě. Při teplotě kol 60° C, vystupují tyto bublinky ke hladině kapaliny a tam se ztrácejí. Při teplotě asi 70° C

vystupují nad kapalinu bělavé „páry“. Jsou to vlastně droboučké kapičky vodní, které se nad kapalinou srazily v chladnějším vzduchu z par, jež unikají z povrchu kapaliny. Při teplotě 80° až 90° C, začne však v nádobě zvláštní lupání, jež přechází v šumot; počínají se tvořiti na stěnách a u dna nádoby četné bublinky par, které vystupují do výše a mizejí v kapalině. Když však teplota dostoupila 100° C po případě něco málo pod 100°, přestane šumot, ale za to ode dna nádoby vystupují veliké bubliny par, až ke hladině, čímž se celá kapalina dostane do kolotavého pohybu a přeměňuje se v páry v celé své hmotě, nikoli pouze při povrchu. Tuto přeměnu kapaliny v páry nazýváme var, jenž děje se jen při určité teplotě za určitého tlaku. Teplota, při které se tato přeměna děje, nazývá se teplota varu (bod varu). I když dále zahříváme kapalinu, neukazuje teploměr vložený do kapaliny vyšší teploty, nýbrž drží se stále na bodu varu, pokud se všechna kapalina nevyvaří. Tento zjev znal již Christian Huygens (viz odst. 11.) jakož i slavný franc. lékař a fysik Denis Papin (čti Deni Papén) (1647—1712), který většinu svého života ztrávil v Anglii a stal se též členem učené společnosti anglické „Royale Society“.

Rovněž bylo mu známo, že teplota varu se zvýší, když se zvětší tlak působící na kapalinu vroucí v nádobě uzavřené, jako zase již Robert Boyle r. 1660 věděl, že se bod varu sníží, vře-li kapalina za tlaku nižšího. Proto nazýváme bod varu kapaliny za tlaku jedné atmosféry **normální bod varu**. Jak závisí bod varu vody na tlaku, bylo již vyloženo v odst. 18. Zde uvedeme několik pokusů jimiž se možno o tom přesvědčiti, že za vyššího tlaku vře voda při teplotě vyšší nad normální bod varu, za nižšího tlaku při teplotě nižší. Var za tlaku mírně zvýšeného, lze pozorovati v baňce skleněné, která jest uzavřena zátkou provrtanou

třemi otvory (obr. 65). Prostředním prochází teploměr **T**, jehož stupnice sahá několik stupňů nad bod varu, a zasazen jest tak hluboko, aby nádobka byla v parách nad kapalinou. Druhým otvorem prochází rourka zahnutá, opatřená kohoutkem a sahající jen něco málo pod zátku. Třetím otvorem veden jest malý manometr, opatřený nahoře nálevkou a mimo to dvěma baňkami **B<sub>1</sub>**, **B<sub>2</sub>** na rtuť. Nejdříve vaříme vodu při otevřeném kohoutku. Teploměr ukazuje normální bod varu, je-li

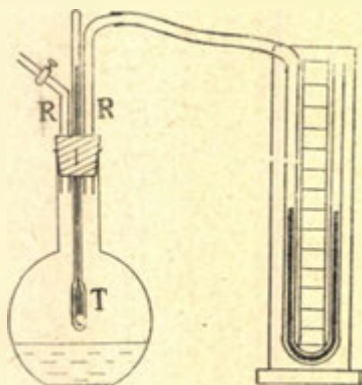


Obr. 65

tlak zevnějšího vzduchu jedna atmosféra; v manometru jsou hladiny v obou rourkách ve stejné výši. Když však přivřeme na chvíli kohoutek, ukazuje teploměr teplotu vyšší než  $100^{\circ}\text{C}$ , zároveň rtuť v manometru ukazuje přetlak proti zevnímu tlaku o několik cm sloupce rtuťového.

Docela podobným přístrojem lze též pozorovati var za tlaku nižšího, který současně lze měřiti. Manometr **M** nahradíme rourkou skleněnou (obr. 66), na níž navlečeme hadici kaučukovou dlouhou asi 70 cm, jejíž druhý konec ústí do jemného rtuťo-

vého manometru otevřeného. Chvilí vaříme vodu za otevřeného kohoutku, pak kohout uzavřeme a přestaneme zahřívati. Chvilí se voda vaří dále. Když se vaření přestane, vložíme nádobu do větší připravení baňky se studenou vodou. Hned nastane bouřlivý var, při čemž teploměr ukazuje nižší teplotu než normální bod varu a na manometru změříme, že tlak, za kterého nyní voda vře, jest nižší než tlak zevnějšího vzduchu; to se



Obr. 66

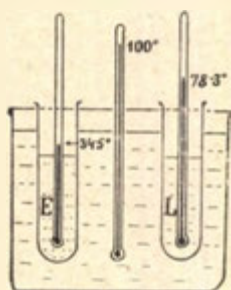
projeví tím, že v levém rameni stoupne značně rtuť a v pravém otevřeném klesne.

Zcela jednoduše lze též pozorovati var při nižším tlaku tak, že vodu horkou asi  $80^{\circ}\text{C}$  v malé skleničce dáme pod skleněný zvon vývěvy, již chvilí čerpáme vzduch. Když se tlak pod zvonek dostatečně sníží, začne se voda v nádobě bouřlivě vařiti.

Že každá kapalina má svůj určitý normální bod varu, můžeme se přesvědčiti tímto pokusem. Do širší kádinky s vodou vložíme při barometrickém tlaku jedné atmosféry třeba drátěné držadlo se dvěma zkumavkami. Do jedné nalijeme trochu éteru a do druhé čistého lihu (obr. 67). Pak zavěsíme tři stejné teploměry do těchto



nádobek, aby jeden zasahoval do zkumavky s lihem, druhý do vody, třetí do éteru. Začne-li zahřívati plamen vodu v nádobce, stoupají s počátku všechny tři teploměry. Při  $34\cdot5^{\circ}\text{C}$  začne vřítí éter a teploměr do něho vložený již dále nestoupá, pokud všechn éter se nevyvaří. Ve zkumavce s lihem stoupá zatím teplota dále, až při  $78\cdot3^{\circ}\text{C}$  začne se vařit lih, a teplota lihu drží se pak na té výši, dokud se všechn nevyvaří. Zatím stoupá teploměr vložený do vody dále, až při  $100^{\circ}\text{C}$  nastane var vody. Pak přestaneme zahřívati. Uvedené pozorované teploty jsou tedy normálními body varu éteru, lihu a vody.



Obr. 67

V následujícím přehledu jsou uvedeny normální body varu ještě pro některé kapaliny, po případě roztavené kovy:

Toluol	$110\cdot8^{\circ}\text{C}$
Glycerin	$290\text{—}^{\circ}\text{C}$
Rtuť	$356\cdot7^{\circ}\text{C}$
Síra	$444\cdot5^{\circ}\text{C}$
Zinek	$906\text{—}^{\circ}\text{C}$

Rozpustí-li se v kapalině nějaká látka, jest bod varu roztoku vyšší než čistého rozpouštědla. Tak slaná voda vře při vyšší teplotě než voda čistá. Zvýšení bodu varu závisí zase na množství rozpuštěné látky v určitém množství rozpouštědla, jsouc mu přímo úměrno. Zahříváme-li směs dvou nebo více kapalin, jež mají různé body varu, vystupují páry napřed té kapaliny, jež má nižší bod

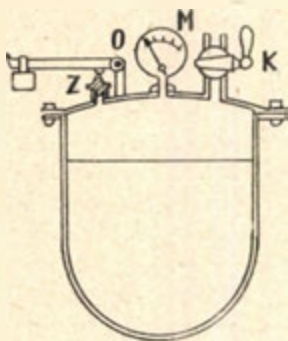
varu. Tímto způsobem lze oddělití ze směsí kapalin tu, která má nižší bod varu. Ve směsi převládají pak kapaliny mající vyšší bod varu.

Když zahříváme vodu, nebo jinou kapalinu delší čas, uniknou z ní všechny bubliny vzduchu v kapalině obsažené, jež napomáhají tvoření bublin páry, a stává se, že kapalina se na chvíli přestane vařit; teplota její stoupne a pak náhle se vytvoří veliká bublina parová, která prudce uniká do výše. Kapalina, která má teplotu vyšší, než jest její normální bod varu, nazývá se přehřátá. Jak již bylo uvedeno v odstavci 18., podaří se přehřátí vodu dokonale čistou a v pečlivě vyčištěné nádobě, zvláště byla-li již voda delší čas před tím vařena. Právě proto, že se kapalina může přehřátí, nevkládá se při stanovení bodu varu na teploměru teploměr přímo do vody, nýbrž do par unikajících z vroucí vody. Aby se přehřátí kapaliny zamezilo, vkládá se na dno nádoby, v níž se kapalina vaří, látka nějaká pórovitá, která obsahuje hodně vzduchu; na příklad vsype se do nádoby čistý písek, odpadky platinové, nebo vloží se do nádoby čistá tyčinka skleněná, kus drátu, na který kapalina chemicky nepůsobí, a podobně. Pak se tvoří bubliny par, hlavně na tom vsypaném nebo vloženém předmětu a var jest klidný za teploty normálního bodu varu.

Jak se zvyšuje bod varu vody při rostoucím tlaku udává následující přehled:

Za tlaku	1·00 atm.	vaří se voda při	100° C.	
77	”	1·41	”	110°
77	”	1·96	”	120°
77	”	2·67	”	130°
77	”	3·57	”	140°
77	”	4·70	”	150°
77	”	6·10	”	160°
77	”	7·82	”	170°
77	”	9·90	”	180°
77	”	12·39	”	190°
77	”	15·34	”	200°

Že se při zvýšeném tlaku vaří voda při teplotě vyšší, než jest normální bod varu, prakticky užil uvedený již Denis Papin, jenž sestrojil nádobu, ve které lze dobře provařit látky, které se jinak těžko uvaří. Jsou to zejména luštěniny, jako hrách, čočka, fazole a pak tvrdé maso. Látky ty jsou stravitelné jen tehdy, když jsou dobře provařeny, a toho právě docílí se v Papinově nádobě nebo kotlíku. (obr. 68). Jest to totlík nejlépe měděný, k němuž lze pevně přišroubovatí víko opatřené dvě-



Obr. 68

ma po případě třemi otvory. Do jednoho z nich jest zasazen malý, kovový manometr **M**, to jest přístroj měřící napětí, jež jest v kotlíku. Druhý otvor jest kryt záklopkou **Z**, která jest k otvoru tlačena malou jednozvratnou pákou, mající pevnou osu **O** na jednom svém konci. Na volném konci lze posouvati závaží, jehož tlak přenáší se na záklopkou a přitlačuje ji k otvoru tím více, čím dále od osy je závaží zavěšeno. Tomuto celému zařízení, jež jest vynálezem Papinovým, říká se ochranná záklopka, ježto chrání nádobu, aby při přílišném napětí nepraskla. Třetí otvor má výfukovou rourku s kohoutkem **K**. Nežli se víko připevní, nalije se do kotlíku voda, vloží do ní látka, která se má vařit, pak se víko pevně uzavře a kotlík postaví se nad plamen.

Páry, které se z kapaliny vytvoří, tlačí na kapalinu vyšším tlakem, než má zevnější vzduch, poněvadž nemohou nikam unikati. Tím pak se zvýší bod varu vody, jež bychom mohli měřiti, kdyby kotlík měl ještě další otvor s rourkou kovovou, sahající až dolu do kapaliny v kotlíku, do níž by se káplo trochu oleje a do toho pak se vnořila nádobka teploměru se stupnicí sahající hodně nad  $100^{\circ}$  C. Kapka oleje jest v rource nutna proto, aby teploměr přijal teplotu, jakou má voda. Kdyby v rource byl jen vzduch, ohřívál by se, ohřátý unikal do výše a na jeho místo klesal by ke dnu rourky nový vzduch studený, který by působil, že by teploměr neudával správnou teplotu vody v kotlíku. Takovýchto Papinových hrnců užívají obyvatelé na vysokých horách, kdež by se jim v otevřených nádobách ani maso ani luštěniny řádně neuvařily. Jest totiž ve výši tlak vzduchu tím menší, čím výše vystoupíme, a jest tedy za nižšího tlaku i bod varu vody nižší. Ve výši nejvyšší hory evropské *Montblanku*, to jest **4800 m**, vařila by se voda již při teplotě  $84^{\circ}$  C, která nestačí, aby se dobře provařily předměty, jež se těžko vaří. Zařízení podobných, ovšem mnohem větších rozměrů, užívají továrny na klich, aby řádně rozvařily chrupavky a kosti, rohy a kůže, z nichž se klich vyrábí, rovněž papírny, jež vaří v nich hadry, jichž se užívá k výrobě papíru.

**87. Srážení par.** Jako se kapaliny mění v páry, tak zase může se pára měniti v kapalinu. Tento přechod nazýváme **srážení čili kondensace par<sup>54)</sup>**. Známe jej z četných zkušeností denního života. Otevřeme-li ráno v zimě v ložnici vnitřní okno, které bylo přes noc uzavřeno, zarosí se, čili jak říkáme opotí se zevnější okno na straně obrácené dovnitř pokoje. Pokrytí je totiž drobounké kapičky vody z páry, která se dotykem s chladným sklem srazila. Podobně přineseme-li do teplého

<sup>54)</sup> Z latinského slova *condensare* (čti *kondensare*) = zhušťovati.



pokoje sklenici studené vody, pokryje se celá sklenice na vnějším povrchu vrstvou vody, sražené v drobounké kapičky, které vznikly ze sražené páry na studené sklenici. Držíme-li nad hrncem, v němž se voda vaří, studený předmět, třebaž lžící nebo kousek skla, záhy se pokryje vrstvou sražené vody. Rovněž tak pokryje se sraženou vodou z par spodek poklice, již jest přikryt hrnec, v němž se vaří voda.

Páry mohou se však srážeti též v látku tuhou. Pěkně to lze pozorovati na jodu. Dáme-li do malé skleněné baňky kousek jodu a zahřejeme-li místo, kde leží, malým plamínkem zvenci, uzmíme, jak se baňka naplní fialovými parami jodovými, jod sublimuje. Ale na protějších chladných stěnách baňky usadí se drobounké lesklé krystalky jodové; páry srazily se v tuhé kousky jodu. Toto srážení par přímo v látku tuhou nazývá se též sublimace, ale směrem dolů.

Jako vypařování kapaliny děje se za každého tlaku a každé teploty, tak také páry mohou se srážeti v kapalinu opět za každého tlaku a každé teploty. Zachytíme-li na kousku skla sraženou páru, která vystupuje z hrnce, v němž se vaří slaná voda, přesvědčíme se, že sražená voda nemá ani stopy příchuti slané, že jest tedy úplně čistá. Tuto zkušenost měl již ve IV. stol. před Kristem nejslavnější filosof starověký Aristoteles. Prakticky jest tohoto zjevu využito při překapování čili destilací<sup>57)</sup> kapalin. Jest to děj, jímž se kapalina čistí, zbavuje všech přímíšenin tím, že se kapalina nečistá svaří a její páry se pak srážejí v kapalinu destilovanou, překapovanou, vyčištěnou. Překapování provádí se v destilačních přístrojích, které se skládají z kovového kotlu, v němž se nad ohništěm kapalina nečistá vaří. Z kotlu vychází trubice, která se pak obyčejně hadovitě vine skrz nádobu, již protéká voda, aby byla stále chlazená a aby se pára rychle srážela.

<sup>57)</sup> Z latinského slova *destilare* = odkapovati.



Z hadovité trubice odkapávající kapalina čistá se zachycuje do připravených nádob.

**88. Skupenské teplo vypařování, varu a srážení par.** Již v letech 50tých stol. XVIII. pozoroval prof. medicíny university Glasgowské Dr. Cullen (čti Kholn), že těkavé kapaliny jsou vždy chladnější než okolí. Provedl též pokus, že pod zvonek vývěvy, z něhož byl vzduch čerpán, dal vypařovati se éteru, jenž tím rychlým vypařováním zchladl na teplotu nižší, než bod mrazu vody. O tom, že vypařující se kapalina silně chladí, svědčí různé zkušenosti. Tak vystoupíme-li z říční koupele do vzduchu za dne, kdy nesvíí přímo slunce, záhy pocítíme na celém těle chlad působený vypařující se vodou. Chlad jest tím větší, když stojíme na místě, kde vane prudší vítr. Kápneme-li si na ruku trochu lihu nebo éteru, pocítíme záhy chlad, který jest u éteru větší než u lihu, poněvadž se éter rychleji vypařuje.

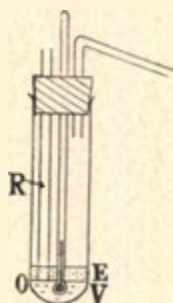
Zavěsme vedle sebe v teplé místnosti dva teploměry, jejichž nádobky mají obaly z vaty, a přesvědčme se, že s počátku ukazují oba teplotu stejně vysokou. Jeden vatový obal omočme ve vodě, druhý v éteru stejné teploty. Rozkýváme-li oba teploměry, vypařují se obě kapaliny, ale éter mnohem rychleji. Když pak po chvíli zjistíme na obou teplotu, přesvědčíme se, že teploměr, na němž se vypařuje voda, ukazuje asi o  $\frac{1}{2}^{\circ}$ , nejvýše  $1^{\circ}$  nižší teplotu než původně, kdežto teploměr druhý udává teplotu několik stupňů pod bodem mrazu. Toto veliké snížení teploty způsobilo rychlé vypařování éteru, který patrně spotřeboval teplo, aby skupenství kapalné přeměnilo se v plynné.

**Množství tepla, kterého potřebuje 1 g kapaliny, aby se vypařil v 1 g páry stejné teplé, nazývá se skupenské teplo vypařování, nebo skupenské teplo výparné.**

Dle mechanické teorie tepla jest zcela přirozeno, že se k vypařování spotřebuje hodně tepla. Částice kapaliny, držené působením okolních částic do libovolných rovnovážných poloh, musí se z účinku tohoto přitahování vymániti a uvolniti tak, aby mohly konati postupný pohyb od stěny ke stěně. To vyžaduje značné energie, která se dodává kapalině ve tvaru skupenského tepla. Mimo to zaujímá pára

objem více než 1000krát větší než byl ten, který zaujímala kapalina, z níž se pára vytvořila. K tomuto zvětšení objemu jest třeba vykonati značnou práci proti tlaku zevnějšího vzduchu a aby ji mohla vypařující se kapalina vykonati, jest nutno jí dodávati tepla. Jestliže pak se kapalině teplo nedodává, ubírá si je sama sobě a chladne proti svému okolí.

Rychlého vypařování a tím silného ochlazování užívá se též k umělé výrobě ledu. Jednoduchým pokusem lze ukázati princip tohoto zařízení. Do širší zkumavky nalijme trochu studené vody V a na ni trochu éteru E (obr. 69). Zkumavku uzavřeme



Obr. 69

zátkou se třemi otvory. Do prostředního vložíme teploměr se stupnicí jdoucí pod  $0^{\circ}\text{C}$ , aby zasahoval až do vody, a na něm změříme počáteční teplotu. Druhým prostrčíme tenkou přímou rourku skleněnou R tak, aby končila v éteru nad hladinou vodní. Do třetího dáme zahnutou rourku skleněnou tak, aby její jeden otvor sahal jen něco málo pod zátku. Volný konec této rourky spojíme kaučukovou hadicí s vývěvou, již čerpáme chvíli vzduch. Pozorujeme, jak z dolního otvoru rourky O unikají bublinky vzduchové, které procházejíce éterem urychlují jeho vypařování. Páry éterové pak odssává spolu se vzduchem vývěva. Teploměr ukazuje rychlé sní-

žování teploty vody, již ubírá teplo vypařující se éter. Teplota klesá značně pod bod mrazu (asi o 6 až 10° C), tím se voda přechladí a pak rázem zmrzne.

Skutečné přístroje na umělou výrobu ledu, skládají se ze dvou silných hadovitě stočených. V jedné z nich se hustilkou stlačí plyný čpavek nebo kysličník siřičitý tak, až zkapalní a pak se prudce nechá vypařovati do trubice druhé, která jest obklopena proudícím roztokem chlořidu draselného ve vodě. Prudkým vypařováním chladne čpavek po případě kysličník siřičitý



Obr. 70

tak, že ochlazuje silně hadovitou trubicí a tím roztok, až zchladne na  $-10^{\circ}$  C. Takto ochlazený roztok vede se pak do velké nádrže, kdež proudí kolem plechových nádob, v nichž je voda. Ta se ochlazuje až na bod mrazu a pak mrzne. Upotřebený čpavek nebo kysličník siřičitý se znova nassaje do hustilky, zase stlačí a tak se děj opakuje.

Určení skupenské teplo výparné jest možno tímto způsobem směšovací v kalorimetru. Do odváženého množství vody v kalorimetru dáme baňku (obr. 70), která má u hrdla postranní otvor, jímž jest možno odssávat z ní vývěvou vzduch a páry tvořící se z kapaliny, jejíž skupenské teplo

výparné určujeme. Hrdlo baňky uzavřeme zátkou provrtanou, jejímž otvorem prochází úzká trubička sahající dolením zúženým koncem do kapaliny. Zvážíme množství kapaliny v baňce před pokusem a po pokuse, rovněž změříme teplotu kapaliny v kalorimetru před a po pokuse. Vypařující se kapalina, již ubylo o určitý počet gramů, ochlazuje vodu v kalorimetru. Dělíme-li množství tepla vodě ubraného počtem gramů vypařivší se kapaliny, obdržíme přibližně průměrnou hodnotu skupenského tepla výparného té kapaliny. Kdybychom provedli měření při různých teplotách, přesvědčíme se, že při různých teplotách má táž kapalina skupenské teplo výparné různé a že ho s rostoucí teplotou ubývá. Tak pro vodu jest při  $0^{\circ}\text{C}$  skupenské teplo výparné **596.8 kal.**, při  $40^{\circ}\text{C}$  **574 kal.**, při  $80^{\circ}\text{C}$  **551.1 kal.** Obsahuje tedy 1 gram páry nulstupňové téměř o **600 kal.** více tepla než 1 gram vody nulstupňové. Jest tedy v každém gramu páry nahromaděno mnohem více energie než v 1 g stejně teplé kapaliny. Rozumí se, že též při sublimaci se spotřebuje skupenské teplo sublimační, aby 1 g látky tuhé se proměnil v páry téže teploty.

Když pak pára se sráží, vrací se toto teplo skupenské ve formě **skupenského tepla srážení par**, čili **kondensačního**. Jest nutno každému 1 gramu par odejmouti skupenské teplo kondensační, aby se proměnil v 1 g látky tuhé nebo kapalné. Proto páry kapalněji jen na předmětech chladnějších a též dolů sublimující páry jodové srážejí se na chladnějších místech baňky, ve které se pokus provádí. Z téhož důvodu jest nutno v destilačním přístroji odnímati parám, které mají kapalněti, teplo v chladící proudící vodou. Tohoto tepla kondensačního se též prakticky upotřebuje při ústředním vytápění budov horkou parou. Pára rozvádí se do topících těles rozdělených vhodně po všech místnostech budovy. Tělesa mají tvar žebrovitý s povrchem hodně velikým, aby se po velké ploše stýkala se studeným vzduchem v místnostech. Pára se v nich

ochlazuje a kapalní, čímž vydává velké množství tepla kondensačního. Tím zahřívají se tělesa, od nichž se pak zahřívá vzduch v místnostech. Voda zkapalnělá v tělesech musí se druhým potrubím odváděti zpět do kotlu, kdež se opět ohřívá, mění v páry a vede do topicích těles. Podobně vytápějí se železniční vozy přebytečnou parou z lokomotivy, která se vede do rour umístěných pod sedadly vozů.

I v přírodě má veliké výparné a kondensační teplo vodních par značný význam. V horkých krajinách se z velkých mořských ploch vypaří veliké množství páry, které vystupující do výše nesou s sebou velikou zásobu energie, jíž nabraly v podobě výparného tepla. Vzdušnými proudy jsou pak tyto páry nesený do krajin chladnějších. Tam se srážejí a vydávají při tom teplo kondensační, jímž oteplují vzduch v krajinách studených a přispívají tak k vyrovnání velikých nerovností tepelných mezi krajinami rovníkovými a kraji pásů studených.

Jest též známá zkušenost, že před deštěm a zvláště před bouří se vždy nápadně oteplí vzduch. Oteplení to nastává teplem kondensačním, jež vydávají srážející se páry v kapky vodní. Oteplení to jest tím větší před krupobitím, neboť pak ještě musí voda vydati skupenské teplo tuhnutí, jež jest též dosti značné, okrouhle 80 kal. na každý gram (viz odst. 83.). Tím si vysvětlíme, proč bývá před bouří spojenou s krupobitím tak dusno.

Že také k přeměně kapaliny v páry varem jest třeba tepla, plyne z té zkušenosti, že nutno kapalinu uvedenou ve var stále ještě dále zahřívati, má-li se ve varu udržeti, ačkoli při tom nestoupá již její teplota. Všecko dodávané teplo spotřebuje se na přeměnu kapaliny v páry varem.

Množství tepla, jímž se 1 gram kapaliny zahřáté na bod varu promění varem v páru téže teploty, nazývá se skupenské teplo varu.



První určoval tuto veličinu známý nám již-badatel Josef Black. Před ním soudili mnozí, že, když jest kapalina již na bod varu zahřáta, stačí již nepatrné množství tepla, aby se ve varu udržela a celá vyvařila. Black však ukázal, že tomu tak není, tímto způsobem. V uzavřeném Papi-  
nově hrnci zahřál vodu hodně přes 100° C, přestal zahřívati a pak otevřev záklopku dal páře unikati. Kdyby byl správný názor dosavadní o varu, musila by se všechna voda rázem přeměnití v páry, ježto přijala hodně tepla nad to množství, kterého bylo třeba, aby se uvedla na bod varu. Ale ve skutečnosti vypařilo se jen malé množství vody; jen tolik, kolik stačilo v páru proměnití to množství tepla, které přijala voda při svém zahřátí nad 100° C. A mimo to teplota vody v kotlíku klesla na 100° C. Ještě nápadněji ukázal velkou spotřebu tepla při varu vody James Watt (čti Džems Uot) (1736 až 1819) přítel Blackův, známý vynálezce parního stroje. Vařil vodu nejdříve v otevřeném Papi-  
nově kotlíku půl hodiny, až se hladina vody snížila o určitou délku. Pak přestal zahřívati, doplnil vodu, aby jí tam bylo opět do stejné výše jako původně, a zahříval znovu, zase týmž plamenem. Jakmile se voda začala vařiti, zavřel kotlík a zahříval dále zase půl hodiny. Když pak otevřel záklopku a uhasil plamen, unikla pára z kotlíku za 2 minuty a hladina vody klesla v kotlíku právě o tolik, o kolik se snížila při pokuse prvním. Vyvařilo se zase stejné množství vody. Z toho soudil Watt, že na vypaření určitého množství vody jest třeba vždy téhož množství tepla, ať děje se var pomalu během ½ hodiny, jako při pokuse prvním, nebo rychle během 2 minut při pokuse druhém.

Na základě těchto zkušeností stanovil Black skupenské teplo varu vody takto. Pozoroval, jak dlouho to trvá, než se určité množství vody, zahřívávané stejnoměrně hořícím plamenem, uvede do varu. A pak dále měřil čas, za který se celé to množství vody vyvaří, zahříval-li dále týmž plamenem v otev-

řené nádobě. Z poměru těch dob a množství vody určil pak skupenské teplo varu vody.

Dle jeho návodu lze provésti přesněji měření to tak, že se na teploměru vloženém do  $M$  g vody pozoruje, oč stoupne teplota vody za každou minutu, když se zahřívá voda až do varu. Z pozorovaných hodnot vypočte se průměrné stoupnutí  $\tau$  a z toho pak lze vypočítati, kolik tepla dodá kahan za každou minutu té vodě. Jest to  $M \cdot \tau$  kal. Pak se zahřívá týmž plamenem dále, čímž se  $m$  g vody vyvaří za  $t$  minut. Za tu dobu dodal plamen vodě množství tepla  $M \cdot t$  kal. a jím se  $m$  g vody vyvařilo.

Spotřeboval tedy každý gram vody  $\frac{M \cdot t}{m}$  kal. tepla. Skutečná měření vedou k výsledku 538 kal., což jest skupenské teplo varu vody.

Že pára srážející se při bodu varu v kapalinu vydá zase stejně veliké množství tepla kondensačního, přesvědčil se již zase sám Black tím, že vedl páru ucházející z vroucí vody hadovitou trubici skrze studenou vodu a změřil, oč se voda oteplila, když se určité množství par v hadovité trubici srazilo. Z toho vypočítal, kolik kalorií tepla vydal každý gram srazivší se páry.

Na tomto základě sestrojil přístroj k určení kondensačního tepla francouzský fysik Marcelin Berthelot (čti Marsien Bertheló) roku 1877 a zdokonalil jej r. 1901 německý fysik L. Kahlenberg (čti Kahlberg). Ale i bez jakéhokoliv složitého přístroje lze měřiti kondensační teplo vodních par tím, že z baňky, v níž se voda vaří, vedeme rourkou skleněnou a pak hadicí kaučukovou páry do nádoby s odváženým množstvím vody, postavené na jedné misce vah, jež jest vyváženo závažím na misce druhé. Určíme teplotu a množství vody před tím, než do ní vedeme páru, a pak přidáme na druhou misku závaží  $m$  gramů a vložíme hadici z baňky do vody v nádobce. Necháme tak dlouho unikati páry do vody, až se dostaví zase rovnováha, a změříme, oč stoupla teplota vody na vahách, když se  $m$  gramů páry srazilo. Z těchto veličin možno pak snadno vypočítati skupenské teplo srážení par. Budiž vody v nádobě na vahách  $M$  gramů a měž počáteční teplotu  $t_1$ , výsledná teplota pak budiž  $t_2$ .  $m$  gramů páry srazilo se ve vodu  $100^\circ$  teplotou a vydalo  $m \cdot x$  kal. tepla, když  $x$  značí neznámé skupenské teplo srážení par. Ale těchto  $m$  gramů vody  $100$  stupňové zchladlo ještě na  $t_2$  stupňů, čímž ještě vydalo  $m \cdot (100 - t_2)$  kal. Vším tím vydaným teplem se  $M$  gramů vody oteplilo z  $t_1$  na  $t_2$  stupňů, tedy spotřebovalo  $M (t_2 - t_1)$  kal. Z rovnosti ohou tepel vyplývá rovnice

$$mx + m(100 - t_2) = M(t_2 - t_1),$$

z níž lze počítati  $x$ . Vyjde opět 538 kal.

Různé látky mají různá skupenská tepla varu a srážení par. Jako příklad buďte uvedeny tyto hodnoty platné pro body varu:

Rtuf	. . . . .	68 kal.
Éter	. . . . .	90 kal.
Lih	. . . . .	202 kal.
Čpavek	. . . . .	321 kal.
Zinek	. . . . .	365 kal.

Poněvadž horká stoupňová pára vodní obsahuje v každém gramu o **538 kal.** více tepla než **1 gram** stoupňové vody, jest mnohem nebezpečnější opařit se horkou parou než opaření stejně horkou vodou.

**Příklady ke cvičení.** 47.) Kolik tepla jest dodati 200 g ledu  $-5^{\circ}$  C teplého, aby se vypařil v páru  $100^{\circ}$  C? [144·03 Kal.]

48.) Kolik kalorií vydá 10 kg par  $100^{\circ}$  C, srazí-li se na vodu  $10^{\circ}$  C teplou? [6280 Kal.]

49.) 200 g vody zahříváno bylo do varu plamenem tak, že za 1 minutu průměrně stoupla teplota o  $9\cdot4^{\circ}$ . Za 4 min. vyvařilo se 14 g vody. Jak velké jest skupenské teplo varu vody? [538·3 kal.]

50.) Aby bylo určeno skupenské teplo srážení par, byla vedena pára ucházející z vroucí vody do 618 g vody teplé  $16^{\circ}$  C. Srazilily-li se 4 g par, stoupla teplota na  $20^{\circ}$  C. Jak veliké jest skupenské teplo srážení par? [538 kal.]

51.) Kolik tepla jest dodati 100 g rtuti  $0^{\circ}$  C teplé, aby se vyvařila? ( $c = 0\cdot033$  kal.) [7977 kal.]

## O parách a plynech.

**89. Páry nasycené.** Roku 1743 vypsala vědecká akademie v Bordeaux (čti Bordó) cenu na zodpovězení otázky, proč stoupá pára ve vzduchu do výše. Cena byla udělena dvěma odpovědem, které vykládaly zjev ten každá jinak. První odpověď podal Christian Kratzenstein (čti Kracenštajn), jenž soudil, že pára se skládá vlastně z malinkých bublin vodních, které jsou naplněny zředěným vzduchem, a proto prý stoupá pára do výše. Druhou odpověď podal Jiří Hamburger, který přirovnával tvoření páry ve vzduchu s rozpouštěním látky tuhé v kapalině. Jako se rozpouští na příklad ve vodě sůl, tak se prý rozpouští voda ve vzduchu, a proto v něm vystupuje jako pára. Ovšem ani jedna ani druhá odpověď ne-

byla správná. Nyní víme, že proto pára vystupuje ve vzduchu, poněvadž jest specifická její hmota menší než specifická hmota vzduchu.

Ale názor o rozpouštění vody ve vzduchu sledoval dále Charles le Roy (čti Šarl le Roa) (1726-1779) a dospěl k zajímavým poznatkům, jež i nyní za správné uznáváme. Všiml si toho, že určité množství vzduchu dovede pojmouti jen určité omezené množství páry, jako určité množství vody dovede při určité teplotě rozpustiti jen určité množství soli. Roztok, který již více soli nepřijímá, nazývá se roztok nasycený. Podobně nazval le Roy vzduch, který více par vodních nepřijímá, vzduch nasycený. Nyní nazýváme páry nasycené tehdy, když nastává rovnovážný stav mezi kapalinou a parou v určitém prostoru, to jest, když ani nové páry se netvoří ani nekapalněji. Le Roy pak sledoval obdobu mezi roztokem a parou ještě dále. Když se do nasyceného roztoku přidá soli, nerozpouští se již, nýbrž klesá ke dnu. Přidá-li se do vzduchu nasyceného parami nová pára, sráží se ve vodní kapky. Je-li voda teplejší, dovede rozpustiti více soli, než se roztok nasytí. Obdobně, je-li vzduch teplejší, může přijmouti více par, než se nasytí. Ochladí-li se roztok, vyloučí se sůl. Ochladí-li se vzduch nasycený parami, sráží se pára v kapky. Je-li vody, v níž se sůl rozpouští, více, může se v ní rozpustiti více soli, než se roztok nasytí. Podobně je-li prostor, do něhož se voda vypařuje, větší, pojme více par, nežli se parami nasytí.

Že skutečně určitý uzavřený prostor vzduchový může obsáhnouti jen omezené množství par, o tom lze se přesvědčiti tímto jednoduchým pokusem. Na dvě stejné misky nalijeme stejné množství vody. Jednu dejme na volný vzduch, třebas na otevřené okno, druhou postavme vedle první, ale zakryjme ji skleněným zvonem. Obě nechejme státi delší dobu vedle sebe. Po několika dnech přesvědčíme se, že



z první misky jest voda úplně pryč, kdežto z druhé misky též něco vody ubylo, ale většina zůstala v ní. Pod zvonem vytvořil se prostor parou nasycený. Kdyby se ten prostor zahrál, třebaš vlivem záření slunečního, ubylo by vody více a par by přibýlo. Prostor obsáhl by par více, než by se nasytil. Opačně pak, když by se studeným větrem na otevřeném okně prostor pod zvonem ochladil, ubylo by par a přibýlo vody.

Jako plyn působí na stěny uzavřeného prostoru svým napětím, podobně pára nasycená tlačí na každý **1 cm<sup>2</sup>** stěny tlakem, který se nazývá **napětí čili expanse páry<sup>58)</sup>**. Byl to první **James Watt**, který měřil napětí vodních par, a to jednak při teplotách vyšších než normální bod varu, jednak při teplotách nižších.

Napětí nad bodem varu měřil pomocí kotlíku **Papinova**, který tehdy ještě nebyl opatřen manometrem, tak, že z plochy ochranné záklopky, polohy závěsu a velikosti závaží počítal, jakou silou působí právě pára na jednotku plošnou, když se tlak její vyrovnává s tlakem na záklopku.

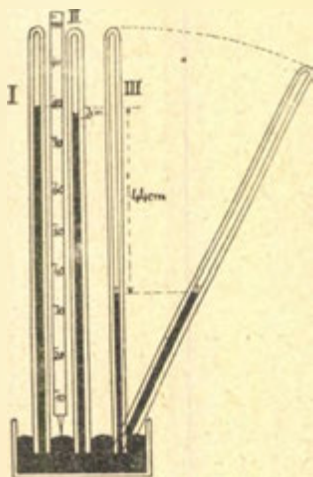
Při teplotách nižších, než jest bod varu, měřil napětí par tlakoměrem čili barometrem rtuťovým, do jehož vzduchoprázdna nad rtuť vpravil kapku vody, jež se částečně vypařila, a páry nasycené ve vzduchoprázdnu napětím svým snížily hladinu rtuť v barometru o tolik, kolik odpovídá jejich napětí při teplotě, která právě byla. Podobně zkoumal pak napětí nasycených par různých kapalin slavný anglický badatel **John Dalton** (čti Džón Daltn) a hlavně **Regnault**.

Nyní provádí se měření napětí par nasycených pro různé kapaliny v několika trubicích asi **80 cm** dlouhých (obr. 71), na horním konci zatavených, jež se naplní rtuť. První necháme naplněnou rtuť úplně, pak otevřený konec ucpeme prstem a ponoříme do

<sup>58)</sup> Z latinského slova *expandere* = rozpínati.



širší nádobky pod hladinu rtuť a pak otvor uvolníme. Část rtuť z roury vyteče, ale většina zůstane v rourě a ustálí se v takové výši nad hladinou rtuť v širší nádobce, kterou udrží v rovnováze barometrický tlak okolního vzduchu právě působící. Tato výše bývá v našich krajinách kol 740 mm. Sloupec rtuť v I. rourě jest tedy měrou barometrického tlaku. Nade rtuť v I. rourě jest prostor vzducho-



Obr. 71

prázdný, zvaný vakuem<sup>59)</sup> Torricelliovo (čti Toričeliovo). Nazván tak proto, že pokus tento a měření tlaku vzdušného bylo po prvé provedeno na návod Torricellia, žáka Galileova.

Plnice II. rouru rtuť, necháme malou část trubice nevyplněnu a doplníme ji kapkou vody. Pak zase uzavřeme prstem a ponoříme pod hladinu v širší nádobce a pak otvor otevřeme. Voda vyplave jsouc lehčí nade rtuť, které opět část vyteče, a do prostoru vzduchoprázdného nad rtuť vnikne voda a z ní se

<sup>59)</sup> Latinské slovo *vacuus* (čti *vakuus*) = prázdný.

rychle vytvoří vodní páry nasycené. Že jsou nasycené, plyne z toho, že nad rtutí část vody zůstane ve skupenství kapalném. Kdyby páry nasyceny nebyly, mohlo by se ještě další množství kapaliny vypařiti. Když pak změříme výšku sloupce rtuťového od hladiny rtuti v nádobce až k rozhraní vody a rtuti, přesvědčíme se, že sloupec rtuti v rouři II. jest skoro o 20 mm kratší než v rouři I. Toto snížení způsobilo napětí nasycených par vodních, jež jsou v trubici nad vodou. Ježto snížily hladinu rtuti okrouhle o 20 mm proti hladině v rouři I., jest jejich napětí při teplotě asi 20° C, která jest při pokuse, rovno tlaku sloupce rtuťového vysokého 20 mm.

S rourou III. provedeme pokus zcela podobný, jen místo vody doplníme ji éterem, takže v prostoru nade rtutí vzniknou nasycené páry éterové, které způsobí, že hladina rtuti klesne proti rouři I. asi o 440 mm. Jest tedy při 20° C napětí nasycených éterových par mnohem větší než par vodních a rovná se tlaku sloupce rtuťového vysokého 440 mm.

Nakloníme-li rouru III. do polohy šikmé zmenší se objem páry nade rtutí, ježto se sloupec rtuti v rouři prodlouží, ale svislá výška hladiny rtuťové nad hladinou v nádobce se nezmění. Z toho plyne, že páry chovají se jinak než plyny, zmenšením objemu se jejich napětí nezvětší, nýbrž zůstane stejné. Ale pozorujeme-li množství éteru nad rtutí, uvidíme, že éteru přibýlo, část par se srazila. Když zase trubici vzpřímíme, shledáme zase stejnou výšku hladiny, ale éteru zase ubylo, par přibýlo, napětí však je zase stejné.

Tuto zkušenost učinil již Dalton, jenž také zkoumal, jak závisí napětí nasycených par vodních na teplotě. Obalil totiž rouru obsahující vodní páry nad rtutí širší trubici, do které nalil teplou vodu. Pozoroval, že napětí par roste tím více, čím teplejší vodu dal; hladina rtuti v trubici klesala. Když pak docílil v obalující rouři teploty bodu

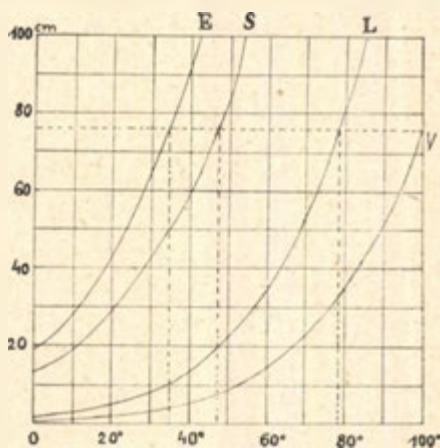
varu vody, klesla rtuť v rouře s parami až na hladinu v širší nádobce. Z toho soudil správně Dalton, že nasycená pára vodní nabývá při bodu varu napětí tak velikého, jak veliký jest právě tlak okolního vzduchu, to jest 1 atmosféry.

Chceme-li současně pozorovati, jak se mění napětí nasycených par různých kapalin s rostoucí teplotou, můžeme celý přístroj zobrazený obrazcem 71 vložiti do skleněné nádoby s vodou, jež má dole dva otvory, kterými ústí do ní a vystupuje z ní hadovitá roura. Tou vedeme páru vystupující z vroucí vody a teplem kondenzačním této páry zahříváme vodu v nádobě měřice její teplotu, vloženým teploměrem. Pozorujeme-li postupně řadu teplot a současně příslušná napětí par v obou trubicích, přesvědčíme se, že u obou kapalin roste napětí par urychleně s teplotou, ale u éteru, tedy kapaliny těkavé, mnohem rychleji než u vody. Výsledky měření lze zapsati do tabulky a ještě přehledněji zobrazí se graficky tak, že na osu vodorovnou nanášíme příslušné teploty, na svislou pak napětí. Grafická znázornění pro vodu, lih, sirouhlík a éter ukazuje obr. 72. Z něho vyplývá, že napětí jedné atmosféry, to jest napětí rovného tlaku sloupce rtuťového 76 cm vysokého, nabývá nasycená pára každé kapaliny právě při svém bodu varu. Tlak ten jest vyznačen v nákrese tečkovanou čarou a jest viděti, že nasycená pára vodní nabude toho tlaku při  $100^{\circ}\text{C}$ , lihová při  $78.3^{\circ}\text{C}$ , sirouhlíková při  $46^{\circ}\text{C}$  a éterová při  $34.5^{\circ}\text{C}$ .

Že tomu tak býti musí, jest zcela přirozeno. Neboť jen pak, když napětí páry se vyrovná tlaku zevního vzduchu, mohou bubliny vzduchu tvořící se v kapalině překonati zevní tlak na ně působící, vznést se skrze kapalinu nad povrch její a uniknouti do vnějšího prostoru. Proto také za nižšího tlaku působícího na povrch kapaliny nastává var již za teploty nižší, za tlaku vyššího pak při tep-

lotě vyšší, vždy takové, aby při ní napětí nasycených par vyrovnilo se právě tlaku působícímu na kapalinu.

Jestliže se snižuje teplota nasycených par vodních až k bodu mrazu, klesá napětí jejich stále volněji a volněji, až při teplotě  $+0.0076^{\circ}$  mají napětí rovné tlaku sloupce rtuťového vysokého jen 4.6 mm. Ochladíme-li páry ještě dále, nastane částečné tuhnutí, páry mění se v led. Jest tedy bod diagramu odpovídající teplotě  $0.0076^{\circ}$  a napětí 4.6 mm rtuti počátečním bodem křivky znázorňující stav vod-



Obr. 72

ních par nasycených čili rovnovážný stav mezi vodou a její nasycenou parou. Bod ten jest, jak jsme viděli v odstavci 82. též počátečním bodem křivky znázorňující rovnovážný stav ledu a vody, čili křivky udávající, jak závisí bod tání ledu na tlaku (obr. 62).

Také při sublimaci ledu v prostoru uzavřeném vytvoří se rovnovážný stav mezi látkou tuhou a plynnou, to jest vzniknou nasycené páry, jež, majíce určitý tlak a teplotu, vyplňují prostor tak, že ledu neubývá a par nepřibývá. Jak závisí jejich napětí

na teplotě znázorniti lze podobnou křivkou, nanášíme-li směrem vodorovným teploty a směrem kolmým k němu příslušná napětí. Křivka, která takto vznikne, končí zase bodem odpovídající tlaku 4·6 mm sloupce rtuťového při teplotě  $+0\cdot0076^{\circ}$ . Tento bod nazývá se t r o j n ý b o d vody, v něm jediném totiž nastává rovnovážný stav mezi ledem, vodou a jejich nasycenou parou, tedy mezi všemi třemi skupenstvími.

Z pokusu o nasycených parách dříve popsaných vyplývá, že napětí par nasycených tvořících se v prostoru vzduchoprázdném, závisí na jakosti kapaliny, na teplotě, ale nezávisí na objemu. Vypařování kapaliny do prostoru, který není v z d u c h o p r á z d n ý, nýbrž naplněný vzduchem, zkoumal též zmíněný již anglický badatel Dalton a přesvědčil se, že se kapaliny vypaří p r á v ě t o l i k do určitého objemu, jako by se vypařilo za téže teploty, kdyby byl prostor v z d u c h o p r á z d n ý. Napětí pak páry nasycené jest p r á v ě t a k v e l i k é v prostoru naplněném vzduchem, jako by bylo, kdyby byl prostor vzduchoprázdný. Ovšem v prostoru vzduchoprázdném vypařuje se kapalina mnohem rychleji než do vzduchu. Částice vzduchové a vodních par mohou tedy býti v témže prostoru vedle sebe a nepůsobí na sebe. O napětí, kterým působí směs vzduchu a par na stěny nádoby, přesvědčil se Dalton, že se rovná s o u č t u napětí samotného vzduchu a napětí par. Tento zákon, že napětí směsi několika plynů rovná se součtu napětí plynů jednotlivých, nazývá se z á k o n D a l t o n ů v a platí pro směs libovolného počtu různých plynných součástí.

Jednajíce o bodu varu roztoků, uvedli jsme, že jsou v y š š í než body varu rozpouštědla čistého. Nyní můžeme uvéstí příčinu toho. Jest totiž napětí nasycených par nad roztokem vždy m e n š í než nad čistým rozpouštědlem. Proto, má-li dosíci napětí par nad roztokem velikosti tlaku zevního vzduchu, musí býti jejich teplota v y š š í, čili bod varu roztoku jest v y š š í než bod varu rozpouštědla. Nasy-



cené páry, které se vytvoří nad roztokem dvou kapalin, jsou směsí čili roztokem par obou druhů, ale i tu jest napětí menší, než součet napětí obou parových součástí.

Velikého napětí par vodních při vysokých teplotách jest prakticky užito v parních strojích a turbínách, aby se jím docílilo pohybu a vykonávala se práce, na kterou nestačí poměrně slabé síly lidské nebo živočišné. Značným napětím vodních par při vysokých teplotách vysvětlíme si též zjev, který jest možno pozorovati, kápne-li kapka studené vody na horkou plotnu v kuchyni nebo ještě lépe na rozžhavenou misku měděnou. Kapka zasyčí, ale nevypaří se všecka, nýbrž kolotá po povrchu rozžhaveného kovu ve tvaru zploštělé koule čili sféroidu<sup>60)</sup>. Vytvoří se totiž na ní obal par, který chrání ostatní kapalinu od dalšího styku s horkým kovem, neboť svým napětím překonává váhu kapky a udržuje ji nad kovem. Teprve, když pára vychladne a napětí její se zmenší, dotkne se kapka kovu a vypaří se sama všecka. Tento zvláštní zjev studoval roku 1756 lékař Dr. Jan Leidenfrost a proto nazývá se „úkaz Leidenfrostův“. Zvláštní stav kapky víříci na horkém kovu jmenuje se též stav sféroidální.

**90. Páry nenasyčené čili přehřáté.** Obsahuje-li prostor méně páry, než by při určité teplotě mohl obsahnouti, kdyby byl parami nasycen, nazýváme takové páry **nenasyčené čili přehřáté**. Vlastnosti těchto par zkoumal též již Dalton tímto způsobem. Do hluboké nádoby se rtutí (obr. 73) vnořil pod hladinu rtuti volný konec trubice naplněné rtutí, do které při plnění kápl jen nepatrné množství vody. Voda vyplavala nad rtuť v trubici, všecka se vypařila do prostoru nad rtutí, který však by byl mohl ještě více par přijmouti, takže nebyl parami nasycen. To se ukázalo především tím, že napětí par bylo menší než u par nasycených, které pozoroval

<sup>60)</sup> Řecké slovo σφαῖρα (eti sfaira) -- koule.

Dalton v druhé trubici vložené do téže nádoby. Při plnění této trubice však dolil vody více, aby vznikly páry nasycené a ještě zůstal zbytek kapaliny nevypařené.

Ale to nebyl jediný rozdíl proti parám nasyceným. Když trubici s parami nenasyčenými vnořil hlouběji do rtuti, zmenšil se objem par a jejich tlak se zvětšil, ale sražení v kapalinu nenastalo. Podrobným měřením přesvědčil se Dalton, že napětí páry nena-

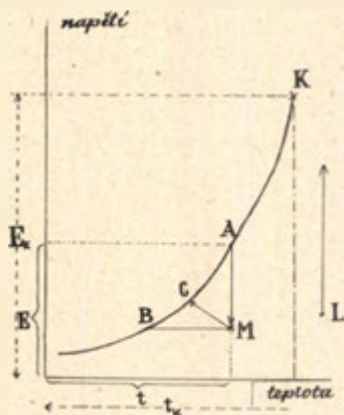


Obr. 73

sycené zvětší se tolikrát, kolikrát se objem zmenší čili, že pára nenasyčená spravuje se zákonem Boyle-Mariotteovým platným pro plyny. (viz odstavec 50.) Teprve, když Dalton vnořil trubici hodně hluboko do rtuti, prostor nad rtutí se parami nasýtil a pak teprve se při dalším malém zmenšení objemu objevilo zkapalnění par za tlaku, odpovídajícího napětí nasycených par při panující teplotě. Dalším ponořením do rtuti se již napětí par nezvětšilo, nýbrž přibývalo kapaliny. Z par přehřátých vznikly tedy páry nasycené zmenšením objemu při stálé teplotě. Má-li tedy pára přehřátá zkapalněti, musí nejprve býti převedena v páru nasycenou a

pak teprve dalším zmenšováním objemu vzniká z ní kapalina.

Obrácený postup jest nutný, má-li se pára nasycená proměnit v páru nenasycenou. Tu jest nutno zvětšovati objem, v němž jest pára tak dlouho, až se poslední kapka kapaliny vypaří, a pak při dalším zvětšování objemu vznikne teprve pára nenasycená, jež má ovšem napětí menší než nasycená při téže teplotě. Poněvadž její teplota jest vyšší než by měla pára téhož



Obr. 74

napětí, kdyby byla nasycená, říká se jí též pára přehřátá.

Hodně názorně lze obě ty přeměny par — z přehřátých v nasycené a z nasycených v přehřáté — ukázati na diagramu nasycených par. Zobrazíme si ještě jednu křivku, znázorňující stav par nasycených jen jedné kapaliny (obr. 74). Libovolný bod A znázorňuje stav nasycené páry při napětí  $E$  a teplotě  $t$ . Jestliže při stálé teplotě čili isothermicky zvětšujeme objem, klesá napětí dle rovnoběžky s osou napětí, až dospějeme bodu  $M$ , který znázorňuje stav par přehřátých. Když naopak vycházejíce z bodu  $M$  zmenšujeme isothermicky objem par pře-

hřátých, roste napětí dle linie  $MA$ , až v bodě  $A$  stane se z páry přehřáté pára nasycená, která při dalším zmenšení objemu zkapalňuje.

Jako jsme dospěli z bodu  $A$  do bodu  $M$ , podobně bychom mohli dospět do libovolného jiného bodu ležícího napravo od křivky znázorňující stav nasycených par. Jest tedy každý bod v části roviny ležící napravo od linie nasycených par zobrazením určitého stavu par přehřátých. Obrazec 74 však ukazuje, že do bodu  $M$  lze z linie par nasycených dospět ještě jinak. Vyjdeme-li z bodu  $B$  a zvyšujeme-li teplotu par nasycených, které již nejsou ve styku s kapalinou, při stálém napětí, čili postupujeme-li po rovnoběžce  $BM$  s osou teplot, dospějeme též do bodu  $M$ . Lze tedy též vytvořit páry přehřáté z nasycených zvyšováním teploty při stálém tlaku čili isobaricky. Tento postup vysvětluje též, proč se jim říká páry přehřáté.

Obdobně lze zase z bodu  $M$ , tedy ze stavu par přehřátých, dospět stavu nasyceného, když, pochávjíce nezměněné napětí, snižujeme teplotu par.

Páry vodní ve volném vzduchu v přírodě bývají zpravidla přehřáté, v uzavřeném prostoru vzdušném, pak jsou buď přehřáté, někdy též nasycené. Proto jejich zkapalnění nastává nejčastěji cestou právě zmíněnou. Již bylo uvedeno, že sklenice se studenou vodou přinesená do teplé místnosti se orosí. Vodní páry přehřáté obsažené v místnosti se totiž za stálého napětí ochladí od studeného skla, až na tu teplotu, při které se stanou nasycenými a následkem toho mohou přejít ve skupenství kapalné, když jim studené sklo odejme ještě skupenské teplo srážení par.

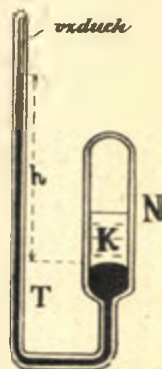
Z obrazce 74 dále plyne, že nejsnáze přejde se od stavu par přehřátých znázorněného bodem  $M$  ve stav par nasycených tak, že se obě dřívější cesty  $MA$  a  $MB$  spojí, to jest, zvyšuje se napětí a současného snižování teploty.

Tak dospějeme po cestě **M C** stavu par nasycených znázorněného bodem **C**. Vzduch, který neobsahuje vůbec par, nazýváme suchý, vzduch ve kterém jsou páry obsaženy, jest vlhký. Ale dle toho, kolik par jest v něm obsaženo, může býti jeho vlhkost různá. Nazýváme absolutní vlhkost množství par v gramech, které jest obsaženo v  $1\text{ m}^3$  vzduchu. Víme-li však, kolik gramů par jest obsaženo v  $1\text{ m}^3$  vzduchu, nemáme tím ještě představy, jak mnoho je vzduch vlhký. Neboť v témže jednom  $\text{m}^3$  vzduchu může býti za vyšší teploty daleko více par, a není ještě prostor parami nasycený, než ve vzduchu studeném. Proto byla zavedena ještě vlhkost relativní, vztažná. Jest to poměr množství par v  $1\text{ m}^3$  skutečně obsažených k tomu množství par, které by v témže vzduchu při téže teplotě mohlo býti obsaženo, kdyby byl vzduch parami nasycen. Teplotu, na kterou nutno vzduch ochladiti, aby se páry v něm obsažené staly parami nasycenými, nazýváme **bod rosný**. Metody, jak se stanoví bod rosný a vlkost relativní a absolutní, mají důležitý význam v науce o povětrnosti čili meteorologii. Rovněž různé způsoby, jak se páry ve vzduchu srážejí a jak se měří jejich spadlé množství, patří do meteorologie.

**91. Stav kritický.** R. 1822 zkoumal francouzský badatel Cagniard de la Tour (čti Kaňar de la Tur) (1776-1859), jak závisí napětí nasycených par na teplotě při vysokých teplotách. K tomu zařídil si přístroj tento: Dlouhou, silnou trubici **T** (obr. 75) zahnutou dvakrát v pravém úhlu spojil se širší nádobou **N**, též ze silného skla. Trubice naplněna byla rtuť, nad níž byl vzduch, část rtuti zasahovala do nádoby **N** a nad ní bylo trochu kapaliny **K**, jejíž napětí par zkoušel. Nad kapalinou tvořily se její nasycené páry. Nádobu **N** zahříval vhodnou lázní, trubici **T** udržoval na teplotě okolního vzduchu. S rostoucí teplotou přibývalo nad kapalinou **K** víc a více nasycených par, jejichž napětí též stoupalo. Tím vytlačována byla rtuť z nádoby do trubice, kdež stlačovala vzduch tak, až nastala rovnováha mezi tlakem stlačeného vzduchu, zvětšeným o tlak rtu-



tového sloupce výšky  $h$  od horní hladiny až k hladině v nádobě  $N$  se strany jedné a napětím nasycených par v nádobě  $N$  se strany druhé. Ježto tlak vzduchu bylo možno počítati dle zákona Boyle-Mariotteova z jeho zmenšení objemového, mohl takto Cagniard určití napětí par při vysokých teplotách. Ale při určité vysoké teplotě a značném tlaku nastal náhle překvapující zjev. V prostoru nad rtutí v nádobě  $N$  objevily se bouřlivé vlnivé pohyby a rázem zmizelo rozhraní mezi kapalinou a parou a celý prostor nade rtutí byl vyplněn jednotnou látkou plynnou. Když



Obr. 75

pak se nádoba  $N$  trochu ochladila, objevilo se v ní zase po neklidných pohybech rázem rozhraní mezi kapalinou a parou. Zvláštní tento stav, při kterém se rázem mění kapalina celá v páru a opačně, nazván byl po svém objeviteli stav Cagniarduv, později nazval jej irský badatel Thomas Andrews (čti Endrjus) (1813—1885) **stav kritický**. Jest charakterisován kritickou teplotou a kritickým tlakem. Kritická teplota jest nejvyšší teplota, při které ještě ob stojí vedle sebe kapalina a její pára nasycená za tlaku kritického. Nad touto teplotou jest možná již jen pára. Můžeme nazvati tuto zvláštní teplotu nejvyšším možným bodem varu.

Stav kritický jest zobrazen koncovým bodem křivky znázorňující průběh napětí par nasycených. Bod  $K$  v obr. 74 značí tedy kritický stav, jeho úsečka na ose teplot jest teplota kritická  $T_k$  a jeho svislá pořídnice jest kritický tlak  $E_k$ .

Tento zvláštní stav, který při vodě nastává při teplotě

364" za tlaku 195 atm., jest vyznačen ještě celou řadou zvláštností. Ježto při něm mizí rozhraní mezi parou a kapalinou, značí to, že obě fáze nabývají téže specifické hmoty. Poněvadž děje se přechod z kapaliny v plyn a opačně náhle, bez spotřeby nebo uvolnění tepla, soudíme, že skupenské teplo výparné i srážení par při stavu kritickém jest rovno 0. Mimo to za kritického stavu přestávají účinkovati síly tak zvané kapilární, které působí prohnutí povrchu kapalin v úzkých nádobách a zakřívování okraje kapalin při stěnách nádob širších.

Ježto nad kritickým stavem může býti látka jen ve fázi plynné, navrhl Andrews nazývati látky nad stavem kritickým plyny, pod stavem kritickým parami. Vrací se tak k starému rozlišení, které již na počátku století XVII. zavedl van Helmont, ovšem v jiném smyslu. Helmont nazval parami ty vzdušiny, které mohou býti plynné jen za vyšších teplot, při ochlazení však kapalněly; plyny pak pojmenoval ty vzdušiny, které při ochlazování nekapalněly.

**92. Zkapalňování plynů.** Když počátkem XIX. století poznal Dalton, že přehřáté páry spravují se týmiž zákony jako plyny, byla na snadě otázka, nejsou-li plyny vlastně též přehřátými parami kapalin, které za obyčejných poměrů ovšem nemohou býti ve fázi kapalně. Rozhodnouti tuto otázku bylo možno přímým důkazem pokusným: Buď se podaří zkapalniti plyny, nebo nepodaří. A proto se mnozí badatelé pokoušeli o to, přivesti ke kapalnění i takové látky, které byly známy posud jen ve fázi plynné. První pokusy tohoto druhu podnikli slavní angličtí badatelé Davy (čti Dejvy) a Faraday (čti Faradé) roku 1823, pokračoval v nich Francouz Thilorier (čti Thilorié) roku 1834 a pak vídeňský lékař Natterer roku 1844. Podařilo se jim zkapalniti celou řadu plynů tím, že je ochlazovali chladícími směsami a podrobili dosti velkému tlaku. Jmenovitě zkapalněli plyny: chlor, kysličník siřičitý, uhličitý, dusičitý, sirovodík, chlorovodík, čpavek a jiné.

Roku 1823 francouzský fysik Ant. Bussy (čti Bysi) určil normální bod varu kysličníku siřičitého —10° C a podařilo se mu rychlým vypařováním jeho docílit až teploty —68° C. Tím stal se objevitelem metody, které se nyní všeobecně užívá, aby se docílilo nízkých teplot. Thilorierovi podařilo se pak uvést kysličník uhličitý až ve skupenství tuhé tím, že kapalný kysličník uhličitý se rychle rozpínal a tím silně chladl. Docílil tak teploty až —79° C. Smíchal je s éterem a zjednal tak směs, která se po něm nazývá a které se pak hojně užívalo na chlazení plynů jiných při pokusech o jejich zkapalňování. Užíval jí při dalších svých pracích Faraday, jenž rychlým vypařováním té směsi docílil teploty —110° C, a hlavně Natterer, který ohromným tlakem až 2790 atm. snažil se zkapalnit všechny plyny. U většiny se mu to podařilo. Ale marné bylo jeho namáhání u vodíku, kyslíku, dusíku, methanu (plynu báňského), kysličníku uhelnatého a dusnatého. Proto bylo těchto 6 plynů prohlášeno za plyny stálé, permanentní<sup>61)</sup>, trvalé, to jest takové, kterých zkapalnění vůbec nelze.

Byly to právě práce Andrewsovy o kritickém stavu, které ukázaly pravou příčinu, proč se nepodařilo Nattererovi ani tak obrovským tlakem těch plynů zkapalněti: Pracoval totiž nad kritickou teplotou těch plynů, kteráž jest u nich velmi nízká, a proto sebe větší zvýšení tlaku nevedlo ke zkapalnění.

Když vyjdouce z libovolného stavu par přehřátých znázorněných bodem L v obrazci 74. zvyšujeme napětí sebe více, nedospějeme nikdy ke křivce znázorňující stav par nasycených a proto nemůže se sebe větším zvyšováním tlaku podařiti takovou páru zkapalnit. Aby se zkapalnily uvedené plyny permanentní, k nimž ještě přibyl později objevený vzácný plyn helium, bylo třeba snižovati tep-

<sup>61)</sup> Z latinského slova *permaneo* = trvám, setrvám.

lotu jejich pod teplotu kritickou toho kterého plynu a pak dalším stlačováním docíliti stavu nasycenosti a konečně kapalnění.

Roku 1877 podařilo se francouzskému průmyslníkovi Cailletetovi (čti Kajetétovi) a profesorovi v Ženevě Pictetovi zkapalněti některé z plynů permanentních tím, že je stlačili tlakem asi 600 atm. a ochladili na  $-140^{\circ}\text{C}$  a pak nechali rychle adiabaticky se rozpínati. Vedlo by daleko popisovati všechna jejich zařízení a pokusy, které za tím účelem provedli. Jejich pokračovateli byli od roku 1883 dva polští badatelé Zykmunt Wroblevski a Karel Olszewski, oba profesori university Krakovské. Užívali metody zvané kaskádní,<sup>62)</sup> to jest, snižovali postupně teplotu až k nejzazší mezi tehdy dosažitelné. Kapalný chlorid methylnatý nechali vřítí za nepatrného tlaku a tím docílili teploty  $-70^{\circ}\text{C}$ . Jím chladili ethylen, jenž zkapalněl a za nízkého tlaku 10 mm sloupce rtuťového vřel při  $-152^{\circ}\text{C}$ . Za této nízké teploty podařilo se jím značným tlakem zkapalniti kyslík. Ten pak rozpínaje se za malého tlaku nabývá teploty až  $-211^{\circ}\text{C}$ . Jím pak roku 1895 chladil Olszewski vodík a podařilo se mu zkapalniti i vodík a určiti jeho normální bod varu  $-253^{\circ}\text{C}$  čili  $20^{\circ}$  absolutní stupnice teploměrné. Roku 1898 podařilo se skotskému profesorovi Dewarovi (čti Duerovi) uvéstí vodík ve sklovitou látku skupenství tuhého při  $-259^{\circ}\text{C}$ . A konečně roku 1908 poslední do té doby nezkapalnělý plyn helium uvedl ve skupenství kapalně slavný holandský badatel Kamerlingh Onnes letos (roku 1926) zemřevší. Chladil jej kapalným vodíkem a docílil jeho rozpětím ze 100 atm na 40 atm zkapalnění helia za teploty  $-270^{\circ}\text{C}$  čili  $3^{\circ}$  absolutní stupnice. Vřelo-li helium za tlaku

<sup>62)</sup> Kaskády vodní značí vodopády, kde po stupních voda stéká dolů.

nízkého, snížila se jeho teplota až na  $1.5^{\circ}$  absolutní stupnice.

Mezitím roku 1895 jednak Angličan Hampson (čti Hempton), jednak německý profesor Linde sestavil přístroje na výrobu zkapalnělých plynů ve velkém. Užili tak zvaného regenerativního principu<sup>63)</sup>. Plyn, který s počátku jest málo chladný, se stlačí asi na **200 atm.** a pak ochladí na  $-20^{\circ}$  C ve chladiči. Takto ochlazený dá se v úzké dlouhé (asi 100 m) hadovitě stočené trubici rozpnoutí na tlak asi **20 atm**, čímž se



Obr. 76

značně ochladí. A takto zchlazený žene se trubicí obklopující rouru předešlou, takže samočinně chladí plyn procházející trubicí vnitřní. Znovu se stlačí a zase ochladí a žene trubicí vnitřní a tak se to opakuje, až teplota jeho za ustálené práce stroje sklesne na  $-190^{\circ}$  C, při níž vzduch již kapalní a vypouští se kohoutem do připravených nádob. Aby se chod stroje delší čas udržel, dodává zvláštní pumpa stále novou zásobu plynu, který postupně kapalní. Nádoby do nichž se kapalně plyny zachycují musí dokonale chrániti obsah svůj proti vnikání tepla z vnějška, jsou to nádoby s dvojitými stěnami skleněnými, postříbřenými (obr. 76), mezi

<sup>63)</sup> Latinské slovo *regenerare* = obroditi, obnoviti.



nimiž jest vzduchoprázdňý prostor. Takovýchto nádob užil první Dewar, proto se nazývají nádoby Dewarovy. V těchto nádobách, které jsou otevřené, aby páry vystupující z tekutiny, jež se prudce vypařuje, nádob neroztrhly, vydrží kapalný vzduch po 8 až 10 dní. Kapalný kysličník uhličitý a kyslík rozesílají se v kovových silnostěnných válcích, v nichž jsou stlačeny pod tlakem až 120 atm. a z nichž se vypouštějí vhodnými kohouty. Vypustí-li se do volného vzduchu na příklad kysličník uhličitý, vypařuje se rychle a chladne tak, až tuhne v hmotu podobající se sněhu, jež pak opět mění se v páry sublimací.

Ze všeho toho vyplývá, že plyny, které byly považovány za trvalé jsou vlastně též páry kapalin, ale silně přehřáté, jež jsou za obyčejných poměrů vysoko nad svými stavy kritickými. Můžeme tedy i při nich mluvit o bodech tání a varu. V následující tabulce udány jsou normální body tání, varu, kritické teploty a tlaky některých plynů.

P l y n	Body		Kritické	
	tání	varu	teploty	tlaky
Kysličník uhličitý	—57 0°	—78·5°	+31°	55 atm.
Kyslík	—218·0°	—183·0°	—119°	38 »
Dusík	—209·9°	—195·8°	—147°	25 »
Vzduch	—	—193·0°	—141°	28 »
Vodík	—259°	—252 7°	—240°	10 »
Helium	—272°	—268·8°	—268°	2 »

Z tabulky jest viděti, že bod varu kyslíku jest vyšší než dusíku, proto ze směsi obou látek, kapalného vzduchu, dříve se vaří dusík a lze

jej tak částečnou destilací oddělití od kyslíku, který zbývá kapalný v nádobě. Proto užívá se kapalného vzduchu jako hlavního dodavatele kyslíku na příklad při pracích v dolech, v tunelech, v lékařství. Prudkého vypařování kapalného vzduchu a tím silného napětí užití lze při trhání skal. Trhací zápalky hotoví se z pilin dřevěných, otrub navlhčených petrolejem, jež se vpěchují do papírových dutinek a pak namáčejí do kapalného vzduchu. Zapalují se jako trhací patrony dynamitové elektrickou jiskrou, ale předčí dynamitové patrony svou trhací schopností.

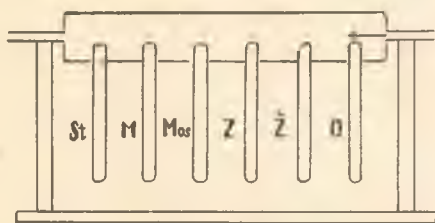
### Jak se šíří teplo?

**93. Vedení tepla látkami tuhými.** Dotkneme-li se volného konce lžice stříbrné, která chvíli byla vložena do horké polévky, pocítíme, jak i na volném konci jest teplá. Držíce delší čas železný pohrabáč v ohništi, pocítíme brzo, jak jeho konec, který držíme v ruce, se otepluje a brzo ruku pálí. Dotkneme-li se za mrazivého dne té části mosazné kliky domovních vrat, která jest uvnitř síně, pocítíme záhy jak v ruce studí. Všecky tyto zjevy svědčí o tom, že uvedenými kovy postupuje teplo, z místa teplejšího na místa studenější od vrstvy k vrstvě. Toto šíření tepla nazývá se **vedení tepla**, látka která je vede pak **vodič tepla**.

O tom, že všecky látky nevedou stejně dobře tepla, lze se přesvědčiti velmi snadno tím, že vložíme do plamene v plotně kus dřeva nebo tyč skleněnou. Můžeme držeti tyto tyče dlouho v plameni a neucítíme v ruce pálení žádného. Dřevo začne i hořeti, sklo se taví a přece hned v sousedních částech jsou obě látky studené. Proto rozdělujeme látky na **dobré vodiče tepla**, jimiž jsou kovy, a **nevodíče tepla** čili **tepelné izolátory** k nimž mimo sklo, dřevo patří porculán, peří, sláma, korek, led, sníh, vlna srst, vata a j.

Že nejsou všecky kovy stejně dobrými vodiči tepla

ukázal koncem XVIII. století holandský lékař Jan Ingenhousz tak, že do plechové nádoby s horkou vodou nebo olejem vložil postranními otvory konce několika stejně silných tyčí z různých kovů, jejichž delší části vyčnívaly do volného vzduchu. Tyto části obalil stejnoměrnou vrstvou vosku a pozoroval, že vlivem tepla jež se tyčemi z horké lázně šíří k volným studeným koncům, vosk taje. Ale neroztaje na všech tyčích za stejnou dobu stejně daleko. Ingenhousz soudil z toho, že ten kov, na němž roztaje vosk nejdále, jest nejlepším vodičem tepla. Nyní hotoví se přístroj ten tak, že se do

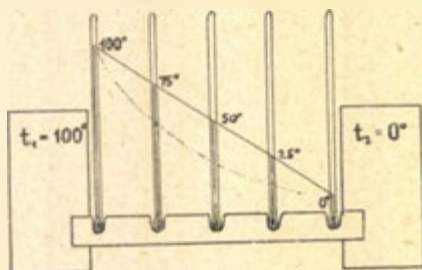


Obr. 77

širší trubice kovové (obr. 77), opatřené užšími rourkami pro přítok a odtok, vede vodní pára z vroucí vody a jí se zahřívají konce různých kovových tyčí, jež zespod jsou do té trubice neprodyšně zapuštěny. Dolní vyčnívající části tyčí jsou polepeny obaly papírovými na nichž je nanesena tak zvaná **thermoskopická směs**. Jest to směs jodidu měďného a rtuťnatého mající za studena jasně červenou barvu, když se však otepluje asi na  $40^{\circ}\text{C}$ , hnědne a tmavne tím více, čím jest vyšší její teplota. Když pak teplota její klesá, nabývá opět původní jasně červené barvy. Lze tedy na těchto barevných obalech pozorovati i z dálky, jak daleko na různých tyčích pokročilo šíření tepla od zahříváných konců. Ta tyč, na níž zhnědnutí do tmava pokročilo nejdále, jest vodičem nejlepším. Jím se ukázalo býti stříbro, po něm na druhém

místě měď, pak následuje mosaz, zinek, železo a olovo.

Vedení tepla volnými tyčemi není však nejjednodušším případem vedení, neboť při tom značná část tepla uniká z tyčí též do okolního volného prostoru. Tomuto vedení říká se vedení vnější. Jestliže však opatříme tyče tak, aby žádné teplo nemohlo z nich unikati do vnějšího prostoru, nazýváme vedení vnitřní. Toho lze docílití tím, že se tyč obalí silným vatovým obalem a jeden její konec vloží se do horké lázně na příklad vroucí vody a druhý se vloží na příklad do velké nádrže s ledem nulstupným. (obr. 78).



Obr. 78

Abychom mohli sledovati, jak se mění teplota podél tyče, uděláme do ní několik jamek ve stejných vzdálenostech od sebe, do nichž se kápne trochu oleje, a do něho vloží se pak do každé jamky teploměr. S počátku stoupají teploměry poblíže horké lázně nepravidelně, ale po chvíli vytvoří se stav ustálený, při němž stejně mnoho tepla odvede tyč lázni ledové, kolik ho ve stejném čase přijme od lázně horké. Teploměry pak ukazují teploty, jež od nejvyšší 100° C k nejnižší klesají podél přímky, která jest v obrazci slabě nakreslená. Případá tedy na délku tyče l rozdíl teplot  $t_1 - t_2$  a na každý délkový centimetr rozdíl  $\frac{t_1 - t_2}{l}$ . Tuto veličinu nazýváme teplotní spád. Při něm prochází každým průřezem tyče určité množství tepla  $Q$ , jež jest přímo úměrno tomuto teplotnímu spádu, průřezu tyče  $p$  a pak době  $\theta$ <sup>64)</sup>, po kterou teplo prochází. Lze tedy psáti:

$$Q = p \frac{t_1 - t_2}{l} \theta$$

<sup>64)</sup> Řecké písmeno  $\theta$  čte se theta, české **th**.

Zákon tento našel teoreticky francouzský fysik, politik a matematik Jean Baptiste Fourier (čti Žan Baptist Furié) (1768—1830), proto nazývá se zákon Fourierův. Veličina  $\lambda$ <sup>65)</sup> značí množství tepla, které projde průřezem 1 cm<sup>2</sup> za 1 vteřinu při teplotním spádu jednotkovém, t. j. když na 1 délkový centimetr tyče připadá rozdíl teplot 1°. Tuto veličinu nazýváme koeficient vnitřní vodivosti. Ona charakterisuje co do vodivosti tepelné různé látky. Dobří vodiči mají koeficient vodivosti větší, méně dobří vodiči menší. V následujícím přehledu jsou koeficienty vodivosti vnitřní některých látek uvedeny pro průměrnou teplotu 18° C. I hodnota  $\lambda$  závisí na teplotě klesajíc poněkud s roztoucí teplotou.

Stříbro	1·01	Platina	0·17
Měď	0·90	Železo	0·14—0·17
Zinek	0·27	Olovo	0·08
Mosaz	0·15—0·30	Sklo	0·002
	Plst		0·00009

Látky, které mají v různých směrech některé vlastnosti různé, tak zvané látky anisotropické, mezi něž patří dřevo a některé krystaly (viz odst. 34.), mají také tepelnou vodivost různými směry různou. Tak na příklad borové dřevo má koeficient vodivosti podél vláken 0·0003, napříč vláken 0·000088. Krystal křemenový směrem rovnoběžným s osou krystalografickou má  $\lambda = 0·030$ , směrem kolmým k ose 0·016.

Dříve nežli vodivost vnitřní byla zkoumána vodivost vnější. První měření provedl roku 1804 profesor matematiky, fysiky a astronomie na universitě Pařížské Jean Baptiste Biot (čti Bio) (1774—1862).

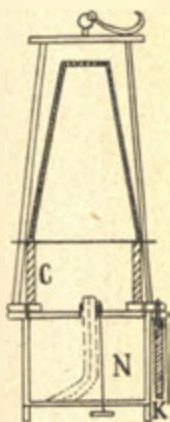
Měřil na zařízení zobrazeném obrazem 78, ale nechránil tyče proti ztrátám do okolí. Přesvědčil se, že při ustáleném stavu upraví se teploty na teploměrech tak, že s počátku u lázně horké klesají urychleně, pak volněji a volněji, takže hladiny vytvoří křivku, která je v obrazci tečkována. Jest přirozeno, že z míst teplejších uniká do okolí více tepla, proto jest tam pokles teplot rychlejší.

V praktickém životě užíváme hojně dobrých vodičů, aby rychle sdělovaly teplo těm předmětům, které chceme zahřívati. Tak v domácnosti vaříme v nádobách kovových, stavíce nádoby na železné pláty kamen, aby se teplo stejnoměrně a rychle rozvádělo. Při pokusech fysikálních

<sup>65)</sup> Řecké písmeno  $\lambda$  čte se lambda, české l.



a chemických zahříváme látky v nádobách skleněných a stavíme je na sítiky kovové (mosazné nebo železné), jež zase dobře teplo rozvádějí. Dobré rozvádění sítkou drátěnou lze ukázati tak, že držíme chvíli sítku nad plynovým plamenem nesvitivým; plamen hoří jen pod sítkou a teprve, když se síтка rozžhaví, prošlehne plamen skrz ni. Rovněž lze na hustou sítku zapáliti svítiplyn ucházející z kahanu. Plyn hoří dlouho nad sítkou a neprošlehne dolů pod sítku. Tohoto účinku sítěk vhodně upotřebil známý



Obr. 79

nám již anglický badatel Davy k sestrojení ochranného hornického kahanu, který má chrániti horníky proti výbuchu zápalných a jedovatých plynů v dolech. Davyův kahan skládá se z nádrže na hořlavinu (olej, petrolej) N (obr. 79) do níž zasahuje knot. Kol plamene jest nízký skleněný cylindr C a nad ním pak jest hustá, drátěná síтка, která ve tvaru komolého kužele příkrývá cylindr i plamen. Přes cylindr a sítku jest našroubováno držadlo z několika drátů spojených nahoře víkem se závěsným hákem. Závity šroubové jsou upraveny tak, že horník nemůže jich v dolech

rozšroubovati, nemaje s sebou klíčku, kterým se uvolní kolíček K, jenž jest vešroubován zespod do vrchní a spodní části šroubových závitů. Tyto hornické, ochranné kahany měly velký význam zvláště v dobách dřívějších, dokud se neužívalo v dolech osvětlení elektrického. Přišel-li horník s rozsvíceným kahancem v místo, kde byl nebezpečný plyn, vnikal plyn sítkou k plameni, zapaloval se tam a vybuchoval. Ale teplo vyvinuté se rozvedlo sítkou tak, že se tato nikde nerozehřála do té míry, aby mohl od ní chytнути též plyn okolní. Výbuchy v kahanu byl horník upozorněn na nebezpečnost a musil zanechat práce v těchto místech.

Jako užívá život vodičů dobrých, aby teplo rychle sdělovaly dále, tak zase upotřebuje vodičů špatných, aby chránily před zimou a rychlým vychladnutím. Oděvy zimní hotoví se z látek silných a srstnatých, nejlépe kožíšin, kterými chráníme tělo proti zimě. V noci přikrýváme se peřinami, abychom odpočívající v klidu nevychladli. Růže a jiné choulostivé květiny obalují se na zimu slamou, aby nezmrzly. Podobně chráníme slaměnými obaly studny a vodovodní roury proti zamrznutí. Pokrývka sněhová chrání zimní osení před zmrznutím.

Někdy však látky špatně teplo vedoucí jsou závadou. Jmenovitě jest to tak zvaný kotelní kámen, to jest usazenina, která se na stěnách kotelních sráží z tvrdé vody a obsahuje mimo jiné látky uhličitán a síran vápenatý. Vede teplo velmi špatně; proto jednak málo tepla jím projde do vody, která se má zahřívati v kotlu, jednak jest nebezpečný i tím, že se stěna, na níž jest ho silná vrstva usazená, velmi zahřívá sama a může po případě na tom místě povolití napětí par, které roztrhne kotel. Proto se musí kotelní kámen občas z kotlů továrních a lokomotivních pracně vytloukati.

**94. Vedení tepla kapalinami a plyny.** Že kapaliny jsou většinou velmi špatnými vodiči tepla, bylo známo již dávno. H r a b ě R u m f o r d soudil roku

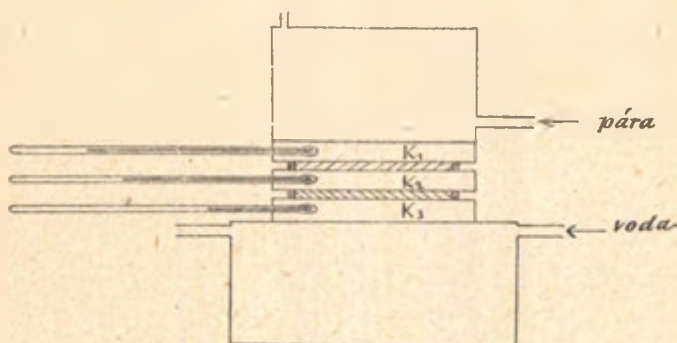
1806, že kapaliny nevedou tepla vůbec. Špatnou vodivost vody lze ukázatí tímto jednoduchým způsobem. Skleněnou zkumavku naplníme ledovou vodou a do ní vhodíme kousek ledu. Aby klesl ke dnu, hodíme na něj ještě kousek drátěné sítky mosazné. Pak zahříváme zkumavku u jejího horního okraje malým plamenem plynovým nebo lihovým. Voda se v horní části brzo vaří, ale dole drží se led ve skupenství tuhém. Kdyby byla voda dobrým vodičem tepla, musil by led roztátí. První měřil vodivost vody roku 1838 César Despretz (čti Depré) (1792—1863), profesor fysiky v Paříži. Do dřevěné vysoké nádoby opatřené několika postranními otvory nalil studené vody a zátkami uzavíracími otvory prostrčil do vody teploměry, takže byly ve stejné vzdálenosti nad sebou. Nad vodu položil měděný dutý kotlík tak, aby jeho dolní stěna se dotýkala vody. Do kotlíku horního stále přiváděl novou horkou vodu a odváděl ochlazenou, aby udržoval horní vrstvu vody v dřevěné nádobě na téže teplotě. Od horní vrstvy šířilo se teplo dolů k vrstvám studeným a teprve po 36 hod. nastal ustálený stav, za něhož ukázal se podobný pokles teploty, jako při vnějším vedení tyčí. Zjistil tedy Despretz vodivost tepelnou ale nepatrnou.

Roku 1881 přirovnával Christian Christiansen, profesor university v Kodani, tepelnou vodivost různých kapalin takto: Tři stejně veliké měděné kotouče  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  (obr. 80) položil nad sebe, odděliv je navzájem stejně vysokými skleněnými vložkami. Do mezery mezi  $K_1$  a  $K_2$  vpravil vrstvu vody, do mezery druhé pak vrstvu kapaliny, jejíž vodivost přirovnával s vodivostí vody. Dolní desku položil na velkou kovovou nádrž, již ustavičně protékala voda teploty stálé. Na kotouč  $K_1$  postavil druhou nádržku, již proudila pára vystupující z vařící vody, takže též horní nádrž měla stálou teplotu. Do každého kotouče byl zasazen se strany teploměr. Teplo z nádrže  $N_2$  vede se kotoučem  $K_1$  a vrstvou vody do kotouče  $K_2$  a z něho dále vrstvou druhé kapaliny do kotouče  $K_3$  a jím do nádrže dolní. Po určité době ustálí se teploty na všech třech teploměrech. Tu možno souditi, že za určitou dobu přijme právě tolik tepla kotouč  $K_2$  od vrstvy vody, kolik ho v téže době odevzdá prostřednictvím kapaliny druhé kotouči  $K_3$ .

Obě vrstvy kapalinové mají stejné tloušťky i stejné průřezy, proto jsou jejich tepelné vodivosti  $\lambda_1, \lambda_2$  nepřímo úměrné rozdílům mezi teplotami vždy dvou sousedních kotoučů. Neboť mezi těmi kotouči bude větší rozdíl teploty, mezi nimiž jest kapalina méně dobře vodivá. Jsou-li ty teploty  $t_1, t_2, t_3$  platí tedy:

$$\lambda_1 : \lambda_2 = (t_2 - t_3) : (t_1 - t_2)$$

Těmito měřeními se přesvědčil Christiansen, že všechny kapaliny jsou poměrně špatnými vodiči tepla, vyjímaje rtuť, jež vlastně jest kov a její vodivost jest téhož řádu jako kovů.



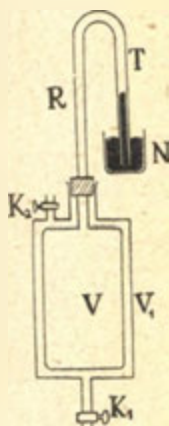
Obr. 80

Ještě méně dobrými vodiči než kapaliny jsou plyny. Také o nich soudil Rumford, že nevedou tepla vůbec. Až roku 1860 dokázal francouzský fysik Malus (čti Maly), že vodíkem se teplo vede. První přesné měření vodivosti v plynech provedl roku 1873 a následujících profesor university Vídeňské Josef Stefan. Kovovou válcovitou nádobu **V** (obr. 81) spojil rourou **R** s ohnutou skleněnou trubicí **T**, která zasahovala do nádobky se rtuťí svým otevřeným koncem, do něhož část rtuťi z nádobky vystoupila. Válec i s rourkami tvoří vzduchový teploměr. Zahřeje-li se v něm vzduch, vytlačuje rtuť z trubice **T**, ochladí-li se, vystupuje rtuť do trubice vlivem tlaku zevního vzduchu. Válec **V** obklopil Stefan druhým větším válcem **VI**, opatřeným 2 trubicemi s kohouty **K1, K2**, takže mohl dutinu mezi oběma válci vyplniti libovolným plynem. Při měření postupoval tak, že válce i s plynem dal ustáliti se na určité vyšší teplotu a pak vložil celou spodní část přístroje do směsi ledu a vody a pozoroval, jak se válec **V** ochlazuje ztrátou tepla, které se odvádělo vrstvou plynovou do ledové vody. Ochlazování posuzoval

dle změny hladiny, rtuti, stoupající z nádoby N do trubice T. Stefan přirovnával vodivost různých plynů a přesvědčil se, že vodík vede téměř 7krát lépe než vzduch, ostatní plyny téměř stejně nebo méně než vzduch. Mimo uvedené badatele měřili vodivost kapalin a plynů mnozí jiní fyzikové. Výsledky měření koeficientů vodivosti pro některé kapaliny a plyny při teplotě nulové jsou v následujícím přehledu:

Rtuť	0·0148	Vzduch	0·0000565
Voda	0·0012	Vodík	0·000376
Glycerin	0·0006	Kyslík	0·0000572
Éter	0·0004	Dusík	0·0000567

S rostoucí teplotou se vodivost jak kapalin tak plynů zvětšuje.

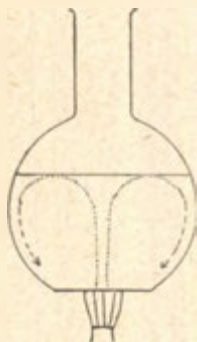


Obr. 81

Z uvedených hodnot vyplývá, že voda skoro 1.000krát hůře vede teplo než stříbro, vzduch dokonce 20.000krát. Z kapalin vede voda poměrně nejlépe. Proto lze jak vody tak zvláště vzduchu a látek, jež v sobě obsahují hodně vzduchu, užívat jako tepelných izolátorů. Proto v krajinách, kde rozdíl teplot mezi zimou a létem jsou dosti veliké, jako u nás, staví se domy s dvojitými okny, aby vrstva vzduchu mezi oběma okny obsažená chránila hlavně v zimě obytné místnosti proti rychlému vychladnutí. Rovněž stěny ohnivzdorných pokladen dělají se dvojitě a prostor mezi nimi plní se popelem nebo pískem nebo pilinami, aby obsahoval špatné vodiče, které mají v sobě ještě hodně mnoho vzduchu.



**95. Proudění tepla kapalinami a plyny.** Šíření tepla vedením není jediný způsob, jímž se může teplo rozšiřovati látkami kapalnými a plynnými. Když bylo jednáno o roztažnosti látek těchto teplem, bylo uvedeno, že se u nich značně mění též specifická hmota. Kapaliny i plyny zahřáté jsou specificky lehčí a proto stoupají teplé vždy vzhůru a studenější klesají ke dnu. Tím však nesou s sebou ohřáté vrstvy teplo a toto šíření tepla způsobené promícháním vrstev různě teplých nazýváme **proudění tepla**. Tomu ovšem pomáhá velmi snadná pošinutelnost částic kapalinových a plynných.



Obr. 82

Že vzniká proudění tepla v kapalinách zahříváných zdola, lze se přesvědčiti tímto jednoduchým pokusem. Zahříváme v baňce skleněné vodu malým plamínkem uprostřed dna baňky (obr. 82). Na dno hodíme několik malých kousků úlomků jantarových nebo několik malých zrníček barviva na příklad eosinu. Teplejší vrstvy nad plamínkem začnou vystupovati vzhůru nesouce s sebou kousky jantaru nebo barviva, stoupnou až ke hladině a odtud zase chladnější vrstvy klesají po okrajích baňky ke dnu. Tak vytvoří se krou-

žení (cirkulace)<sup>60)</sup> vrstev kapalinových a tím rychlé šíření tepla v kapalině.

Že se podobně šíří teplo prouděním v plynech, ukázati lze papírovým hádkem nad kamny, v nichž se topí. Hádek opřený o hrot jehly se roztočí proudem vzdušným stoupajícím nad kamny.

Ačkoliv tedy jsou kapaliny i plyny celkem špatnými vodiči tepla, přece se jimi teplo šíří rychle, když se může šířiti prouděním. Toho však není, když oteplujeme kapalinu nebo plyn shora. Proto trvá to velmi dlouho, než se na jaře oteplí voda v rybnících a řekách na teplotu asi 18° až 20° C, při níž lze se koupatí bez obavy, že si poškodíme zdraví. Voda se totiž otepluje jen od povrchu vedením, a tedy teplo postupuje do hloubky velmi pomalu. Ve stojatých vodách rybníčných jest velmi dobře znáti, ponoříme-li se. koupající se, hlouběji, jak jest tam voda směrem do hloubky studená proti povrchu. Naproti tomu ochlazování vody v přírodě od povrchu postupuje velmi rychle, ježto děje se prouděním. Vrstvy povrchové chladnou, stanou se specificky těžší a klesají ke dnu. Proto stačí jedna studená noc, aby se voda v řekách i rybnících ochladila tak, že není možno již se v ní koupatí.

V místnosti, v níž se topí, jest nejtepleji u stropu, nejchladněji u podlahy. Spojíme-li místnost vytopenou s místností nevytopenou otevrouce dveře, můžeme zjistiti dle uchylování plamene hořící svíčky, že vrchem uniká z místnosti teplé teplý vzduch do studené, spodem pak přitéká vzduch studený z místnosti nevytopené do vyhřáté. Proto lze vytápěti celé budovy (školy, divadla, továrny, musea, knihovny) vzduchem přiváděným z místností nejnižších.

Také oteplování vzduchu v přírodě děje se hlavně prouděním. Vzduch otepluje se od vyhřáté půdy, od teplých předmětů na zemi a stoupá do výše. Nahrazován jest těžším vzduchem studeným

<sup>60)</sup> Z latinského slova *circulus* (čti *cirkulus*) = kruh.

a tak vzniká podobná cirkulace jako při oteplování vody. Touto cirkulací vrstev vzduchových různě teplých vysvětlíme si vznik větrů požárních, pobřežních, pasátů a antipasátů.

Při větším požáru vznikne zpravidla vítr, i když bylo před tím úplně bezvětří, neboť vyhrátý vzduch nad požářištěm uniká do výše, nesa s sebou oharky, jež snadno mohou zalétnouti jinam a způsobiti požár nový na místě dosti vzdáleném od požářiště. Uniklý vzduch teplý nahrazován jest zase vzduchem studeným, přitékajícím se stran.

Již v odstavci 71. bylo vysvětleno, že vodstvo, majíc větší specifické teplo otepluje se za dne pomaleji než půda. Proto jest nad vodou vzduch studenější než nad pevnou půdou. Následkem toho vane ve dne od vody vždy vánek chladný na pevninu a příjemnější tak procházku po břehu řeky, nebo rybníka, nebo jezera za horkého dne. Ale v noci vychladne dříve půda, ježto má menší specifické teplo než voda, a proto jest nad ní vzduch chladnější než nad vodou. Následkem toho vane chladný vánek od pevniny na vodu. Větry takto vznikající nazývají se větry pobřežní.

Větry pasátní a antipasátní konečně vznikají nestejnoměrným zahříváním zemského povrchu při rovníku a při pólech. Studený vzduch těžký vane po zemském povrchu z krajín polárních směrem k rovníku a tyto vzdušné proudy pravidelné nazývají se větry pasátní. Z krajín rovníkových zase uniká lehký vzduch teplý do výše a unášen jest do krajín studených, polárních vrchními proudy, které se nazývají větry antipasátní. Vlivem otáčení zeměkoule kol osy stáčejí se směry těch větrů na severní polokouli vždy napravo, hledíme-li za proudem unikajícím, na jižní polokouli pak nalevo.

Dobré proudění vzduchu jest nutné též, aby řádně mohl hořeti oheň v kamnech, v lampách i pod kotly

továrními. Proto se staví komíny v budovách i k továrnám, proto se na lampy dávají skleněné nebo slídkové cylindry, aby napomáhaly proudění vzduchu.

**96. Sálání tepla.** Oba způsoby šíření tepla, jež jsme dusud poznali, vedení i proudění, vyžadují hmoty, již se teplo šíří. Při vedení přechází teplo hmotou z míst teplejších na místa studenější, při čemž hmota jako celek jest v klidu. Proudění tepla doprovázeno jest pohybem hmotných částic, jež se spolu promíchávají a tím šíření napomáhají. Jest však ještě třetí způsob šíření tepla, jenž hmoty nikterak nevyžaduje, ba děje se i v prostoru neobsahujícím hmoty vůbec, tedy v prostoru vzduchoprázdném, jenž se při tom neprohřeje. Tento způsob nazýváme **záření** nebo **sálání** tepla a byl znám již ve starověku. Již staří badatelé věděli, že z každého horkého předmětu šíří se teplo do okolí na všechny strany v přímočarých paprscích a zahřívá tělesa chladnější. Rovněž věděli, že teplo to se šíří ohromnou rychlostí jako světlo. Sáláním dostává Země své teplo od Slunce. Vpluje-li mezi pozorovatele a Slunce mrak, ihned přestává zahřívací účinek sálavého tepla slunečního, aby zase okamžitě nastal, jakmile mráček míne Slunce. Také již starověku bylo známo, že lze zrcadly palčivými — jsou to kulová zrcadla dutá — zapalovati vlivem sálavého tepla slunečního. Spisovatel Plinius v I. století po Kr. píše, že skleněnými koulemi postavenými do cesty záření slunečního lze zapalovati a působiti popáleniny těla. Lactantius (čti Lactancius) pak ve stol. 4. po Kr. uvádí, že možno zapalovati i kouli naplněnou vodou, při čemž zůstane voda studená. Stává se, že záclony na okně se zapálí teplem slunečním, které prošlo lahví s vodou postavenou na okně a jí bylo na záclony soustředěno. Podobně působí též koule neb čočka ledová, při čemž led neroztaje. Ve stol. XVI. pak po Kr. badatel italský Giambattista (čti Džambattista) Della Porta uvádí, že i chlad se může na

zrcadle odrážeti. Pokus ve velkých rozměrech o tom provedli členové florencské pokusné Akademie tak, že opodál zrcadla dutého položili veliký kus ledu a do ohniska zrcadla dali nádobku svého teploměru. Ihned pozorovali na něm, jak hladina kapaliny klesala na důkaz, že teploměr jest ochlazován. Aby se přesvědčili, není-li to snad přímé působení kusu ledu, vložili mezi zrcadla a teploměr stínítko. Teplota, kterou teploměr pak ukazoval, stoupla ihned na teplotu okolního vzduchu.

Roku 1778 zkoumal švédský chemik Karel Vilém Scheele (čti Šíl), zda-li účinek tepelný tepla vysálaného z ohně jest působen týmiž paprsky jako účinek světelný. Dutým zrcadlem soustředil teplo z plamene vycházející do jeho ohniska a vložil pak mezi plamen a zrcadlo čirou desku skleněnou. Světelné paprsky prošly jí beze změny, ale oteplování v ohnisku přestalo téměř úplně. Z toho soudil Scheele správně, že sklo zadrželo sálavé teplo, kdežto světlo propustilo. Že také teplo sálané hmotami nesvítícími postupuje přímočaře právě tak, jako světlo, a že se odráží na zrcadlech, dokázal Jan Lambert (XVIII. stol.).

Zákony sálání tepelného zkoumal podrobně skotský badatel John Leslie (čti Džon Lely) (1766—1832), profesor university v Edinburce. Sestrojil si k tomu 2 jednoduché přístroje, jeden jakožto vysílač (radiator)<sup>67)</sup> druhý, jímž se sálavé teplo zjišťuje. Radiátorem byla mu dutá kostka z mosazného plechu, kterou naplnil horkou vodou a její stěny opatřil různými povlaky těchto látek, jejichž záření tepelné chtěl zkoumati, na příklad sazemi, sklem, papírem, různými kovy a j. Přístroj druhý, jenž účinek sálavého tepla zjišťoval, byl tak zvaný diferenční teploměr vzduchový, o kterém byla již zmínka v odstavci 8. při popise teploměru Schottova. Leslieův diferenční teploměr jest úplně podobný zavřenému teploměru Schottovu, jen se liší tím, že má obě ramena stejně dlouhá, takže obě koule jsou stejně vysoko. Jako kapaliny, jež ve spojovací trubici odděluje vzduchový obsah jedné koule od druhé, užil obarvené kyseliny sírové, jež jest zvláště vhodná k tomuto účelu, poněvadž se velmi málo vypařuje. Dife-

<sup>67)</sup> Latinské slovo radiare = zářiti.



renční teploměr jest vhodnější, pro pozorování tepla sálavého, než obyčejné teploměry kapalinové proto, že jest velmi citlivý a mimo to změny teplot okolního vzduchu nemají na jeho údaje vlivu, poněvadž působí na vzduch obsažený v ohou koulích stejně. Vystaví-li se jedna koule záření tepelnému, kdežto druhá se proti němu chrání, jeví se účinek zahřívání jedné koule pohybem kapaliny způsobeným rozpínáním vzduchu v nádobě zahřívané.

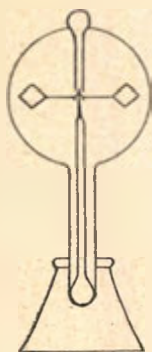
Leslie se přesvědčil, že sálání tepla záleží na teplotě zářícího tělesa a na jeho povrchu. Povrchem černým a drsným vysílá se více tepla než povrchem hladkým a lesklým při stejné teplotě. Leslie zkoumal též, jak různé látky pohlcují sálavé teplo a přesvědčil se, že látky, které hodně tepla sálají, též je hodně pohlcují. Proto se ohřívá sálavým teplem hmota drsná a černá mnohem více než hladká, světlá a lesklá. Leslie též zjistil, že při šikmém dopadu zahřívá se teplem sálavým těleso méně, než dopadají-li tepelné paprsky na hmotu kolmo, a rovněž vysílá-li se teplo směrem šikmým s plochy zářící, vyzáří se ho méně, než při vysílání kolmém. Tuto závislost na směru vyslovil již zmíněný Lambert, ale pokusem dokázal až Leslie.

O tom, že těleso černé se více zahřívá sálavým teplem než lesklé lze se přesvědčiti tímto jednoduchým pokusem. Zavěsíme do stejné vzdálenosti od plamene, třebaš kahanu Bunsenova, dva stejné teploměry. Nádobku rtuťovou jednoho z nich obalíme s azemí tak, že ji vnoříme do čistého oleje, pak do krabičky, v níž máme uschovány saze z kamen. Po malé chvíli ukazuje teploměr s nádobkou očerněnou vyšší teplotu než teploměr s nádobkou lesklou na důkaz, že černý povrch přijímá více tepla než lesklý.

Nového prostředku na pozorování sálavého tepla užíval profesor university v Parmě Macedonio Melloni (1798—1854) v létech 30tých stol. XIX., totiž baterie článků thermoelektrických (viz odst. 21.). Vystaví-li se spájená místa

několika článků thermoelektrických, spojených v baterii za sebou, sálavému teplu a spojí-li se póly baterie s citlivým přístrojem měřicím na elektrický proud, lze podle úchytky ukazovatelovy posouditi množství tepla, jež bylo spájeným místům dodáno. Zařízení to bylo později mnohými badateli zdokonalováno a docíleno tak velké citlivosti, že lze zjistiti zahřátí spájeného místa až o 1 miliontinu stupně C.

Další přístroj, jímž lze zjišťovati účinky sálavého tepla, sestrojil roku 1873 anglický badatel William Crookes (čti Viliem Krúks). Nazývá se po něm radiometr Crookesův. Jest to malá skleněná baňka (obr. 83) téměř úplně vzduchu



Obr. 83

zbavená, v níž na jemné ose svislé se otáčí lehounké kolečko lopatkové. Jeho lopatky, obyčejně čtyři, jsou buď slídkové nebo aluminiové. Souhlasné strany lopatek jsou za černěny, protější jsou lesklé. Dopadne-li sálání tepelné na přístroj, zahřívají se černé stěny lopatek více než lesklé; od nich oteplují se též částice vzduchu zbylého v dutině přístroje a odletují od nich rychle, udělující černěným stranám křídélek zpětné nárazy, jimiž se kolečko roztocí tím rychleji, čím jest zahřívání sálavým teplem mohutnější. Přístroj zdokonalil roku 1897 Nichols tak, že křídélka zavěsil na křemenové

vláknem, ozařuje jen jedno a pozoruje pootočení dalekohledem pomocí odrazu světla na zrcátku spojeném s křídélky.

Konečně se alespoň zmíníme o velmi citlivém moderním přístroji elektrickém k měření sálavého tepla. Jest jím *b o l o m e t r*, kterého od 80tých let minulého století s výhodou užívalo mnoho badatelů. Jest to tenounký plátek kovový (tloušťky asi 0001 mm), začerněný, který se zavede do vhodného spojení elektrického proudu a pak vystaví záření tepelnému. Podrobný výklad jeho působení vyžaduje znalosti zákonů elektrického proudu, které zde nelze předpokládati. Ale lze jím měřit sálavé teplo s takovou citlivostí, jako články thermoelektrickými.

**98. Výklad sálání tepelného.** Moderní badání prováděná všemi uvedenými nejjemnějšími pomůckami potvrdila starší zkušenost, že na sálání tepelném lze pozorovati i tytéž zjevy jako při záření světelném. Sálavé teplo šíří se přímočaře, odráží se, lomí se, pohlcuje se různými prostředními i rozkládá se ve vidmo, projede-li hranolem z látky, jež je dobře propouští, na příklad z kamenné soli. Proto nelze se diviti, že sálání tepelné bylo vykládáno týmž způsobem, jako šíření světla. Profesor filosofie a fysiky v Ženevě Pierre Prevost (čti Pier Prevó) (1751–1839) soudil, že horká tělesa vyzařují částice látky tepelné, které letí přímočaře na všechny strany tak rychle jako světlo: na látkách, na něž dopadnou, se částice buď odrážejí nebo jimi pohlcují a tím je ohřívají. Názor ten jest úplně obdobný s tak zvanou emisní<sup>(64)</sup> teorií světla, která vykládala šíření světla vysíláním částic světelných tělesem svítícím. R. 1800 zkoumal tepelný účinek slunečního záření rozloženého hranolem skleněným ve vidmové čili známé duhové barvy (červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá a fialová) Bedř. Vilém Herschel, že zavěsil do vidma četné teploměry a pozoroval, jak v různých částech vidma teplota stoupá. Zjistil však, že i před viditelným zářením červeným jeví se vzestup teploty vložených tam teploměrů, a to mnohem větší než v části zelené, modré a fialové. Tím objevil, že v záření slunečním mimo viditelné světelné záření jest též neviditelné záření, které se projevuje účinkem tepelným a které, poněvadž jest ve vidmu před viditelným světlem červeným, nazváno

<sup>(64)</sup> Z latinského slova *emittere* = vysílati.

bylo záření infracervené<sup>69)</sup>. Záření to bylo zjištěno též rozkladem záření, vycházejícího z těles horkých, ale nesvitících, na příklad horkého kovu, nádoby s horkou vodou, parou a pod. Různé barvy světelné vykládala teorie emisní různou velikostí vysílaných částic světelných, podobně tedy bylo nutno předpokládati i různé velké částice tepelné pro záření tepelné, připadající na různá místa ve vidmu slunečním.

Ale počátkem stol. XIX. stále víc a více uplaňňovala se ve výkladu dějů světelných teorie vlnivá, která vykládá šíření světla příčným vlněním předpokládaného světelného éteru bezvážného, jenž vyplňuje i prostory vzduchoprázdne. Různost barev vykládá tato teorie, jejímž zakladatelem jest již zmíněný holařský badatel Huygens (viz odst. 11.), různou délkou vlnovou, jež pro světlo červené jest největší pro fialové nejmenší. Při tom jsou délky vlnek světelných tak malé, že při světle červeném činí okrouhle **0-000750 mm**, ve fialovém **0-000400 mm**. Jest tedy přirozeno vykládati i sálání tepelné vlněním téhož éteru, ale neviditelným paprskům tepelným infračerveným přísluší jiné délky vlnové než světelným. Poněvadž pak vyskytují se ve vidmu před světlem červeným, patří jim vlny delší než barvám viditelným. Dle dosavadního stavu badání byly zjištěny paprsky infračervené délek vlnových od **0-000750 mm** až do nejdelších **0-342 mm**. Pro zjištění těchto nejdelších paprsků tepelných bylo ovšem nutno užítí zvláštních umělých prostředků.

Ve shodě s mechanickou teorií tepelnou představujeme si tedy děj sálání tak, že rychlé kmity částic horkých předmětů způsobí rozvlnění světelného éteru, jež zase sdělí se částicím tělesa studenějšího, které sáláním jest zasaženo, a uvede je do živějšího pohybu kmitaveho. Ten pak jeví se jako stoupání teploty tělesa, na něž dopadá teplo sálavé. Jest tedy záření tepelné a světelné přírodní děj tohož druhu, lišící se jen délkou vlnovou a projevující se různým účinkem. Pro světlo máme zvláštní smysl, oko, pro účinek tepelný ho nemáme, jak jsme již uvedli v odstavci 4.

Množství sálavého tepla, jež za jednotku doby dopadá na **1 cm<sup>2</sup>** plochy bylo nazváno intensita záření tepelného. Závisí na vysílací mohutnosti zdroje, na vzdálenosti od zdroje, s jejíž dvojnásobí jí ubývá, a na směru, ve kterém sálání na plochu dopadá. Vysílací mohutnost zdroje pak závisí na jeho teplotě a povrchu, jak již bylo uvedeno. Správnost

<sup>69)</sup> Latinská předložka *infra* = před.



této závislosti potvrditi lze zkušenostmi ze života. Víme, že rozpálená kamna černá železná vysílají mnohem více tepla než mírně vyhřátá lesklá kamna hliněná. Proto též železná kamna dříve vychladnou než kachlová. Vinice a skleníky zakládají se na úbočích obrácených k jihu, aby sluneční záření dopadalo na ně směrem téměř kolmým a co nejdéle. V létě, kdy sluneční záření dopadá na krajiny naše směrem bližším směru kolmému než v zimě, jest u nás tepleji. Jsme-li ve velkém sále daleko od kamen, v nichž se topí, nepocítujeme téměř sálavého tepla, jsme-li blízko kamen, jest nám příliš horko.

Že látky černé a drsné více tepla sálavého přijímají a tedy se jim více zahřívají lze doložiti těmito zjevy. V šatech temných, hlavně černých, jest nám v létě tepleji než ve světlých. Sníh ve městech, na nějž napadlo hojně sazí a jehož povrch jest tedy černý, roztaje rychleji než sníh čistý venku v přírodě.

**Příklady ke cvičení.** 52.) Jaký význam má a) vrstva vzduchová mezi nádobami, b) vrstva vodní v zevní nádobě v kalorimetru směšovacím?

53.) Proč se leští stěny kalorimetrické nádoby?

54.) Proč se leští stěny nádob Dewarových?

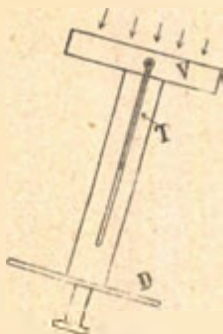
## O zdrojích tepelných.

**97. Slunce jako zdroj tepla.** Země naše dostává největší část tepelného množství, jež umožňuje život na jejím povrchu, od Slunce. Slunce vysílá ohromné množství tepla do světového prostoru a jen poměrně nepatrná část ho přichází na Zemi. Odedávna zajímala lidstvo otázka, kolik tepla dodá Slunce Zemi za určitou dobu. První měření tohoto množství tepla prováděl roku 1838 francouzský fysik *Claudé Pouillet* (čti *Klodé Pujé*) (1790—1868) přístrojem zvaným *pyrheliometr*<sup>70)</sup>. Jest to dutý plochý válec ze stříbrného plechu *V* (obr. 84), který jest naplněn určitým množstvím vody. Do ní zasahuje nádobka teploměru, jehož rourka jest uzavřena v trubici plechové *T* mající úzké táhlé skleněné okénko. Rourou i válcem bylo možno otáčeti, aby se voda promíchávala a tak teplota její vyrov-

<sup>70)</sup> Z řeckých slov *πῦρ* (čti *pýr*) = oheň, *ἥλιος* (čti *hélíos*) = Slunce a *μετρέω* (čti *metreo*) = měřím.



návala. Základna válce byla začerněna. Aby tepelné sálání stále dopadalo na válec kolmo, natáčel Pouillet přístroj připevněný na vhodném podstavci, který není nakreslen, tak, aby vržený stín válce se přesně kryl se stínem kruhové desky D. Ta měla stejný poloměr jako válec a byla upevněna kolmo k ose trubice na jejím dolním konci. Měření prováděl Pouillet tak, že nejdříve zakryl válec stínítkem a pozoroval po 5 minut, jak se mění teplota vody ve válci, pak po 5 minut dal působiti záření slunečnímu na válec a zase sledoval teploměr. Ko-



Obr. 84

nečně zase stínítkem záření zachytil a po 5 min. pozoroval oteplování. Z toho lze počítati oteplení vody způsobené za 5 min. zářením slunečním. Pozorování se zakrytým válcem sloužila k tomu, aby se zjistil vliv okolního vzduchu na teplotu vody ve válci.

Z těchto měření určil Pouillet množství tepla, které na  $1 \text{ cm}^2$  plochy kolmé k paprskům slunečním dopadá na zemském povrchu za 1 minutu. Veličina tato, zvaná sluneční čili solární<sup>71)</sup> konstanta, jest dle měření Pouilletových **176** kal. Pozdější měření provedená různými jinými přístroji složitějšími, zvláště články termoelektrickými

<sup>71)</sup> Z latinského slova sol = Slunce.

a bolometry, vedla k výsledku 2 kal., kdyby nebylo ovzduší. Ovzduším se totiž množství sálavého tepla — asi 40% — pohltí. Pohlcování působí hlavně v o d n í pára a kysličník uhličitý. Vymístiti toto pohlcování jest možno tak, že se měří množství sálavého tepla v různých výškách nad povrchem zemským, a dle toho se vypočítá vliv ovzduší na teplo sálavé. Značný vliv na pohlcování slunečního záření mají též v ý b u c h y s o p e č n é, jež působí, že ovzduší se naplní jemným prachem, který se v něm dlouho vznáší a způsobí, že se až o 20% může zmenšiti množství sálavého tepla dodávaného Sluncem Zemi.

Za celý rok dopadlo by tedy na 1 cm<sup>2</sup> plochy kolmé k záření slunečnímu množství tepla  $2 \times 60 \times 24 \times 365 = 25$  kal., to jest okrouhle 1,052.000 kal. Dělíme-li toto číslo 80 kal., to jest skupenským teplem tání ledu, obdržíme 13.150, počet gramů nulstupňového ledu, který by toto množství tepla Sluncem za 1 rok vysílané na každém cm dovedlo roztaviti. To znamená, že vyzáří Slunce do světového prostoru tak ohromné množství tepla, že by roztavilo klenbu ledovodu hlubokou téměř 150 m. Ovšem při tom předpokládáme, že Slunce září na všechny strany stejnoměrně, což ovšem vzhledem k dějum, které lze na Slunci pozorovati, není přesně pravda. Vyskytují se totiž na Slunci místa temnější vzhledem k okolním částem Slunce, které nazýváme s k v r n y s l u n e č n í a jež působí, že z těch míst vychází záření slabší než z okolních. Množství skvrn a velikost jejich se značně během času mění, zjištěno bylo, že vyskytuje se jich během 11 let vždy v určité době nejvíce, v jiné zase nejméně, říkáme, že mají 11letou periodu. Sluneční skvrny působí změnu sálání slunečního o 5 až 10%. Ukázalo se též z měření nejnovějších, která prováděl zvláště A b b o t, že solární konstanta též není veličinou zcela stálou, nvrž že pro každý rok vychází průměrná hodnota jiná.

Dle zákonů záření, jež teoreticky odvodili němečti

fysikové Josef Stefan, Vilém Wien (čti Vín) a Max Planck (čti Plank), lze také počítati průměrnou teplotu sluneční. Vychází okrouhle 6000° C. O tom, jakým způsobem se udržuje tato vysoká teplota Slunce a nahrazuje množství tepla vysílaného do světového prostoru, jsou pouze domněnky. Uvedený již badatel Helmholtz tvrdí, že Slunce se p o n e n á h l u s m r š ť u j e, ovšem tak nepatrně vzhledem k svým obrovským rozměrům, že pozorováním přímým v krátké poměrně době lidského věku nelze se o tom přesvědčiti. Jiná teorie soudí, že Slunce jako obrovské těleso přitahuje k sobě všechna drobnější tělíska z prostoru světového, jež se mu přiblíží, a ta padající do Slunce dodávají mu energii, kterou sáláním vysílá do prostoru. Teorie nejnovější zakládá výklad náhrady vysílané energie na objevech posledních let o rozpadech prvku chemických, při nichž uvolňují se ohromné zásoby energie. Podnět k tomuto výkladu dal objev látek radioaktivních, učiněný koncem století XIX. Látky tyto rozpadávají se samočinně postupně v nové a nové, vysílají energii do svého okolí a udržují si též vyšší teplotu, než má okolí.

**99. Země jako zdroj tepla.** Četné zkušenosti do-  
svědčují, že Země má ve svém nitru tep-  
lo. Jsou to především horké prameny vy-  
věrající na některých místech ze země (na příklad  
v Karl. Varech, Teplicích, Pišťanech, geysíry na  
Islandě a v Sev. Americe). O velkém množství tepla  
pod povrchem zemským svědčí též v ý b u c h y s o-  
p e č n é, při nichž horká láva sirné páry a jiné  
vřelé předměty chrli se z dutiny jícnu. Dále jest  
známo že sestupujeme-li do hlubin zemských šach-  
tami, přibývá teploty tak, že na každých 100 m  
stoupne teplota asi o 3° C. Ovšem, toto stoupání tep-  
loty do nitra zemského nezačíná hned od povrchu  
zemského, který má průměrnou teplotu asi 15° C.  
Kdyby tento postup dál se pravidelně i do hloubek

větších, než dosud jsou přístupny v nejhlubších šachtách (asi 1·5 km), byla by v hloubce 100 km teplota již kol 3000°, při níž byly by roztaveny skoro všechny kovy známé na povrchu zemském ve skupenství tuhém. Ovšem poměry v hloubkách jsou jiné, poněvadž spolupůsobí ohromný tlak vrchních vrstev zemských. Lze si tedy Zemi představit jako kouli se žhoucím nitrem, jež obaleno jest ztuhlou korou zemskou, jež vychladla sáláním tepla do světového vesmíru.

Měříme-li pravidelně teploty ve vrstvách různých hlubokých blízko povrchu zemského, přesvědčíme se, že na teplotu jejich má hlavní vliv účinek sálavého tepla slunečního, které se vede s povrchu do nitra zemského. Ukazuje se totiž, že denní změny teploty, způsobené střídáním dne a noci, projevují se do hloubky jen asi 1 m. Střídání po čase ročních má vliv do hloubky nejvýše 20 m. Zajímavé jest, jak jsou ty změny opožděny proti změnám na povrchu. Tak v lednu bývá ve sklepích teplota nejvyšší, poněvadž se tam rozšířilo teprve teplo přijaté zemským povrchem v létě. A naopak v červenci a srpnu bývá ve sklepích teplota nejnižší. Ve hloubce asi 25 m pod zemským povrchem jest po celý rok vyrovnaná ustálená teplota. Proto se v této hloubce umísťují přesné měřicí a dělicí stroje, to jest stroje na rytí přesných měřítek a optických mřížek, aby měly stále touž teplotu. Teprve od této hloubky nastává zmíněný vzestup teploty do nitra zemského. Z nitra k povrchu zemskému jest tedy teplotní spád, který způsobuje, že teplo se vede směrem poloměrovým od středu k povrchu. Ale množství tepla, které dodá nitro zemské jednomu cm<sup>2</sup> povrchu zemského jest pouze asi 50 kal. za rok. Co to jest proti ohromnému množství tepla dodávanému zářením slunečním? Kdyby Slunce přestalo Zemi zahřívati, zanikl by záhy na ní veškeren život, neboť by teplota povrchu klesla hluboko pod bod mrazu.

**100. Přeměny energie jako zdroje tepelné.** Již v odstavci 79. a 80. jsme poznali, že mechanická

ká energie může se měnit v teplo. Vrtáním, tlučením, řezáním, pilováním, třením zahřívají se nástroje i předměty, o nichž se pracuje. Podobně může se v teplo měnit též energie elektrická, kterou má elektrický proud. Jest známo, že elektrické žárovky nejen svítí, nýbrž i značně hřejí, když jimi proud prochází. A podobně v každém vedení, jímž prochází silnější proud, vzniká tolik tepla, že se vedení zřejmě zahřívá. Prakticky upotřebuje se tepla vyvinutého proudem v elektrických kamnech, pecích, žehličkách, vařidlech, kobercích a pod. Jindy zase teplo proudem vyvinuté působí zhojně, zapalujíc izolaci vodičů a dávajíc vznik požárům.

Třetím a posud v životě praktickém nejvíce zavedeným zdrojem tepla jest přeměna energie chemické v teplo. Slučují-li se spolu chemicky dvě látky, vyvinuje se v mnohých případech teplo. Schopnost látek slučovatí se nazývá se energie chemická, kterou mají látky, než se sloučí. Když se již sloučily na látku novou, energie ta vymizela, ale místo ní v mnohých případech objeví se teplo, v něž se ona chemická energie přeměnila. Pro mocné vyvíjení tepla jest nejdůležitější chemický děj okysličování čili slučování s kyslíkem.

Okysličováním potravy, jež se děje dýcháním, vzniká v těle lidském a živočišném teplo, jímž se udržuje stálá teplota těla. U zdravého člověka činí tato teplota, jak již bylo uvedeno (viz odstavec 23.), 37° C.

Vydatným zdrojem tepla jest okysličování hliníku v tak zvaných thermitech. Práškovitý hliník míchá se s kysličníkem železa, chromu nebo manganu, který se zapálí páskem hořčíku. Hliník ubírá kysličníku kyslík, s nímž se slučuje v kysličník hlinitý a zbývá čistý kov: železo, chrom nebo mangan. Při tom vydává se ohromné množství tepla, jímž se mohou protaviti velké plotny kovové a svářeti



velké kovové předměty, na příklad železné kolejnice, a vyráběti čisté kovy (mimo uvedené též nikl, kobalt a j.). Děj tento nazval jeho vynálezce Hans Goldschmidt r. 1899 v Essenu aluminothermie.

Hoření látek jest též okysličování čili slučování jich s kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Aby některá látka se vznítla a začala se slučovati s kyslíkem, musí býti zahřáta na svou teplotu zápalnou. Ta jest pro různé látky různá. Zvláště nízkou teplotu zápalnou má bílý kostík čili fosfor (asi 60° C). Proto užívalo se ho při výrobě sirek, aby od něho chytila síra, mající vyšší teplotu zápalnou, od síry pak dřevo.

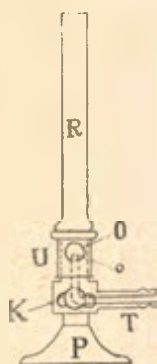
Když látka již hoří, vyvine se spálením jistého jejího množství určité množství tepla. Shoří-li 1 kg hořlaviny, vyvine se množství tepla, jež se nazývá teplo spalné nebo výhřevnost. Ta jest pro různá paliva různá. Největší spalné teplo má vodík, asi 34.000 Kal., bylo by tedy nejvýhodnější topení vodíkem, ale protože tvoří s kyslíkem nebezpečný traskavý plyn, nehodí se vodík jako palivo pro denní potřebu. Ale užívá se spalování vodíku v silném proudu vzdušném k docílení vysokých teplot, až 1900° C. Ještě vyšší žár dává plamen, jímž se spaluje vodík v čistém kyslíku. Plamenem tím lze svářeti kovy těžko tavitelné a propalovati a prořezávati pancíře lodní i ohnivzdorných pokladen.

Rovněž silné, jasné bílé světlo Drummondské (čti Drymondské), které první sestavil roku 1826 Guerney a hojně ho upotřebil Thomas Drummond (čti Drymond), vzniká zárem vápeného roubíku, na nějž se žene plamen kyslíkovodíkový. Užívalo se ho na majácích a v promítacích lampách, kdež bylo předchůdcem obloukového světla elektrického.

Výhřevnosti jiných paliv udány jsou v následujícím přehledu okrouhlými čísly ve velkých kaloriích:

Svítiplýn	. . . . .	12.000 Kal.
Petrolej, benzin	. . . . .	10.000 Kal.
Antracit	. . . . .	8.100 Kal.
Uhlík	. . . . .	8.000 Kal.
Koks	. . . . .	7.400 Kal.
Lih	. . . . .	7.000 Kal.
Kamenné uhlí	. . 3.600 až	7.400 Kal.
Dříví	. . . . .	3.000 Kal.

Z čísel těchto vyplývá, že poměrně nejmeně  
ú s p o r n o jest topiti dřívím, ježto má nejmenší vý-



Obr. 85

hřevnost. Hnědé uhlí má menší výhřevnost než černé. Nejvydatnějším palivem po vodíku jest svítiplyn. Proto se jím topí i vaří zvláště v nové době hojně již v domácnostech všude tam, kde zřízeny jsou plynárny. Mimo velkou výhřevnost jest jeho výhodou zvláště pro velká města i ta okolnost, že při topení jím odpadá nezdravý kouř a tvoření sazí, které tak znepríjemňují a kazí vzduch v městech.

V pracovních fysikálních a chemických užívá se při topení plynem zvláštních kahanů, sestavených uvedeným již německým chemikem Robertem Bunsenem tak, aby svítiplyn hořel za stálého hojného přítoku vzdušného. Kahan skládá se z pod-

stavce, do něhož ústí trubice T (obr. 85), na kterou se nasazuje hadice kaučuková přivádějící svítiplyn. Trubice přechází v dutině podstavce v rourku zahnutou v pravém úhlu, která jest opatřena kohoutkem, aby bylo možno řídit proud plynu do plamene. Svislá část rourky ústí uzounkým otvorem o do širší trubice, jež právě v téže výši jest opatřena dvěma postranními okénky, jimiž přitéká okolní vzduch, a smíchav se se svítiplynem, stoupá kahanovou rourou R k jejímu hornímu otvoru. Tam se směs obou zapaluje. Válcovitá uzávěrka U, opatřená též dvěma otvory stejně velikými jako vnitřní roura proti sobě, má ten účel, aby jí bylo možno řídit množství vzduchu jdoucího k plameni. Otočí-li se U tak, aby otvory O byly oba zakryty, hoří svítiplyn za špatného přístupu vzduchového, plamenem zapalují se částice uhlíku tak, že plamen žlutě svítí a čadí. Čím více však otevřeme otvory O, tím více vzduchu se míchá se svítiplynem a tím l é p e se částice uhlíkové spalují. Plamen přestává svítiti žlutě a jeví se jen slabě zamodralý. Je-li otevřen přístup vzduchu na plno, vytvoří se uvnitř plamene ostře ohraničený kužel a plamen zaznívá zvláštním rachotem.

Různé části plamene mají teplotu nanejvýš vysokou, o čemž se můžeme přesvědčiti, položíme-li přes horní konec roury R do plamene třísku dřeva. Uprostřed dřevo neshoří, nýbrž jen na okrajích plamene, z čehož plyne, že v ose plamene jest teplota nejnižší, nejteplejší jest plášť a hrot plamene.

Chceme-li správně zapáliti plamen na kahaně, musíme klásti sirku k okraji horního otvoru roury R, nikoliv do osy. Neboť pak by se vznítíl svítiplyn uvnitř kahanu již od zúženého otvoru o, kahan by se tím uvnitř zahříval a mohla by se od horké trubice T vznítiti i kaučuková hadice. Tento nesprávný způsob hoření kahanu prozradí se obyčejně z á p a c h e m pálicího se plechu, po případě kaučuku, i zvláštním svištivým z v u k e m. Tu jest dobře hned plamen uhasiti zatažením kohoutku na

plynovém potrubí, nikoliv na kahanu samotném, neboť kohoutek kahanu bývá již tak zahřát, že bychom se o něj popálili. U některých kahanů bývá horní otvor roury R překryt hustou sítkou (značeno v obr. 85 tečkováním), jež, jsouc dobrým vodičem tepla, má ten účel, aby zamezila vznícení svítiplynu uvnitř kahanu.

Ježto svítiplyn se vyrábí pražením z uhlí, musíme jej též počítati k palivům, jež nám dává vlastně příroda působením světla a tepla slunečního. Sluneční záření podporuje vzrůst rostlinstva, stromové, jež nám poskytuje palivové dříví. Ložiska uhlí v zemi nejsou nic jiného než zkamenělé dávnověké rostlinstvo, které též rostlo vlivem zářivé energie sluneční. A ostatní paliva, nafta a její produkty (petrolej, benzín), líh i antracit i koks jsou zase dary přírody vhodně upravené, tedy obsahující zase nashromážděnou a přeměněnou energii slunečního záření. Jest tedy Slunce hlavním a skoro jediným dodavatelem všeho tepla na naší Zemi.

# REJSTRÍK VECNÝ:

	Strana
Adiabatický	154
aluminothermie	250
anisotropický	67, 229
anomalie vodní	80
antipasát	237
atmosféra	34
atom	106
Bolometr	242
bod mrazu	21, 34
„ rosný	219
„ tání	176
„ trojný	214
„ varu	21, 34, 192
Cirkulace	236
číslo Avogadrovo	107
článek thermoelektrický	40
Destilace	199
dilatometr	72
dyna	127
Ekvivalent mechanický	
tepla	170
ekvivalent tepelný	
práce	170
energie	171, 248
expanse	86, 209
Fáze	178
flogiston	162
fluidum	165
Graf	28
gramatom	109
grammolekula	109
hmota specifická	70
hodnota vodní	140
hustota	71
hutnota	104
Ideální plyn	112
invar	64
isobarycký	87
isochorický	87
isolátor	226
isothermický	102
isothermy	109
isotropický	67
Kahan Bunsenův	251
„ ochranný	230

	Strana
kalibrace	31
kalorie Bunsenova	138
„ malá	136
„ Maxwelllova	138
„ průměrná	138
„ Regnaultova	138
„ velká	136
kalorimetr ledový	186
„ parní	153
„ směšovací	141
kámen kotelní	231
kapacita	139
kapalina přechlazená	178
kapalina tekavá	191
kapilární	31
kapilární	31
kilogrammetr	167
koefficient rozpínavosti	95
„ roztažn. délkové	58
„ „ objemové	65
„ „ absolutní	77
„ „ relativní	77
koefficient vodivosti	229
kondensace	198
konstanta plynová	103
„ solární	245
kov Woodův	180
kyvadla kompenzační	121
Litratmosféra	108
Manometr 36, 193, 194, 197	
molekula	68, 106
Nádoba Dewarova	225
napětí	86, 209
nepokoj	121, 124
Objem specifický	82, 187
Pájka klempířská	180
pára	189
„ nasycená	207
„ přehřátá	215
pasát	237
přehřátí kapaliny 37, 196	
plyny permanentní	222
proudění	235
pyrheliometr	244
pyrometr	42



	Strana
Radiátor	239
radiometr	241
radioaktivní	247
redukce měření délko- vých	125
redukce měření baro- metrických	126
regulace	181
regenerativní	224
rozpínavost plynů	86, 92
roztlačnost	49
„ délková	55
„ kapalin	72
„ objemová	65
roztlačnost plynů	86, 88
Sálání	238
směs chladicí	176
„ thermoskopická	227
spád teplotní	228
srážení par	198
stav kritický	220
stav tepelný	10
stavová rovnice	98
sublimace	188
„ dolů	199
Šíření tepla	226
Tání	174
temperatura = teplota	11
teorie emisní	242
„ vlnivá	243
teplo atomové	148
— molekulární	149
— specifické	139
„ skupenské tání	177
„ „ tuhnutí	178
„ „ varu	204
„ „ vypařov.	200
„ spalné	250
teploměr Celsiův	24
„ diferenční	17, 239
„ elektrický odpor.	40
„ extrémní	44
„ Fahrenheitův	21
„ Ferdinandův	19
„ Galileův	14
„ Guerickův	15

	Strana
teploměr kapalinový	18
„ kovový	114
„ lékařský	44
„ maximo-minim.	46
„ metastatický	43
„ normální	120
„ plynový	117
„ Réaumurův	23
„ Reyův	18
„ Schottův	16, 17
teplota	11
„ absolutní	96
„ kritická	220
thermograf	49
thermoskop	13
tlak kohesní	113
tuhnutí	174
Vakuum	210
var	191
vedení tepla	226
„ „ vnější	228
„ „ vnitřní	228
vitr pobřežní	237
„ požární	237
vlhkost absolutní	219
„ relativní	219
vodíc tepla	226
výhřevnost	250
vypařování	188
vytápění ústřední	203
Záklopka ochranná	197
zákon Archimedeův	74
„ Avogadrův	107
„ Boyle-Mariotteův	98
„ Daltonův	214
„ Dulong-Petitův	148
„ Fourierův	229
„ Gay-Lussacův	88
„ Joule-Koppův	150
„ spojený	102
„ zachování energie	171
zapalovadlo vzdušné	155
záření	238
„ infracervené	243
zdroje tepla	244
zkapalňování plynů	221
Žárové měřicí stroje	131

# O B S A H

	Strana
Předmluva - - - - -	5
U vod (1—3) - - - - -	7
O stavu tepelném a jak se zjišťuje (4—8) - - - - -	10
O teploměrech kapalinových (9—15) - - - - -	18
O výrobě teploměrů (16—19) - - - - -	31
O zvláštních teploměrech (20—25) - - - - -	38
O roztažnosti teplem (26—28) - - - - -	49
Roztažnost délková látek tuhých (29—32) - - - - -	55
Roztažnost objemová látek tuhých (33—36) - - - - -	66
Roztažnost kapalin (37—44) - - - - -	72
Roztažnost a rozpínavost plynů (45—50) - - - - -	86
Stavová rovnice plynová (51—60) - - - - -	98
Praktické užití roztažnosti teplem (61—66) - - - - -	114
Jak měříme množství tepla? (67—76) - - - - -	134
Co jest teplo? (77—80) - - - - -	160
O změnách skupenství (81—88) - - - - -	174
O parách a plynech (89—92) - - - - -	207
Jak se šíří teplo? (93—96) - - - - -	226
O zdrojích tepelných (97—100) - - - - -	244
Rejstřík věcný - - - - -	254

# OMYLY TISKOVÉ

Str.	14. ř.	5. shora	má býti	měřicí	místo	měřicí.
"	17. "	11. zdola	"	$K_2$	"	$K.$
"	18. "	2. shora	"	$K$	"	$K_1.$
"	27. "	18. "	"	$10 \cdot \frac{4^0}{5} R$	"	$10 \cdot \frac{4^0}{5} R$
"	27. "	19. "	"	$45^0 C.$	"	$45^0 C.$
"	27. "	7. zdola	"	$-12 \cdot \frac{5^0}{4} C$	"	$-12^0 \frac{5^0}{4} C$
"	27. "	4. "	"	$(-22-32) \cdot \frac{5^0}{4} C$	místo	$(-22-32) \frac{5^0}{9} C$
"	51. "	15. zdola	"	Obr. 23	"	Obr. 22.
"	63. "	6. "	"	pak	"	tak.
"	69. "	3. "	"	$\beta$	"	$\beta_1.$
"	73. "	8. shora	"	Arcit	"	Arcit.
"	77. "	6. "	"	$100^0 C$	"	$100 C$
"	82. "	2. shora	za slovem „než“	vypadla slova: dolní: pak již není totiž nejstudenější voda v nádobě specificky nejtěžší, nýbrž jest lehčí než...		
"	85. "	19. shora	má býti klesati,	přidá-li se lihu více. místo klesati.		
"	91. na ř. 10.	shora	má býti rovnice, která jest na řádku 16. shora, a naopak.			
"	91. "	1. zdola	má býti $\gamma$	místo $\gamma$ (obrácené lambda).		
"	95. "	23. "	"	hladinu	"	hladinou.
"	95. "	9. zdola	"	$\gamma'$	"	$\gamma.$
"	95. "	11. shora	"	$273^0$	"	$273^3.$
"	99. "	5. shora	"	platí pro	místo platí i pro.	
"	105. "	8. zdola	"	ve 3 a 4. členu	úměry $T_0$ místo $T.$	
"	112. "	12. zdola	"	$\frac{a}{V^2}$	"	$\frac{a}{V^2}$
"	113. "	22. shora	"	$\frac{a}{V^2}$	"	$\frac{a_1}{V^2}$
"	127. "	20. zdola	"	stg	"	stg.
"	127. "	9. "	"	stg	"	st.
"	128. "	5. shora	"	$(1+\alpha t)$	"	$(1-\alpha t)$ ;
"	129. "	21. zdola	"	vyčtená	"	vytčená.
"	130. "	10. shora	"	$17 \cdot 4^0 C$	"	$17 \cdot 4 C.$
"	132. "	5. zdola	"	jest	"	est.
"	143. "	2. shora	"	z	"	s.
"	143. "	7. "	"	směšovacím	"	směrovacím.
"	143. "	10. "	"	určování	"	urovnání.
"	143. "	10. zdola	chybí zlomková čára.			
"	144. "	9. shora	má býti	$0 \cdot 033 \text{ kal.}$ " $8 \cdot 033 \text{ kal.}$		

Str	144.	ř.	13.	zdola	má	býti	ji	místo	ji.
	151.	„	17.	shora	„	„	<b>t<sub>ic</sub></b>	„	<b>t<sub>ie</sub></b> .
	156.	„	4.	zdola	„	„	$\sigma_1$ .	„	$\sigma_1$ .
	157.	„	4.	„	„	„	shodnou	„	shodou
	159.	„	3.	shora	„	„	$\alpha$ . <b>Cp</b>	„	$\alpha$ . <b>Cp</b> .
	186.	„	10.	shora	„	„	skupenské	„	stupenské.
	188.	„	12.	zdola	„	„	107 kal.	„	107 kal.
	204.	„	12.	„	„	„	par	„	páry.
	207.	„	14.	„	„	„	vyvařil	„	vypařil.
	216.	„	11.	„	„	„	<b>51.</b>	„	<b>50.</b>
	218.	„	17.	shora	„	„	isobarycky.	„	
	225.	„	9.	„	„	„	—57·0°	„	—570°
	246.	„	4.	„	„	„	Vymýtiti	„	vymítiti.