

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

J. Najman

O tlaku světelného záření. [I.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 36 (1907), No. 3, 271--292

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122597>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1907

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



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

Majíce zření ke vzorci (20^b) můžeme tuto rovnici psáti též ve tvaru

$$\mathbf{a} \times [\mathbf{b} \times \mathbf{c}] = \mathbf{a} \cdot (\mathbf{cb}) - \mathbf{a} \cdot (\mathbf{bc})$$

čili

$$\mathbf{a} \times [\mathbf{b} \times \mathbf{c}] = \mathbf{a} \cdot (\mathbf{bc})_c - \mathbf{a} \cdot (\mathbf{bc}), \quad (97^a)$$

neboť sdružená hodnota dyady $(\mathbf{bc})_c = \mathbf{cb}$. Poněvadž však obdržíme týž součin, násobíme-li vektor dyadou (jako postfaktorem) anebo sdruženou dyadu (jako praefaktor) týmž vektorem, bude také

$$\mathbf{a} \times [\mathbf{b} \times \mathbf{c}] = (\mathbf{bc}) \cdot \mathbf{a} - \mathbf{a} \cdot (\mathbf{bc}) \quad (97^b)$$

a podobně

$$[\mathbf{a} \times \mathbf{b}] \times \mathbf{c} = \mathbf{c} \cdot (\mathbf{ab}) - \mathbf{c} \cdot (\mathbf{ba}), \quad (98)$$

což jsou obecné vztahy hledané.

(Pokračování.)

O tlaku světelného záření.

Napsal prof. J. Najman v Rakovníku.

J. Kepler¹⁾ první vyslovil domněnku, že světelné záření působí tlakem. Nedovedl si totiž jinak vysvětliti vznik ohonů u komet odvrácených od slunce. Neboť jak praví, „je nemožno viděti paprsky v čistém etheru, jenž jest za kometami, leda by se vyskytovala za kometami nějaká látka, na niž by paprsky sluneční kometou procházející narážely“. Aby vysvětlil zakřivení ohonů komet, uvažuje, že „sluneční paprsky nemohou býti oblouky, ale přímky. Z toho plyne, že v ohonech komet přítomna jest látka od slunečních paprsků odpuzená a tím výronem látky za různých podmínek můžeme obdržeti zakřivení ohonu.“

I. Newton²⁾ byl toho názoru, že chvosty u komet vznikají z kouře neustále z jader komet vystupujícího, podobně jako stoupá kouř v atmosféře, a opouští náhled Keplerův dle jeho vlastní emanační theorie dosti pravděpodobný.

¹⁾ J. Kepleri »De Cometis«. Lib. secundus 1619. Opera Omnia 7, 100 Edit. Frisch Frankfurt 1868.

²⁾ Sir I. Newton, Mathematische Principien der Naturlehre. Herausgegeben von J. Ph. Wolfers 1872.

L. Euler o víc jak sto let později dovozuje nutnost světelného tlaku z undulační theorie Huygensovy ¹⁾. Srovnává vlny světelné s vlnami vzduchovými a je toho náhledu, že jako zvuk uvádí v pohyb lehké částice hmotné poletující vzduchem, tak i světlo má podobný účinek, třeba menší. Usuzoval z toho, že vlnění světelného etheru, o němž předpokládal, že má výchvěje longitudinální, ustavičnými nárazy může způsobiti konečný pohyb ve směru šíření.

Nejstarší pokus, provést experimentální důkaz existence tlaku světelného, pochází od de Mairana a du Faye ²⁾; pokusy jejich však, ač provedeny byly na tu dobu neobyčejně obratně, dávaly vlivem rušivých proudů vzduchových výsledky spletené a si odporující.

V témže století A. Bennet pokračoval v podobných pokusech, ale narazil na touž překážku. Rovněž Fresnel ³⁾ po celé řadě pokusů dospěl jen k tomu negativnímu výsledku, že odpuzivé síly zde přicházející nejsou ani elektrického ani magnetického původu.

Crookes ⁴⁾, sestrojiv svůj radiometr, byl toho domnění, že silou zde působící je radiační tlak, a že odpuzování tu vzniká z rozdílů tepelných na povrchu přístroje a skleněného obalu prostřednictvím plynného residua, a že na začerněné straně desek mlýnku se plynové molekuly prudčeji odrážejí; i považuje zjev ten za skvělý doklad molekulární plynové theorie. ⁵⁾ Z úbytku výchvějů uvnitř radiometru kmitající desky usuzuje též na vnitřní tření plynu, jež se jeví odporem proti pohybu; našel pak, že vnitřní akce plynová při jistém tlaku dosáhne svého minima, čehož později užili Nichols a Hull ve svých měřeních.

F. Zöllner ⁶⁾ však ukázal, že radiometrické síly pozorované Crookesem převyšují světelný tlak aspoň 100.000-krát a na zá-

¹⁾ L. Euler, Histoire de l'Academie Royale de Berlin 2, 121, 1746.

²⁾ De Mairan. *Traité physique et historique de l'Aurore Boréale* II Ed. p. 371. Paris 1754.

³⁾ A. Fresnel, Ann. Chim. et Phys. 29, 57, 1825.

⁴⁾ Crookes, Phil. Transact. p. 501, 1873.

⁵⁾ E. Wiedemann, Beiblätter 1877, p. 73.

⁶⁾ Pogg. Ann. 160, 154, 296, 1877.

kladě velikého množství pokusů s různě upravenými radiometry a rozmanitými způsoby osvětlení zavrhuje domnění, že by akce plynová vznikala z rozdílů tepelných na obou stranách křídel mlýnku a z proudění plynu anebo z reakce vzniklé vypařováním plynu pohlceného na osvětlených stranách desky a buduje novou hypotesu, dle které prý při dopadu vln etherových na povrch těles vznikají paprsky, jež jsou doprovázeny emisí hmotných částic ve směru paprsků a tyto pak reakcí způsobují posunutí. Není nezajímavé viděti v tom předtuchu velmi pomalých fotoelektrických paprsků katodových.

E. Pringsheim ¹⁾ soudí, že na otáčení mlýnku má vliv jak obal, tak uzavřený plyn a úprava křídel a hledí prozkoumati každý z těchto účinků zvláště i dochází k závěru:

1. Z oteplené části obalu vychází do zředěného prostoru tlak, jehož přibývá s teplotou plochy.

2. Teplo plynu přivedené nemá asi vlivu pro značné zředění.

3. Účinek křídel závisí od různé jakosti obou povrchů křídla, různosti tvaru a rozdílu teplot na obou stranách, a ozářené křídlo ustupuje tou stranou, jež plynu odevzdává více tepla.

Nejistota a různost mínění, jež panuje o příčinách pohybu v radiometru, spočívá asi v tom, že zákonitá souvislost jich je zastřena řadou účinků, jež se navzájem doplňují a splétají; proto přes to, že radiometrická literatura je dosti značná, nedalo se dosud vysvětlení úkazů těch postavit na pevnou basi.

Ježto velmi obtížné experimentální vyšetření tlaku světelného záření dlouho nevedlo k cíli, zpracován byl problém ten v posledních třiceti letech nejdříve po theoretické stránce. Byl to především Maxwell ²⁾, který zkoumal ve své elektromagnetické theorii světla ponderomotorické síly, které se vyskytují ve střídavém poli elektromagnetickém světelného paprsku. Dle jeho, Hertzem opravených výpočtů, jest úhrnná elektromagnetická energie světelného paprsku obsažená v krychlové jednotce

$$E = \frac{K}{8\pi} P^2 + \frac{\mu}{8\pi} Q^2,$$

¹⁾ E. Pringsheim, Wied. Ann. 18, 1, 1883.

²⁾ J. C. Maxwell, Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus. Übers. von B. Weinstein 1883, § 792.

kdež P a Q značí resp. střední elektromotorickou a magnetickou sílu, K specifickou induktivní kapacitu a μ permeabilitu media, v němž se vlny šíří.

V elektricky polarisovaném mediu působí však na 1 cm^2 tlak ve směru elektrických silokřivek $p = \frac{K}{8\pi} P^2$, jež se rovná elektrické energii obsažené v krychlové jednotce a podobně v magneticky polarisovaném mediu tlak $\frac{\mu}{8\pi} Q^2$. Oba tyto tlaky musí býti spolu rovny, ježto, má-li elektrická síla maximum, je magnetická rovna nulle a naopak, a úhrnný obnos energie musí zůstatí stejný. Působí tedy ve směru šíření paprsku tlak $2p$, jež se rovná světelné energii obsažené v krychlové jednotce.

Na základě tohoto důležitého poznatku vypočítává Maxwell tlak světla slunečního z mohutnosti slunečního záření, odhaduje jej na 0.4 mg na 1 m^2 , a přechází k tomuto závěru: „Koncentrované elektrické světlo bude působiti pravděpodobně tlakem ještě větším, a není nemožno, že paprsky toho světla, dopadnou-li na tenký kovový lístek jemně zavěšený ve vakuu, způsobí pozorovatelný mechanický efekt.“

Tento obnos slunečního tlaku lze dle Riecka¹⁾ vypočísti takto: Je-li solární konstanta (t. j. energie dodaná sluncem absolutně absorbujícímu tělesu plochy 1 cm^2 k paprskům kolmé v ergech vyjádřená) při horní hranici atmosféry rovna 3 g cal/min , je přírůstek mechanické energie na 1 cm^2 za sekundu roven $\frac{3 \cdot 4.2 \cdot 10^7}{60} = 2.1 \cdot 10^6 \text{ erg za sec.}$ V jedné sekundě však bude na černé plošce velikosti 1 cm^2 absorbována všechna energie, jež je obsažena ve sloupci o délce $3 \times 10^{10} \text{ cm}$.

Jest tedy energie v 1 cm^3 a tedy i tlak na 1 cm^2 roven $\frac{2.1 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^{10}} = 0.7 \cdot 10^{-4} \text{ erg}$. Volíme-li pro prázdný prostor $\kappa = 1$ a $\mu = 1$, lze odtud určití též velikosti elektrických a magnetických sil; jest pak $P = Q = 0.03 \text{ dyn}$. Elektrická síla odpovídá potenciálnímu rozdílu asi 9 Volt na 1 cm , a magnetická

¹⁾ E. Riecke, Lehrbuch der Experimental-Physik 1896, p. 459.

síla asi sedmému dílu naší horizontální složky zemského magnetismu.

Zcela nezávisle od Maxwella odvodil Bartoli ¹⁾ na základě úvah thermodynamických, že velikost tlaku záření rovná se obnosu vypočtenému Maxwellem. Bartoli totiž udává zvrtné processy kruhové, jež proměňují energii obsaženou v prostoru ozářeném pomocí pohyblivých odrážejících ploch v mechanickou práci, aplikuje na ně druhou větu thermodynamickou a vypočítává odtud tlak záření. Jak uvádí Boltzmann ²⁾, vychází Bartoli ze stanoviska, že v prostoru naplněném zářením tepelným, obsaženo býti musí konečné množství pohyblivé energie ve formě záření, jež může tělesu uvnitř uzavřené plochy umístěnému stažením té plochy býti přivedena. To těleso by doznalo zvýšení teploty na úkor svého okolí o téže teplotě, což se přiči druhé větě thermodynamické. Nemá-li tato padnouti, jest Bartoli nucen předpokládati, že tepelné vlny působí tlakem podobným tlaku vln vzduchových při zvuku. Předpokládá, že kolmý tlak záření všude stejného jest jen funkcí teploty tohoto záření. Zvrtný cyklus provádí pomocí čtyř uzavřených ploch A , B , C , D , jež se obklopují; D je vnitřní a A vnější. A a D vysílají tepelné záření a jsou absolutně černé; D je na teplotě vyšší t_2 a A na teplotě nižší t_1 . C a D nemají tepelnou kapacitu a vodivost a odrážejí záření dokonale. Cyklus provádí takto: Měž s počátku plocha B též objem jako plocha C , kterou na chvíli opatříme otvorem. Bude tedy na cm^2 plochy B působiti uvnitř tlak větší než zevně, plocha se roztáhne; ploše D odejme se jisté množství tepla, kdežto ploše A se jiné menší množství tepla přivede. Když se objem plochy B zvětšil o jistý obnos, uzavře se otvor plochy C , a B zvětšuje svůj objem dále bez přívodu tepla (adiabaticky). Tím se dostane ploše A nového množství tepla a práce tlakem záření na plochu B vykonaná má za následek snížení teploty zářící energie obsažené mezi B a C z t_2 na t_1 . Pak opatříme plochu B otvorem a při uzavřeném C zmenšíme objem plochy B tak, až zase pokrývá plochu C . Tím je dosaženo původního seskupení ploch a pochod se může znovu

¹⁾ A. Bartoli, Nuovo Cimento 15, 195, 1883.

²⁾ L. Boltzmann, Ann. der Physik und Chemie 22, 31, 1884.

opakovati. Bartoli aplikoval pak na ten cyklus druhou větu thermodynamickou a vypočetl pro tlak záření touž hodnotu (jako Maxwell); při tom mlčky předpokládal, že tělesa při pohybu v ozářeném mediu nepodléhají odporu podobnému tření. Toto nebylo by závislým od rychlosti pohybujících se ploch, za to však od teploty záření.

Bartoliho úvahy platí pro všechny formy paprskové energie v prostoru a mají tudíž všeobecnější ráz než rovnice Maxwellovy. Bartoli pokusil se též o experimentální potvrzení své theorie, což se mu však nepodařilo pro rušivé účinky vzduchových proudů.

K výpočtu světelného tlaku vedou tudíž dvě na sobě nezávislé cesty: thermodynamická a elektromagnetická.

Řídě se důsledky theorie Bartoliho našel Boltzmann ¹⁾, že v prostoru omezeném odevšad dokonale zrcadlicí plochou, v němž je energie záření stejnoměrně rozdělena ve všech směrech, tlak záření je roven třetině úhrnné hustoty energie; pak sestrojil si kruhový process, jímž energii záření v dutém prostoru obsaženou přivádí tmavým tělesům o různé teplotě. Z druhé věty thermodynamické, uživ Maxwell-Bartoliho vztahu, odvozuje pak Stefanův vzorec $S = konst T^4$, kdež S je energie záření pro těleso absolutně černé. Platnost zákona toho, který našel Stefan empiricky, verifikovali pro černou radiaci Lummer a Pringsheim ²⁾ v mezích od $17^{\circ} C$ do $1300^{\circ} C$ a později Lummer a Kurlbaum ³⁾ až k teplotě $1500^{\circ} C$. Tím byl podán nepřímý důkaz správnosti theorie Maxwell-Bartoliho a zároveň postaveny úvahy o záření na pevný podklad thermodynamický.

Podobně soudí i W. Wien ⁴⁾, že každý druh záření může vzniknouti z tepelné zásoby pevných těles a že obsahuje, nalézají-li se ve volném etheru v konečném prostoru, konečné množství energie, ježto rychlost záření je konečná. Řídí se tudíž energie záření zákony thermodynamickými nezávisle od jakosti zdroje. Vzniklo-li záření jen z tepla, a je-li v rovnováze tepelné, je nutně dokonale určeno objemem, hustotou a vlastnostmi energie.

¹⁾ L. Boltzmann, Wied. Ann. 22, 33, 291, 616, 1884.

²⁾ O. Lummer a F. Pringsheim, Wied. Ann. 63, 395, 1897.

³⁾ O. Lummer a F. Kurlbaum, Verh. d. deutsch. fys. Ges. 17, 106, 1898.

⁴⁾ W. Wien, Wied. Ann. 52, 132, 1894.

Je-li tedy uzavřené množství zářící energie v rovnováze, při které nemůže nastati výměna tepla, a vzniklo-li záření jen z tepla, plyne z toho, že se najisto dá určití jeho teplota a entropie. Wien našel pak vztah mezi délkou vlny záření a změnou objemu i odvodil odtud tak zvaný zákon o posunutí (Verschiebungsgesetz).

Maxwell udal ve své učebnici velikost napětí v elektromagnetickém poli jen pro ether. Je-li však specifická induktivní kapacita a permeabilita media jiná než v etheru, nerovná se tlak záření energii v 1 cm^3 . Užije-li se však hodnot udaných Hertzem, vyjde výše uvedený výsledek.

Dle theorie Lorentzovy ¹⁾ dá se najítí velikost tlaku záření pomocí povrchových sil na ploše obklopující ozářený prostor. Téhož výsledku došel i lord Rayleigh ²⁾ zavedením sil objemových. Svrá-li lineárně polarisovaná vlna s kolmicí úhel φ , působí na jednotku plošnou šikmým tlakem $E \cdot \cos \varphi$ a ten má komponentu normální $E \cos^2 \varphi$, již považovati můžeme za vlastní tlak, a komponentu tangenciální. To platí ovšem jen pro jediný paprsek, když reflexní koeficient $\rho = 0$. Dopadá-li však světlo šikmo na reflektor, tu je normální tlak $E(1 + \rho) \cos^2 \varphi$. Normální složky tlakové se sčítají, tangenciální se z části ruší. Prochází-li světlo průhlednou deskou neb hranolem, je výsledný ponderomotorický účinek resultantou tlakových sil paprsku odraženého a vystupujícího. Tedy světlo šikmo dopadající uvedlo by průhlednou desku v rotaci dvojicí tangenciálních složek. Při dopadu světla posune se těleso nejen jako celek, ale nastanou i uvnitř deformace, jež pozměňují vlastnosti etheru. Vliv těchto je však nepatrný, jak dokázal Goldhammer. ³⁾

M. Abraham ⁴⁾ vyšel z elektromagnetické theorie zavádí pojem pohybové veličiny (Bewegungsgroesse praegn. „pohyb“), jež je rovna hustotě energie dělené rychlostí záření. Energie v 1 cm^3 rovná se tedy pohybu dopadlému za 1 sekundu. Dle něho jest síla při dopadu rovnoběžného svazku světelného rovna

¹⁾ H. A. Lorentz, Enc. d. Math. Wiss. 5, 2, Art. 13, 1903.

²⁾ Phil. Mag. (5) 45, p. 522, 1898.

³⁾ D. Goldhammer, Ann. d. Physik (4) 4, 834, 1901.

⁴⁾ M. Abraham, Ann. d. Physik 14, 236, 1904.

obnosu pohybu deskou pohlčeného za sekundu. Jestliže naopak těleso energii vyzařuje, rovná se vzniklá zpětná síla velikosti pohybu tělesem za týž čas vyvinutému. Dopadá-li světlo na těleso vyzařující, je příslušná síla rovna přebytku tělesem zničeného pohybu nad pohybem vyslaným tělesem samým; je-li těleso černým, rovná se síla rozdílu pohybu dopadajícího a pohybu tělesem vyzářeného. Jedná-li se o reflektor, pak lze považovati dopadlé světlo za pohlčené a odražené za světlo vyzářené tělesem samým.

Goldhammer ¹⁾ považuje problém tlaku světelného za dosud nerozřešený pro případ absolutní absorpce a reflexe, neboť ponderomotorický účinek tlaku světelného podmiňuje dle něho nutnost napětí uvnitř těles, ale v absorbujícím prostředí nemohou účinkovati elektromagnetické vektory jako takové, leda bychom obě prostředí pokládali za opticky identická. Pak by však nepůsobilo světlo jednostranným tlakem. Při dokonalém odrazu pak jsou elektromagnetické vektory uvnitř rovny nulle.

Larmor ²⁾ je toho názoru, že elektromagnetický vektor při dokonalém zrcadle, t. j. tělese vodivém, způsobuje v povrchové vrstvě elektrické a magnetické proudy, jež kompensují účinek vnějšího pole uvnitř vodiče. Na tyto proudy působí pak magnetický a elektrický vektor paprsku kolmo ponderomotorickými silami a dává tím vznik tlaku. To vše se děje při dokonalém vodiči bez produkce tepla. Dle jeho theorie závisí tlak nejenom na hustotě energie, ale i na permeabilitě látky.

Problém tlaku záření na těleso v pohybu řešil Poynting ³⁾ na základě názoru, že zářící těleso pohyb ztrácí, kdežto absorbující pohyb získává, předpokládaje, že těleso vyzařuje totéž množství energie, ať je v pohybu nebo v klidu a že mechanická práce při pohybu zářícího tělesa se promění v energii záření. Jedná-li se o plochu vyzařující na jedné straně stále týmž směrem a pohybující se ve směru záření, je zpětný tlak na ni působící

$$p = \frac{E}{1 - \frac{c}{v}}$$

¹⁾ D. A. Goldhammer, Ann. d. Physik (4) 4, p. 834, 1901.

²⁾ J. Larmor, Phil. Mag. (6) 7, p. 578, 1904.

³⁾ J. K. Poynting, Radiation in the Solar system. Nature 70, p. 512.

kdež c je rychlost desky a v rychlost světla a E hustota energie v klidu.

Larmor ¹⁾ vychází z Dopplerova principu a dochází k závěru, že při pohybu tělesa změní se délka vlny záření, tedy i vibrační rychlost a vibrační energie v etheru, kdežto amplituda zůstává stejnou. Tlak kolmo na pohybující se zrcadlo dopadajícího světla vyjadřuje vzorcem:

$$p = 2E \frac{v - c}{v + c}.$$

Pro případ kolmého dopadu jest hustota energie na přední straně pohybující se desky rovna součtu energií dopadající a odražené vlny (Abraham ²⁾), ale tlak nerovná se energii v 1 cm^3 .

Pohybuje-li se těleso v prostoru prostoupeném zářením, bude na přední straně naň působiti větší tlak než na zadní, a vznikne odpor proti jeho pohybu. Tu domněnku vyslovil Thiesen ³⁾, jenž rovněž užil Dopplerova principu a našel, že odpor způsobený pohybem tělesa v prostoru všemi směry ozářeném

$$p = 2 \frac{c}{v}.$$

Ježto zářící těleso v pohybu dozná podobný odpor zmenšující vlastní jeho rychlost, vypočítává pak Thiesen ze Stefanova vzorce pro záření černé úhrnný odpor proti pohybu země vzniklý vyzařováním země samé. Přesnější výraz pro výše uvedený odpor odvodil také Abraham ⁴⁾.

Vedle uvedených fysiků snažili se problém tlaku záření theoreticky zpracovati též Galitzine, Guillaume, Heaviside, Drude ⁵⁾, Hasenöhrl ⁶⁾ a j. Drude vytkl zvláště jeho význam pro zákony záření, poslední pak pojednal o celém problému soustavně.

Působí-li vlny světelné tlakem ve směru šíření, je na snadě myšlenka považovati každý jiný druh postupujících vln za určité

¹⁾ Phil. Mag. (6) 7 p. 598, 1904.

²⁾ ⁴⁾ M. Abraham, Ann. d. Physik 14, 236, 1904.

³⁾ M. Thiesen, Verh. d. deutsch. fys. Ges. 3, 177, 1901.

⁵⁾ P. Drude, Lehrbuch der Optik p. 447, 1900.

⁶⁾ F. Hasenöhrl, Jahrbuch der Radioaktivität 2, 267, 1905.

quantum pohybující se energie. Tak dokázal lord Rayleigh, že prsteneček navlečený na chvějící se struně, o nějž se vlny odrážejí, dozná tlak rovný energii pohybové patřící jednotce délky struny a že také tlak zvukové vlny na odrážející plochu je roven hustotě její energie. Dle souhlasících výsledků, jež obdržel Altberg ¹⁾ pro zvukové vlny a Kapzov ²⁾ pro vodní vlny, můžeme viděti v tlaku světelného záření jen speciální případ tlaku vln různého druhu. Platnost toho dokázali lord Rayleigh ³⁾ a Larmor ⁴⁾ v novější době ve formě nejvšeobecnější pro libovolnou vlnu na základě principů mechaniky.

Přesnější kvantitativní vyšetření světelného tlaku a verifikace vzorce Maxwellova datuje se od r. 1900, kdy P. Lebeděv, profesor university moskevské, před internacionálním kongressem fysiků v Paříži ⁵⁾ popsal aparát a methodu, jichž užil ku měření světelného tlaku.

Než začal konati pokusy, byl Lebeděv toho názoru, že postup navržený Maxwellem dává málo naděje na úspěch, ježto dle zkušeností, které učinil Zöllner, Crookesův radiometrický tlak daleko převyšoval tlak světelný. Myslí, že jen taková úprava pokusu povede k cíli, kde radiometrické síly jsou úplně kompensovány; avšak po některých experimentálních zkušenostech nastoupil přece cestu vykázanou Maxwellem a měřil velikost světelného tlaku pomocí torsních vah ve vakuu.

Dle něho ⁶⁾ je provedení pokusů s tlakem světla stíženo dvěma překážkami. Jsou to:

1. Poruchy vzniklé konvekcí plynu. Ty vysvětluje tak, že i při nepatrném sklonu zrcádek u torsních vah k vertikální rovině nastává na osvětlené straně zahřátím sousedních partií plynu vzestupný proud vzduchový, jenž působí zpětným tlakem, který závisí jen od oteplení, ne však od směru, ve kterém pa-

1) W. Altberg, Ann. d. Physik (4) 11, 405, 1903.

2) N. Kapzov, Ann. d. Physik (4) 17, 64, 1903.

3) Lord Rayleigh, Phil. Mag. (6) 3, 338, 1902.

4) J. Larmor, Enc. Brit. 32 »Radiation« 1903.

5) Rapports présentés au Congrès international de physique Paris 1900, p. 133.

6) P. Lebeděv, Ann. d. Physik 6, p. 433, 1901.

prsky dopadají. Vliv ten hledí vyloučiti střídavým osvětlením obou stran zrcádek.

2. Poruchy vzniklé silami radiometrickými. Velikost jich dle něho řídí se tlakem plynu a útvarem i rozměry křídel torsních vah a balonu. Proto volil dle zkušenosti Crookesových balonů co možná veliký, křídla zhotovil z tenkého plechu, světlo balonem pohlcené hleděl vyloučiti paprskovým filtrem a zředění vyhnati co možná vysoko rtuťovou vývěvou za pomoci mrazivé směsi. Ježto radiometrické síly jsou přímo úměrný rozdílu teplot na osvětlené a tmavé ploše zrcádek, provádí příslušnou korekci tím, že koná současně pozorování na 2 stejných zrcátkách o různé tloušťce a najde počtem výchylku, kterou by světlo způsobilo, kdyby tloušťka desky byla rovna nulle, t. j. kdyby nebylo radiometrických sil. Reakční tlak, jenž by vznikl rozprašováním osvětlených ploch (dle Lenarda), nedal se zde zjistiti.

Lebeděv připisuje nejistotu ve svých měřeních hlavně poruchám vzniklým konvekcí, jež způsobují posunutí nulové polohy vah. Velikost tohoto posunutí závisí od zmíněných již rozdílů teplot na křídlech vah a stěnách balonku, ale vedle toho též od okolností často nahodilých, myslí však, že během jednoho měření dosáhne jen malého obnosu. Též náhlé změny v intenzitě zdroje světelného způsobují dle jeho pozorování rychlou změnu v amplitudě vah. Obě tyto závady snaží se eliminovati řadou pokusů.

K těm užil obloukové lampy o $30 A$ a kondensorem z čoček vrhal světlo na kruhovou šterbinu. Obraz její promítal pak pomocí čoček a zrcadel v úhlu 45° skloněných střídavě na obě křídla torsních vah ve skleněném balonu. Paprsky ultrafialové se pohltily již při prostupu skly, paprsky infračervené eliminoval vodním filtrem. Na jeho místo vkládal též rubínové sklo. Paprsek světelný z části odrazil a odraženým osvětloval thermoelektrický sloup o 5 článcích z konstantanu a železa. Prošlý paprsek nechal dopadati střídavě na torsní váhy trojího typu se zrcadélky různě zhotovenými: buď z platiny čisté neb opatřené černí, nebo z čistého alumina, niklu a slídy. Zrcadélka zavěsil na Cardanův závěs z tenkého platinového drátku na jemném vlákně skleněném. Pod vahami zavěsil zrcátko na odečítání dalekohledem, jež bylo platinováno rozprašením katody.

Evakuaci balonu prováděl Lebeděv Kahlbaumovou vývěvou, zjistil McLeodovým manometrem tlak až $0\cdot0001$ mm, a ten ještě zmenšil tím, že naplnil balon rtuťovými parami, jež pak srazil mrazivou směsí.

Vlastní měření prováděl tak, že určil direkční moment torse z doby kyvu vah, 1. když odstranil torsní váhy a 2. když zavěsil tam měděný drát o známé délce a váze. Z velikosti pozorovaných úchylek při dopadu světla určil velikost světelného tlaku na 1 cm^2 : $p = 0\cdot0000308 \pm 0\cdot0000017$ dyn.

Aby takto změřený tlak světelný mohl srovnati s vypočteným dle vzorce:

$$p = \frac{E}{v} (1 + \rho),$$

kdež p značí úhrnný tlak vzniklý dopadem i odrazem světla, E energii v 1 cm^3 , v rychlost světla a ρ koeficient reflexní, našel množství za sekundu dopadlé energie na křídla torsních vah kalorimetricky pomocí teploměru, který byl umístěn v měděném pouzdře, jehož dutina byla vyplněna rtuťí a světlo pohlcující plocha byla začerněna sazemi. Kalorimetr ten vystavil účinku světla po 5 minut, pak na touž dobu světlo zarazil, a to se opakovalo; odečtení se dalo každou minutu, a byla sledována rychlost oteplení a ochlazení teploměru, při čemž vzat byl zřetel na jeho retardační. Na základě grafického znázornění vypočteno bylo úplné na ztráty korigované odečtení kalorimetru pro výchylku 100° dílců u galvanometru. Obnos dopadající energie za sekundu obnášel

$$E = 7\cdot74 \cdot 10^5 \text{ ergů};$$

odtud tlak pro absolutně černé těleso

$$p = \frac{E}{3 \cdot 10^{10}} = 2\cdot58 \cdot 10^{-5} \text{ dyn.}$$

Koeficient reflexní změřil Ritchieovým fotometrem; nařídil totiž paprsek zprvu tak, aby dopadal přímo na papírový hranol a po druhé teprv po odrazu na plechu z téhož materiálu jako u zrcadel torsních vah a srovnával potom v obou případech intenzitu osvětlení s normálním zdrojem světelným.

Pozorovací chyby odhaduje Lebeděv sám na 20% pro světlo bílé, pro červené na obnos větší, ježto dopadající energie je tu daleko menší; zjemnění pokusů byla na závadu nestálost světelného zdroje.

Výsledky svých pozorování shrnuje Lebeděv takto :

1. Dopadající paprsek světelný působí jak na odrážející tak na absorbující plochu tlakem, který nezávisí ani od radiometrických sil ani od zjevů konvekce.

2. Tlak ten je přímo úměrný dopadajícímu množství energie a je nezávislý od barvy světla.

3. Velikost světelného tlaku souhlasí v dosahu pozorovacích chyb kvantitativně s ponderomotorickými silami záření.

„Lze považovati tudíž existenci Maxwell-Bartoliho tlaku pro světelné paprsky za experimentálně dokázanou.“

Prof. Lebeděv neuvedl však ve sděleních pařížského kongressu fysiků žádných numerických dat aniž obnos pozorovacích chyb, až teprve po publikaci předběžných pokusů, jež provedli E. F. Nichols a G. F. Hull. Dle úsudku jejich dokazují sice Lebeděvovy pokusy existenci tlaku záření, nepodávají však dostatečné kvantitativní odůvodnění theorie Maxwell-Bartoliho.

Nichols a Hull ¹⁾ zdokonalili metodu Lebeděvovu a podal přesná měření tlaku záření při 8 různých tlacích plynu. Před pokládali, že přitažlivé nebo odpudivé síly akce plynové jsou funkcí 1. rozdílu teplot tělesa absorbujícího část tepelného záření a okolí a 2. tlaku plynu jej obklopujícího. Ježto zvláště účinek tlaku jevil se jim komplikovaným a poměrně těžko vysvětlitelným, užili takových zařízení a pozorovacích method, které by jej redukovaly na minimum; k tomu upotřebili těchto zkušeností:

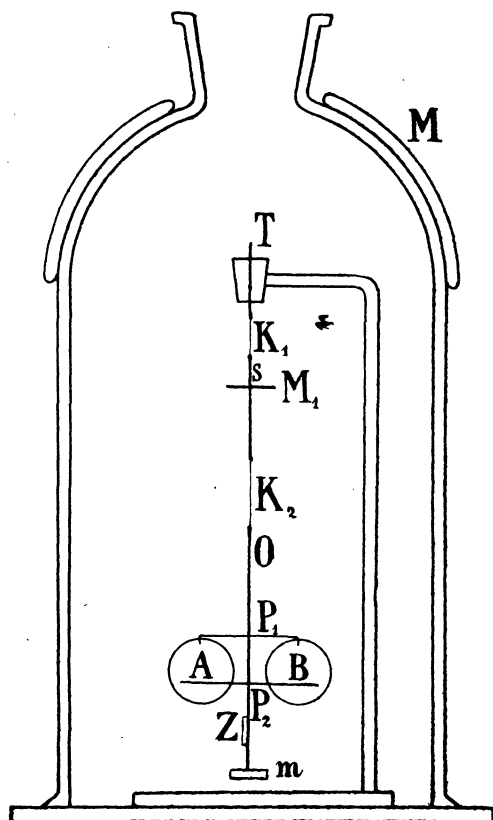
1. Odrážecí plocha má býti reflektorem co možná dokonalým; pak je malá absorpce a nastane tudíž malé zvýšení teploty, kdežto tlak záření se přibližně zdvojnásobí.

2. Účinek tlaku plynu při dopadu světla stálé intensity jest nejmenší při určitém zředění.

3. Torsní váhy sloužící k měření radiačního tlaku mají býti co možná symmetricky konstruovány a tak zřízeny, aby,

¹⁾ F. E. Nichols a G. F. Hull, The Phys. Review, 13, 307, 1901, ibid. 16, 180, 1903, ibid. 17, 26 a 91, 1903. Ann. der Phys. 12, 225, 1903.

působila-li akce plynu v prvném případě souhlasně s tlakem záření, při opačném zavěšení působila proti němu, čímž se vyloučí její vliv.



Obr. 1.

4. Expositci třeba zkrátiti, ježto tlak záření působí okamžitě, kdežto akce plynů přibývá s délkou ozáření k maximu (doba 2 až 3 min.). Výhodno jest tudíž užití metody ballistické.

Aparát jejich měl podobu torsních vah (obr. 1.). Na lehounké skleněné ose O zavěšena byla na háčkách na kolmé příčce skleněné P_1 2 tenká postříbřená krycí sklíčka A , B 0.17 mm silná,

12·8 mm v průměru; každé z nich vážilo 51 mg. Příčka P_2 držela je v téže rovině. Vespod upevněno bylo postříbřené zrcátko Z v rovině kolmé ke sklíčkům A a B a závaží m (452 mg). Váhy zavěšeny byly na skleněné tyči S pomocí ocelové tyčinky posuvné T a dvou křemenových vláken K_1 a K_2 . Mezi těmito bylo skleněné vlákno s příčným magnetem M_1 . Přístroj byl umístěn ve skleněném poklopu, jehož hrdlo spojeno bylo s Geisslerovou vývěvou a tlakoměrem. Polokruhovitým magnetem M dal se magnet M_1 stočiti tak, aby mohly také obrácené strany sklíčků A a B býti vystaveny účinku světla, a aby mohla býti provedena kontrola nullové police torsních vah.

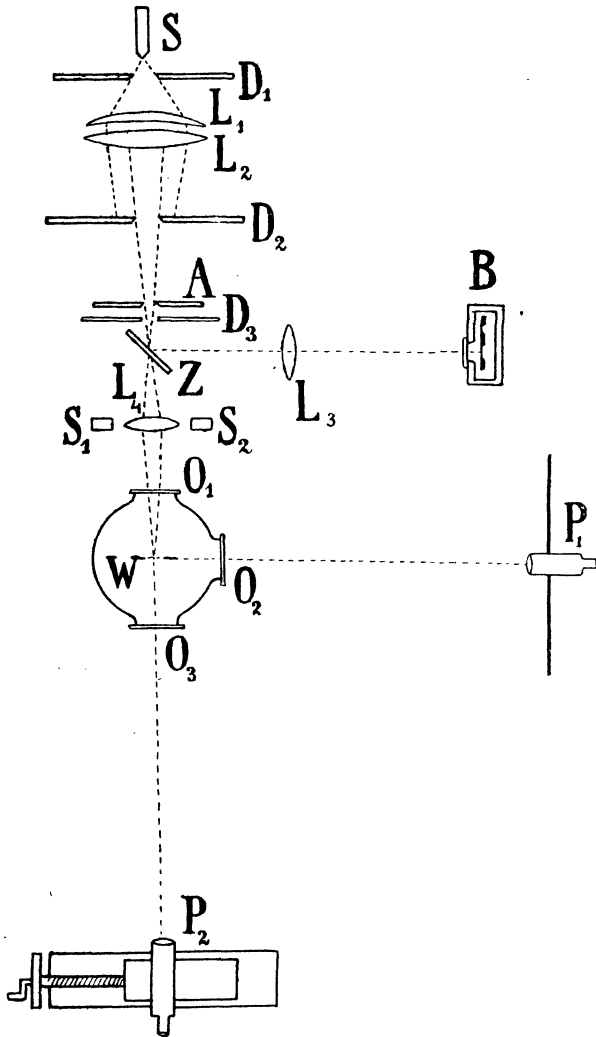
Zařízení pokusu znázorňuje obraz 2. Světelným zdrojem S byl oblouk lampy na střídavý proud o úhlech o 90° k sobě skloněných, z nichž vertikální zastíněn byl asbestovým stínítkem D_1 . Světlo čočkami L_1 a L_2 sebrané vrženo bylo na diafragma D_2 , jež propouští pouze paprsky centrální, které projdou zásuvkou A uváděnou do pohybu magnetickým přístrojem, jež je ve spojení se sekundovým dotekem přesných hodin; tu může pozorovatel v P_1 otevřítí neb zavřítí, když nastane kontakt.

Zrcadlo Z v úhlu 45° skloněné odráží část paprsku, jež prošel čočkou L_3 na bolometr B , kdež vzniká ostrý obraz otvoru D_2 . Prošlé světlo sebrané čočkou L_4 dává vznik jinému obrazu otvoru D_2 na torsních vahách W , jež jsou postaveny pod recipientem, opatřeným třemi okny ze skel planparalelních O_1, O_2, O_3 . Posune-li se čočka L_4 mezi sloupky S_1 a S_2 , přesune se obraz na pravé neb levé křídlo torsních vah. Pozorovatel v P_1 odečítá otočení vah na škále a v P_2 kontroluje polohu rotační osy a obrazu otvoru D_2 na křídlech vah, jež může odstraniti s cesty otočením kontrolního magnetu M o 90° .

Aby při měření radiačního tlaku nepůsobil rušivě vliv magnetických momentů, upevněn byl magnet M_1 a byla měřena perioda vah, když osa magnetu M byla ve vertikální rovině, desek a po druhé, když byla k nim kolma. Serie pokusů dávaly rozdíl 0·1 sek pro obě polohy.

Bolometr sestával z platinového lístku 0·001 mm silného, začerněného na 4 místech Kurlbaumovou černí a spojen byl s citlivým galvanometrem.

Přístrojem takto zařízeným provedli troje měření:
1. Kalibraci torsních vah.



Obr. 2.

2. Měření tlaku záření v hodnotách konstanty vah.
3. Změřili energii téhož paprsku v erg-sekundách nechavše

ho dopadnouti na začerněnou stříbrnou desku a pozorujíce zvýšení teploty.

1. Aby určili konstantu vah, odstranili desky A a B a měřili dobu kyvu; moment setrvačnosti vypočetli z rozdělení hmot. Našli pak moment torse pro odchylku 1 mm na stupnici 105 cm vzdálené rovným $0,363 \cdot 10^{-5}\text{ dyn cm}$. Ježto světelné obrazy na deskách A a B měly plochu asi 1 cm^2 , dostali tak, když dělili uvedený výraz poloviční vzdáleností obrazů, přibližně tlak záření na 1 cm^2 vyjádřený v dynách.

2. Při měřeních tlaku záření třeba bylo učiniti zdroj světelný stálým. Ježto intensita obloukového světla se střídavě mění až o 10% , odražena byla část paprsku na bolometr a všechny údaje tlaku záření převedeny byly na ten případ, kdy úchylnka galvanometru obnašela 100 dílců. Tím obešli nestálost zdroje. Čitlivost galvanometru vyzkoušeli na počátku a na konci měření.

Značný počet svých pozorování provedli jednak methodou statickou a jednak ballisticou. V prvním případě nechali světlo dopadati tak dlouho, až moment tlaku záření ve spojení s akcí plynu vyrovnal se momentu torse, a zaznamenávali body obratu. Odtud určili výslednici tlaku záření a akce plynové, již převedli na normální zdroj světelný. Pak otočili magnetem M torsní váhy o 180° a vystavili nepostříbřené strany desek A a B účinku světla, čímž vyloučili do jisté míry tlak plynu, který vznikal hlavně na postříbřených stranách desek. Světlo než dopadlo na torsní váhy prošlo řadou čoček a skel, tak že se dala absorpce skleněných stran desek A a B zanedbati. Ježto však proti nadání seznali z pokusů, že tlak záření na postříbřené straně desek je přece větší než na skleněné, nedal se vliv akce plynové touto methodou úplně vyloučiti.

Provedli tedy statická měření závislosti tlaku záření a akce plynové na době expozice při osmi různých tlacích v recipientu a to na skleněných stěnách desek a znázornili si závislost graficky, při čemž nanášeli úchylnky vah jako pořadnice a dobu expozice v sek. jako úsečky. Úbytek úchylnky s časem ukazoval na odpuzování plynu na zahřátých stříbrných stěnách a vzrůst její na ssání plynu; avšak při tlaku asi 16 mm probíhala křivka paralelně s osou úseček. Tu akce plynu měnila své znaménko

a byla tedy rovna nulle. Provedli tudíž Nichols a Hull skoro všecka pozorování při tomto tlaku.

Aby vliv obklopujícího vzduchu byl pokud možno ještě zmenšen, užili metody ballistické, kde je expozice tak krátká, že se vzduch nemůže rozprouditi. Při tom ovšem nesmí výchylka býti tuze malá, nemá-li utrpěti přesnost měření.

Je-li doba expozice rovna polovině periody, je úhel deflexní roven $\theta\sqrt{2}$, kdež θ značí úhel, při němž torse vlákna udrží v rovnováze tlak záření, nebereme-li ohled na útlum. Odchylna je tím zmenšena o 30%, ale efekt akce plynové v míře daleko větší. Nichols a Hull exponovali po 6 sekund t. j. $\frac{1}{4}$ periody. Tu pak je amplituda torsních vah v ballistickém měření rovna $1\cdot357 \theta$, zavede-li se do počtu útlum a zanedbá-li se vliv akce plynové.

Bylo záhodno zjistiti, zda závisí tlak záření jen na intenzitě paprsku dopadajícího a ne na délce vlny. Za tím účelem vkládali mezi čočku L_2 a diafragma D_2 desku z rubínového skla a nádobku s čistou vodou a provedli tak ballistická měření pro 3 zcela různé skupiny dopadající radiace. Výsledky převedli zase na normální úchylku galvanometru. Našli pak, že tlak světelného paprsku přijatého za jednotku při průchodu

vzduchem obnáší	$(7\cdot01 \pm 0\cdot023) \cdot 10^{-5}$ dyn,
červ. sklem obnáší	$(6\cdot94 \pm 0\cdot024) \cdot 10^{-5}$ dyn,
vodou obnáší	$(6\cdot52 \pm 0\cdot028) \cdot 10^{-5}$ dyn.

Dle Maxwella je tlak záření vyjádřený v dynách na 1 cm^2 pro kolmý dopad roven energii v ergech obsažené v 1 cm^3 . Odrazí-li se paprsek, je úhrnný tlak vzniklý i dopadajícím i odraženým světlem $p = \frac{E(1 + \rho)}{v}$.

Změřili tudíž E a ρ , našli odtud p a tento tlak vypočtený srovnali s výsledky, jež obdrželi pokusem.

Nichols a Hull měřili energii radiální dopadajícího paprsku na začerněné desce z čistého stříbra vážící $4\cdot8 \text{ g}$ o průměru $13\cdot3 \text{ mm}$ a tloušťce $3\cdot58 \text{ mm}$. Do desky vyvrtány 2 otvory paralelně ve směru průměrů; každý z nich byl vzdálen od stěny o $\frac{1}{4}$ tloušťky desky. Do otvorů vpraveny byly 2 thermoelektrické

články za sebou zařazené a od desky skleněnými kapillárními rourkami izolované. Deska byla zavěšena na 4 drátkách, jež vedly do kalorimetru obaleného bavlnou a naplněného kerosenem a odtud do Rubensova galvanometru o 4 cívkách. Do vedení zapjat odpor 1000 Ω , a v kalorimetru byly ponořeny konstantní termoelektrické články.

Ježto každý článek byl uprostřed mezi centrální rovinou desky a každou plochou, odpovídala elektromotorická síla při pomalém zahrnutí střední teplotě desky. Při měřeních energie byl skleněný poklop s torsními vahami odstraněn a nahrazen popsaným přístrojem. Stříbrná deska vložena byla pak do vzduchového prostoru uvnitř vodní lázně s dvojitými stěnami, jimiž procházela roura opatřená skleněným oknem stejným jako u poklopu skleněného, aby se dovnitř mohlo pustiti světlo. Kalibrace desky byla provedena při určité citlivosti Rubensova galvanometru a dávala průměrně 9·96 dílu škály pro 1° temperaturní difference.

Energie záření byla pak měřena rychlostí, s jakou rostla temperatura stříbrné desky, když procházela teplotou okolí. Za tím účelem vložena byla deska do vzduchové lázně s mrazivou směsí a tím její teplota snížena asi k nulle. Pak byla rychle přenesena do vnitřního prostoru vodní lázně a na desku byl nařízen světelný paprsek. Když teplota desky stoupla na několik stupňů pod teplotu této lázně, byla odečítána temperatura každých 5 sekund, až byla deska zahráta několik stupňů nad její teplotu. Podobně změřena byla teplota vnitřku vodní lázně tím, že deska byla ochlazená, vložena do lázně a sledována rychlost změny její teploty po několik minut. Aby se odstranily nesymetrie u termoelektrických článků, nanášeny byly černé povlaky stříbrné desky na obou stranách stěn stříbrné desky a byly vedle toho často obnovovány. Vzrůst temperature stříbrné desky za sekundu obnášel při postupu

$$\begin{aligned} \text{vzduchem:} & \quad (0^{\circ}0970 \pm 0^{\circ}00034) C, \\ \text{červ. sklem:} & \quad (0^{\circ}0946 \pm 0^{\circ}00036) C, \\ \text{vodou:} & \quad (0^{\circ}0884 \pm 0^{\circ}00064) C. \end{aligned}$$

Poněvadž specifické teplo stříbra při 18° $C = 0\cdot556$ kal. a mech. ekvivalent tepla při 18° $= 4\cdot272 \times 10^7$ erg, obnášela

energie jednotkového záření:

vzduchem:	$(1\cdot108 \pm 0\cdot004) 10^6$	erg za sek.
červ. sklem:	$(1\cdot078 \pm 0\cdot004) 10^6$	" " "
vodou:	$(1\cdot008 \pm 0\cdot007) 10^6$	" " "

Určení reflektivního koeficientu ρ pro obě strany desek C a D provedena byla bolometrem a vykonány tři serie měření na postříbřené straně a dvě serie na skleněné vzadu stříbrem pokryté straně desek, při čemž stříbrné povlaky byly často obnovovány. Reflektivní koeficienty obnášely v procentech

	vzduch-sklo	sklo-stříbro
při prostupu vzduchem:	92·0	77·6
" " červ. sklem:	93·0	76·2
" " vodou:	89·0	80·5.

Byl tudíž střední reflektivní koeficient vzduchem, červ. sklem i vodou roven 84·8%.

Podobně změřen byl reflektivní koeficient začerněných desek; ten obnášel 4·6%. Přispívá tedy jen 95·6% dopadající energie paprsku na zvýšení teploty. Pak skutečná energie je rovna pozorované energii dělené 0·954.

Ježto stříbrná deska měla větší průměr než křídla torsních vah, propouštěla tato z části radiaci, jež procházela kol křidel a skrz ně, kterou by stříbrná deska byla zachytila, a střední hodnota rozdílu toho obnášela při prostupu vzduchem 1·4%, červ. sklem 1·44%, vodou 0·46%. O ta procenta bylo tedy nutno energii záření zmenšiti. Srovnáním pozorovaného a vypočteného tlaku obdrželi při prostupu

	pozorovaný tlak v 10^{-5} dyn	vypočtený tlak v 10^{-5} dyn
vzduchem:	$p = 7\cdot01 \pm 0\cdot02$	$7\cdot05 \pm 0\cdot03$
červ. sklem:	$p = 6\cdot94 \pm 0\cdot04$	$6\cdot86 \pm 0\cdot03$
vodou:	$p = 6\cdot52 \pm 0\cdot03$	$6\cdot48 \pm 0\cdot04$

Rozdíly z těchto tří různých skupin vln připisují různé velikosti reflektivních koeficientů zrcadla v úhlu 45% pro různé λ a tomu, že značně se různící úchylnky galvanometru v těch třech případech nejsou zcela proporcionálně dopadající energii. Velikost plynové akce odhadli Nichols a Hull při metodě ballistické nejvýš na 1% a proto neberou na ni ohled.

Nichols a Hull přicházejí na základě těchto pozorování k závěru, že tlak záření závisí jen na intenzitě záření a ne na délce vlny, a že theorie Maxwell-Bartoliho je jimi v mezích pravděpodobných chyb potvrzena.

Celkem vzato, dělají pokusy Nichols-Hullovy daleko větší nárok na přesnost než Lebeděvovy dávající dobrý souhlas experimentálních dat s výpočty, k tomu přispívá i ta okolnost, že snažili se rušivé síly odstraniti předběžnými pokusy a ne na základě pouhých domněnek, a že jednotlivá měření, zvláště pak měření energie, provedena byla přístroji daleko citlivějšími.

Výsledky, kterých se dodělali Nichols a Hull, platí jen pro kolmý dopad světla. Poynting ¹⁾ zkoumal experimentálně též případ šikmého dopadu světla na absorbující plochu a tím jejich výsledky doplnil. Za tím účelem zavěsil absorbující desku kolmo na vahadla torsních vah a nechal na ni dopadat světlo v úhlu 45° . Úhrnný tlak rozloží se tu na složku normální a tangenciální. Jenom tato poslední složka může otáčeti torsními vahami. Z velikosti otočení bylo vypočteno množství energie dopadajícího svazku paprsků v kaloriích za sekundu a to se shodovalo s množstvím přímo měřeným.

Další zásluhou Poyntingovou ²⁾ jest, že dokázal existenci tlaku světelného při totální reflexi; mimo to měřil také tlak, kterým působí světelné záření na rozhraní dvou různých prostředí. Zavěsil totiž na vahadla torsních vah dva stejné hranoly skleněné tak, že lámavé hrany stály svisle a protilehlé stěny byly k sobě obráceny a postaveny kolmo k vahadlu. Světelný paprsek dopadal šikmo na první hranol, lomil se tak, že vycházel kolmo ven, procházel paralelně s vahadlem, dopadal kolmo na druhý hranol a prošel jím, vycházel paralelně s tím směrem, ve kterém na první hranol dopadal. Pozorovaný moment otáčivý způsobený dvojitým lomem světla shodoval se poměrně dosti s momentem vypočteným z energie paprsku dopadajícího, z indexu lomu skla a z úhlu dopadu; první vypadl sice asi dvakrát tak veliký, ale to se dá dobře vysvětliti pravděpodobností značných chyb, jež s těmito obtížnými pokusy jsou spojeny.

¹⁾ Poynting, *Philos. Magaz.* (6) 9, 169, 1905; též Hasenöhrl, *Jahrbuch der Radioaktivität* 2, 311, 1905.

²⁾ Poynting, *Philos. Magaz.* (6) 9, 402, 1905.

Jak patrně, zbývá tu ještě celá řada problémů čekajících na experimentální verifikaci. Velký dosah by pak zvláště mělo experimentální vyšetření účinku záření na plyny a to jak pro astrofysiku tak pro mechaniku molekulární. Neboť, jak uvádí Thiesen¹⁾, kdybychom připustili, že odpor obklopující radiace platí též pro pohyb plynových molekul, tu by se stal odpor ten veličinou téhož řádu jako váha molekul; a tedy nebude vůbec možno připustiti beze všeho možnost nerušených pohybů molekul.

Důsledků radiačního tlaku ve spojení s Newtonovým gravitačním zákonem užíli zvláště v novější době někteří fysikové ku vysvětlení celé řady astronomických zjevů, o čemž se hodlám zmíniti v čísle příštím.

Věstník literární.

Recense knih.

Ctibor Jan: Kupecká arithmetika pro obchodní akademie. Díl I. Vydání druhé.

Bylo-li již první vydání této knihy z r. 1890 knihou dobrou, účelu vyhovující, možno to tím spíše říci o nynějším druhém vydání, zejména o prvním díle (druhý díl vyšel již dříve). Nové vydání je u porovnání s prvním valně rozšířeno a obohaceno a to rozhodně ku svému prospěchu. Je zřejmé viděti, že knihu psal nejen dobrý matematik, ale i zkušený učitel. Při výkladech početních pravidel zavedena metoda, kterou zajisté schválí každý zkušený učitel, totiž že nejdříve se vyloží nová věc na příkladu a pak teprve se zevšeobecní. Slabou stránkou knihy je malé množství příkladů ke cvičení; je zde však již značný pokrok k lepšímu u porovnání s prvním vydáním. Pan autor je — jak z předmluvy viděti — toho mínění, že se spíše zachová methodický postup, dávají-li se příklady z paměti. Myslím, že platí opak a že je výhodno postupovati ve volbě příkladů dle plánu napřed promyšleného a sestaveného, kdežto sestavují-li se teprve příklady na rychlo ve škole, snadno se něco opomine a jiná věc zase zbytečně opakuje.

Co se týče jednotlivých oddílů, je předností knihy, že část o měrách, vahách a penězích je spojena se zkráceným násobením a dělením, čímž jedno i druhé stává se zajímavějším.

Panu J. Ctiborovi náleží zásluha, že první měl odvalu (již v prvním vydání Kupecké arithmetiky) vymýtiti z učebné knihy

¹⁾ M. Thiesen, Verh. d. deutsch. fys. Ges. 3, 177, 1901.