Werk

Label: Article

Jahr: 1888

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?31311028X_0017|log47

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

Počet členů této posloupnosti jest

$$\text{(III)} \qquad \sum_{\varrho=0}^{n-1} \psi(n-\varrho, \varrho) = n$$

a součet její

$$\text{(IV)} \qquad \sum_{\varrho=0}^{n-1} \Psi(n-\varrho, \varrho) = \frac{n(n+1)}{2}.$$

Vzorce (I) a (III) jsou totožny s oněmi, které vyvodil p. *Lerch* v pojednání napřed jmenovaném; vzorce (II) a (IV) obsahují výsledky, které pisateli těchto řádků odjinud známy nebyly.

O nejnovějších pracích v oboru zářivé energie.

Napsal

Dr. **Jos. A. Theurer**,
asistent fysikalního ústavu v Praze.

(Dokončení.)

1. Fotografie.

Veškeré výhody, které fotografická methoda poskytuje ve studiu části ultrafialové, do nedávna byly bez významu pro část infračervenou proto, že chemická působivosť paprsků na obyčejné fotografické desky nesahá za světlo modrofialové. Snahy pozorovatelů nesly se proto za cílem, nalézti látky, na něž by paprsky méně lomivé tak působily, jako paprsky nejkratší na Daguerrovy desky.

Skoro současně rozřešili otázku tu *Edm. Becquerel* a *Vogel* (r. 1873), kteří shledali, že lze připraviti desky fotografické, citlivé i pro paprsky delší, totiž žluté, zelené a červené, hlavně pak citlivými objevily se jodid stříbrnatý, jenž dává obraz spektra až ku čáře E, a více ještě bromid neb bromojodid stří-

brnatý, jež dávají obrazy až ku čáře B. *Becquerel* *) uvádí, že předběžnou krátkou exposicí fotografické desky připravené jodidem stříbrnatým dennímu světlu, podařilo se mu zachytiti i paprsky v sousedství čáry A, ba i některé v části infračervené. — Při pokusech, které *Vogel* konal (Pogg. Ann. 150) dosaženo citlivosti pro paprsky delších vln tím, že deska praeparovaná některou z uvedených stříbrnatých solí napuštěna byla ještě alkoholickými neb vodovými roztoky jistých barviv: osušená deska pak jeví se velmi citlivou pro místa odpovídající absorpčním pruhům užitých barviv. Tohoto úkazu přidržel se ve svých pracích *W. Abney* **) (r. 1879) který neznaje snad výsledků Becquerelových reklamuje pro sebe prioritu, zachytiti fotograficky světlo infračervené; v uvedeném pojednání zmiňuje se totiž pouze o jediném podobném pokusu, jejž vykonal r. 1877 *Waterhouse*, napustiv desku, jež AgBr obsahovala, kurkumou; podařilo se totiž touto deskou zachytiti obraz spektra, až něco za čáru A do části infračervené sáhajícího, „obrácený" t. j. takový, že části ozářené jevily se na negativu světlými, části neozářené pak temnými.

Práce Abneyova jest výsledkem mnoholetých pokusův, a uvádí též Abney podrobný postup, jak při pozorováních definitivních fotografické desky připravoval. Jako látky absorbující červené a infračervené paprsky užil jisté směsi kollodia a bromidu stříbrnatého, která v procházejícím světle jevila se blankytnou s nepatrným nádechem zeleným; připravoval pak směs tu z obyčejného kollodia, k němuž přidal určité množství bromidu zinečnatého, rozpuštěného ve směsi alkoholu a dusičné kyseliny; k tomu připojil něco dusičňanu stříbrnatého, rozpuštěného v horké vodě. Vzniklý tím bromid stříbrnatý prostupuje veškeré kollodium, a nutno jest ještě desku zbaviti dusičné kyseliny a dobře osušiti. Na desku takto připravenou dopadalo spektrum normální, odražené od velmi jemné Rutherfordovy

*) *Edm. Becquerel*: Sur la détermination des longeurs d'onde des rayons de la partie infra-rouge du spectre au moyen des effets de phosphorescence. C. R. 77. 1873. str. 304.

**) *W. de W. Abney-Festing*: On the influence of the atomic grouping in the molecules of organic bodies on their absorption in the infrared region of the spectrum. Phil. Trans. 172. II. (1881) str. 887—918.

mříže; aby pak jinorodé absorpci se vyhnul, užíval Abney místo čoček ve fotografickém apparatu konkavních stříbrných zrcadel; spektra vyšších druhů eliminoval ponejvíce velmi tenkou ebonitovou deskou. Uspořádáním tímto fotografoval Abney spektrum infračervené až do $\lambda = 1000$ s velikou jinak nedostižnou přesností a jemností: čítáť část od A až ku $\lambda = 1000\,\mu\mu$ 500 čar temných, a nakresleno jest spektrum to v rozměru velmi velikém, takže uvedená část má rozlohu 3 *m*. Hlavní čáry označeny jsou písmenami řecké abecedy a sice až do τ; za délkou vlny $\lambda = 1000$ byly chemické účinky paprsků již tak slaby, že nebylo lze nijakých čar více pozorovati, přece však jest pozorovati, že energie zářivá ještě dále se vyskytá. Aby o tom se přesvědčil, fotografoval Abney též spektrum hranolové, kde pro uvedenou deformaci působivosť paprsků se sčítá. Skutečně pak podařilo se ještě nalézti, že od $\lambda = 1000$ až as ku $\lambda = 1240$ ve spektru žádné temné čáry se nevyskytují, načež lze pozorovati při $\lambda = 1240$ dva temné pruhy, jež označil φ_1, φ_2, a něco dále jiné dva ψ_1, ψ_2 jejichž délka vlny extrapolací, podle zákona Cauchyova $\left(n = a + \frac{b}{\lambda^2}\right)$ obnášela by 2700 $\mu\mu$; v jedné z novějších svých prací redukoval *Henri Becquerel**) udání tato na 1115—1142 pro φ_1 a φ_2, 1351—1400 pro ψ_1 a ψ_2.

Vedle přímého upotřebení fotografie na studium části infračervené jsou ještě velmi důležity a zajímavy dedukce, které Abney na základě pozorování svých vyvodil pro fysiku molekulárnou. Množství energie zářivé proměněné v práci chemickou totiž měří se množstvím sraženého na příslušných místech stříbra; Abney pak konstatoval, že deska připravená BrAg jeví dvě maxima chemické působivosti, a sice jedno, odpovídající délce vlny $\lambda = 380$, druhé pak při $\lambda = 760$. Proto že tato délka vlny jest dvojnásobnou předešlé, soudí Abney, že nejsou maxima ta nahodilá, nýbrž že musí, má-li BrAg býti citlivým pro část červenou a infračervenou, míti molekula BrAg váhu dvojnásobnou proti stavu, kdy maximum pouze v části ultrafialové se vyskytuje, neboť jen tím dalo by se vysvětliti, že kmitá v onom pří-

*) *H. Becquerel*: Détermination des longeurs d'onde des raies et bandes principales du spectre infra-rouge. C. R. 99. 1884. str. 419.

padě dvakrát tak rychle, jako v tomto, čímž ovšem obě maxima by byla podmíněna.

Disponuje tak citlivou methodou, jako jest fotografie i v části infračervené, užil jí Abney v jiné své práci*) ku přesnějšímu provedení myšlenky Tyndallovy, souditi na poměry molekulární z účinků zářivé energie. Práce Tyndallovy, při nichž na zářivou energii nemohl souditi než z údajů thermoelektrického sloupce, udávají vlastně jenom souhrnné působení jisté partie spektra (tedy jakousi hodnotu integralní), a přece dosah jejich objevil se velmi velikým; jest tedy oprávněnou naděje, že prostředky nepoměrně citlivějšími, jimiž i detaily části infračervené vyniknou, podaří se další, podrobnější prozkoumání tohoto tak nesnadně přístupného pole. V uvedené práci zkoumá Abney absorpci některých sloučenin organických v části infračervené, fotografuje spektrum vytvořené 3 hranoly skleněnými. Výsledkem práce této bylo, že látky lze dle absorpčních spekter srovnati v jisté skupiny, jež souhlasí se skupinami v chemii užívanými. Různým radikalům totiž přísluší různé pro ně charakteristické čáry neb pruhy absorpční, takže *skupinu* lze rozeznati: postavení sloučeniny ve skupině však dosavád určiti se nepodařilo.

Jinou otázkou zmíněné práce bylo, která látka, sloučeninu tvořící, při absorpci jest nejdůležitější a nejpůsobivější; odpověď na tuto otázku jest výsledkem soustavně prováděné práce o absorpci různých látek, a zní, že hlavní příčinou a udavatelem absorpce organických sloučenin jest vodík; neboť určité absorpční čáry, jevící se při chloroformu, neobjevily se při CH_4, za to však při NH_3, HO_3N_2 a HCl, a rovněž v C_6H_6. Čáry absorpční, příslušící sloučeninám uhlovodíkovým s jodem, bromem neb chlorem, modifikují se, přistoupí-li k nim kyslík: tím totiž spojí se několik atomů vodíka těsněji, než dříve, což jeví se tím, že mezi dvěma neb více čarami veškeré světlo se shasí, takže nastane absorpční pruh omezený čarami uhlovodíkovými. Práci tuto Abney sám označuje jako práci předběžnou, dosavad však dalších výsledků (pokud nám známo) neuveřejnil.

*) *W. de W. Abney*: On the photographic method of mapping the least refrangible end of solar spectrum. (Backerian lecture). Phil. Trans. 171—II. 1880. str. 653—667.

2. Fosforografie.

Methoda tato, která starší jest než methoda fotografická pro část infračervenou, pochází myšlenkou od *Edmunda Becquerela* (1867). Až do té doby panovalo totiž všeobecně mínění, že fosforescence jistých látek způsobena jest ozářením jich paprsky fialovými a ultrafialovými — Becquerel však shledal svým fosforoskopem, že i paprsky méně lomivé mohou jistým způsobem na fosforující látky působiti, ne sice přímo jako paprsky nejlomivější, ale způsobem obráceným: dopadá-li totiž záření červené a infračervené na desku z látky fosforeskující, není patrného účinku; byla-li však deska před tím nějakou dobu exponována světlu dennímu, a potom na ni zachycena méně lomivá část spektra, objeví se její obraz, a sice buď takový, že ozářená místa temnějšími neb světlejšími jsou než neozářená. Výklad toho podává Ed. Becquerel*) jak následuje:

„Paprsky méně lomivé, působící jako teplo, hledí uvésti látku fosforeskující v původní její stav, způsobujíce, by vyslala totéž množství světla v době kratší, než by byla vyzářila v prostoře temné. Méně lomivé paprsky nejsou tedy vlastně příčinou světélkování, ale mohou *dočasně* působiti na látky světélkující, před tím dennímu světlu exponované; po jisté době pak již účinku žádného nejeví. Shasnutí, jehož jsou příčinou, není tedy podmíněno ničím jiným, než urychlenou emissí světla proti stavu tomu, který by byl nastal za obyčejných poměrů po ozáření desky paprsky lomivějšími.“ Jak tedy patrno, lze rozeznávati dvě fáse celého úkazu: v první fasi vydávají ozářené partie světlo rychleji než neozářené, pročež světlejšími jeví se místa ozářená než neozářená: v druhé pak jest z míst ozářených veškeré světlo již vydáno, jsou tedy temnější než místa neozářená. Obě fase pozoroval Edm. Becquerel svým fosforoskopem.

K bližšímu studiu části infračervené užil Edm. Becquerel pouze fase druhé. Fosforující látkou, na níž obraz zachycoval, byl hexagonální leštěnec, který jeví krátkou sice ale velmi živou

*) *Edm. Becquerel*: Recherches sur les effets lumineux, qui résultent de l' action de la lumière sur les corps. Compt. Rend. 69. (1869) str. 994—1004.

fosforescenci. V první toho druhu práci*) jsou výsledky nedosti uspokojivé: užívalť Becquerel pro nepatrnou intensitu spektra normalního, spekter interferenčních, které trpěly vadou, že interferenční pruhy ležely v infračervené části velmi blízko sobě. Přece však konstatoval záření až ku délce vlny as 1600 a pozoroval též absorpční pruh, jejž objevili Fizeau a Foucault. Teprvé v pozdější jedné práci r. 1877, kde pozoroval fosforeskujícím okularem, podařilo se změřiti jisté absorpční čáry v části infračervené, kteréž pojmenoval písmeny A s indexy. Udává pro A′ $\lambda = 840$, A‴ asi $\lambda = 1265$.**)

Celkem zůstala tato methoda málo povšimnuta, až znova na ni upozornil syn *Edm. Becquerela*, *Henri Becquerel*. Podrobným studiem látek světélkujících, z nichž každá nejcitlivější jest pro jisté paprsky, podařilo se mu nalézti látky velmi citlivé, kteréž při tom světlo vysýlaly zvolna, takže lze zachytiti první fási celého úkazu: místa ozářená jsou světlejší, absorpční pruhy temnější — obraz tedy „kladný.“ Protože látky fosforující byly velmi citlivy, bylo též lze užívati spektra normalního, vyvoděného Rutherfordovou mřiží; superponovaná spektra odděloval H. Becquerel od sebe hranolem sírouhlíkovým. Fosforující látkou byly mu destičky sirníku sodnatého, vápenatého, strontnatého a j.

Konečný výsledek prací, jež H. Becquerel o tomto předmětě vykonal***) jest as ten: záření stopoval dále než otec jeho, a nalezl v části infračervené celkem 27 absorpčních čar a pruhů, jež rovněž označil písmenou A s indexy. Hlavní z nich jsou:

$$A' \quad \lambda = \begin{cases} 934{\cdot}0 \\ 968{\cdot}0 \end{cases}$$

$$A'' \quad \lambda = \begin{cases} 1115 \\ 1142 \end{cases}$$

---

*) *Edm. Becquerel*: Sur la détermination des longeurs d'onde des rayons de la partie infra-rouge du spectre au moyen des effets de phosphorescence. Compt. Rend. 77. (1873) str. 302—304.

**) *Jamin*: Cours de physique de l'école polytechnique. Paris 1881. (Gauthier Villars) 3. svazek str. 179.

***) Compt. Rend. 96 (1883) str. 121, 1215; 97 (1883) str. 71; 99 (1884) str 417, 374. — Philos. Magaz. 15 (1883).

$$A''' \ \lambda = \begin{cases} 1351 \\ 1400 \end{cases}$$

$$A^{IV} \ \lambda = \begin{cases} 1800 \\ 1880 \end{cases}$$

Studuje též emissní spektra kovů poznal H. Becquerel, že mnohá z nich souhlasí s čarami absorpčními ve spektru slunečním, hlavně Na, Mg, Ca.

Fosforografická methoda objevila se po fotografické nejcitlivější; vzhledem k této má pak velikou výhodu tu, že lze jí konstatovati paprsky, jež už na desky fotografické nepůsobí. Co do stránky technické upozorňuje H. Becquerel, že oteplením roste citlivosť desk světélkujících, a sice v části infračervené a ultrafialové současně, ochlazením pak citlivosť ve vyzařování se umenšuje: jest tedy výhodno desky před exponováním zahřáti, jakmile však obraz se utvořil, ochladiti, neboť tím zachová delší dobu svou intensitu.

3. Bolometrie.

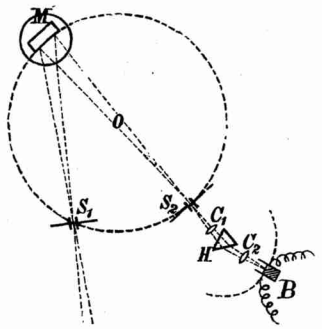
Pokrokem pro spektralní analysi epochalním dlužno nazvati vynalezení stroje, pro thermické účinky energie zářivé dosud daleko nejcitlivějšího. Stala se již o tom zmínka, že část infračervená objevena byla působením svým tepelným — že však pozorovací prostředky thermoskopické (obyčejně velmi jemné články thermoelektrické) nijak co do citlivosti nevyhovovaly potřebám a požadavkům dokonalejšího studia. V té příčině jest velmi dokonalým přístroj, který sestrojil *P. S. Langley* r. 1882 v Allegheny (Spojené Státy Sev. Americké), a který bolometrem se nazývá.

Základní myšlenka stroje toho podána byla v 84. svazku Poggendorffových Annalů *Swanbergem* a zakládá se na tom úkaze, že drát má při různých teplotách různou galvanickou vodivosť. Bolometr Langleyův sestává z jediného drátu, který jest napjat a spojen v uzavřeném galvanickém kruhu, opatřeném velmi citlivým galvanoskopem. Dopadá-li na drát tento záření, mění se dle intensity záření toho jeho teplota a tedy i vodivosť, kteréžto

změny lze konstatovati úchylkami jehly v galvanoskopu. Je-li místo galvanoskopu zapjat ve kruh galvanometr dobře kalibrovaný, lze z úchylek jeho jehly i quantitativní určení vykonati, neboť změna quantity dopadající energie zářivé jest úměrna změně teploty drátu bolometrického, a tím i změně intensity proudu, udávané galvanometrem. Ovšem že tu vedle všech ohledů, jichž dlužno šetřiti při měřeních elektrických, jest ještě zvláště důležitým požadavkem všemožná pozornosť a opatrnosť, aby žádné cizí záření nepůsobilo při pozorování na bolometr, kterémuž nesnadnému požadavku Langley co nejsvědomitěji snažil se vyhověti.

Již první práce Langleyovy,*) konané bolometrem, byly toho druhu, že všeobecná pozornosť k nim se obrátila. Protože pak od doby té uveřejněno jest velmi mnoho prací jeho jiných, z nichž mnohá překvapující a netušené výsledky obsahuje, nebude snad nezajímavo v hlavních rysech seznati methodu, kterou Langley svá měření konal.

Přístroj, kterého užíval Langley při svých nejdůležitějších prácech, nazval spektrobolometrem, a sice pro jeho zásadnou podobnosť se spektrometrem co do tvaru i užívání. V jistém místě děleného kruhu (obr. 1.) který jako při spektrometru jest



Obr. 1.

*) *Langley*: On the selective absorption of solar energy. Phil. Mag. 15. (1883) str. 153 a násl.; Die auswählende Absorption der Energie der Sonne (Wied. Ann. 19. (1883) str. 227. a násl., o kteréžto poslednější práci podána již v tomto časopise stručná zpráva (Časop. čes. math. roč. XV. str. 84.)

i zde jest veledůležitou částí stroje, umístěna jest štěrbina S_1, která zároveň jest svítícím předmětem, jsouc osvětlena buď světlem slunečním neb obloukovým.*) Ve směru dopadajících paprsků nalézá se na témže kruhu konkavní mříž na odraz, jež myšlénkou i zhotovením pochází od prof. Rowlanda; mříž jest tak zakřivena, že její poloměr zakřivení rovná se poloměru děleného kruhu. Mříž tato, jež vrhá diffrakční vidma po celém obvodu děleného kruhu, připevněna jest na massivním rameni, jež lze kolem vertikalní, středobodem děleného kruhu procházející osy otáčeti, a na jehož druhém konci nalézá se druhá, rovněž velmi úzká štěrbina S_2: jsou tedy mříž (M) a štěrbina (S_2) stále diametralně proti sobě. Štěrbinu S_2 lze učiniti tak úzkou, že ní prochází pouze záření přibližně homogenní; než není v žádném případě záření o určité délce vlny jediným, jež štěrbinou prochází: pro superposici řádových spekter nachází se na tomže místě, jako paprsek, jehož délka vlny jest λ, též záření o délce 2λ, 3λ, ... $n\lambda$, jež přísluší spektrům n-tého, n — 1ho ... 3-ho, 2-ho, 1-ho řádu. Aby tyto jednotlivé paprsky od sebe oddělil, užil Langley spektrometru sestávajícího z hranolu H a dvou čoček C_1 C_2; na konci roury, v níž C_2 se nalézá, umístěn buď pozorovací okulár, jednalo-li se o paprsky viditelné, neb bolometr (B), byly-li paprsky pozorované neviditelny. Současně jest patrno, že nalezena-li bolometrem nějaká čára infračervená, náležející ku svazku paprsků, jejíž délky vlny jsou multipla téhož čísla, lze nalézti její délku vlny, zamění-li se za bolometr okulár a nalezne délka vlny příslušné čáry viditelné, λ; byla-li čára tato částí spektra n-tého stupně, jest délka vlny oné neviditelné čáry, bolometrem ve spektru 1-ho řádu nalezené, $n\lambda$.

Uspořádání toto jest ovšem pouze schematické: vedle toho, co uvedeno, umístěno jest na stroji ještě velmi mnoho přístrojů vedlejších, z nichž velmi důležitou úlohu mají četná stínítka, chránící bolometr před cizími vlivy, jež by správnosť údajů jeho učinily illusorní, dále přístroje, zabraňující oteplení krajů obou štěrbin, což zvláště při práci s elektrickým světlem jest velmi

*) Popis tento dopodrobna jest vypsán v Langleyově pojednání: On hitherto unrecognized wave-lenghts. Philos. Magaz. 22. 1886. str. 149. a násl.

důležito, protože elektrody, mezi nimiž jiskry přecházely, byly velmi blízko štěrbině S_1, atd.

Nesnáze a obtíže spojené s měřením vzdálenějších částí infračervených jsou velmi značné: i ve spektru hranolovém, kde energie pro zmíněnou již deformaci spektra jest nakupena na menší prostor, intensita její tedy větší, jest v poněkud větších vzdálenostech od čáry A thermický účinek zářivé energie tak slabý, že stěží lze ho konstatovati — tím větší nesnáz nastává ovšem pro daleko rozložitější v těch místech spektrum diffrakční. Dle udajů Langleyových jest též teplo spektra diffrakčního jen as desetinou tepla, příslušícího téže partii ve spektru hranolovém. Proto též někdy užíval Langley při svých prácech [hlavně při své výpravě na Mount Whitney*)] spektra utvořeného silně lomivým skleněným hranolem, jenž (proti dosavadnímu mínění) ukázal se i pro nejdelší paprsky skoro úplně prostupným.

Pro všecky uvedené obtíže musela péče o správné a přesné provedení měření samého, a o měřící stroje a pozorovací prostředky co možná dokonalé býti co největší. Pro zajímavosť buďte uvedeny blíže některé přístroje, jichž Langley při nejnovějších svých pracích užil.

Mříž Rowlandova (konkavní), jejíž poloměr zakřivení měřil 163 *cm*, obsahovala na millimetru 142 proužky; celkem pracoval Langley s třemi takovými mřížemi. — Hranol, zhotovený z kamenné soli byl velmi čistý, takže ve spektru jím vyvozeném bylo lze rozeznati niklovou čáru ležící mezi oběma natriovýma čarama D_1 D_2. Protože však kamenná sůl jest hygroskopickou, bylo třeba po jistém čase plochy hranolu toho přibrousiti, čímž i lomivý úhel jeho se změnil, takže bylo nutno znovu úhel ten měřiti. Jaká práce s tím byla spojena, vysvítá ze sdělení, že v době od ledna 1885 až do května 1886 hranol byl třináctkráte broušen.

Bolometr, jehož užito, při různých pokusech shotoven byl z různých látek: z platiny, železa neb uhlu; průměr jeho řídil se požadavky měření.

---

*) O této výpravě jedná velmi zajímavý článek prof *A. Seydlera*: „Modré slunce“ v Květech 1886.

Čím jemnějšího drátu se užije, tím podrobněji lze studovati jednotlivé partie spektra infračerveného, čili, jinak řečeno, tím jemnější absorpční pruhy lze konstatovati. Proto volil při některých pracích Langley rozměry drátu velmi malé, měřilť průměr jich 0·01 *mm*, ba až i 0·001 *mm*. Nepatrnou tloušťkou drátu ovšem zase zvětšen značně jeho odpor, takže poměrně jeví se u nejtenčích drátů změny vodivosti temperaturou nejméně citlivě. Aby mohl v partiích, kde změny temperatury nejsou značné, aneb kde veškeré působení dopadající zářivé energie není veliké, užiti své methody, zaměnil Langley drát nejtenčí za tlustší, $2\varrho = 0{\cdot}04$ až $1{\cdot}00$ *mm*. Tím zvýšena citlivosť pro změnu intensity tepelné, ovšem na úkor citlivosti „polohy" ve spektru; bylo totiž možno při millimetrovém drátu polohu stanoviti přesně až na $\pm 1'$, kdežto při tenkých drátech sáhá přesnosť údaje až na $\pm 10''$.

Galvanometr, jehož Langley užíval, byl zrcadlový, se závěsem 33 *cm* dlouhým, jehož zrcádko bylo konkavní, platinované a pergamentními magnety astasované. Na stupnici, 1 *m* od zrcádka vzdálené, rozdělené na 500 *mm*, garantována desetina dílce, což odpovídá při užitém uspořádání změnám intensity o $\frac{5}{10000}$ Mikro-Ampère. Strojů, právě uvedených užíval Langley při svých nejnovějších prácech — při prácech dřívějších (až do r. 1885) neměl strojů tak dokonalých po ruce, takže novější výsledky jsou přesnější než dřívější. Přece však i v prácech nejnovějších není citlivosť methody jeho taková jako citlivosť obou method dříve uvedených, což leží ve vlastní její podstatě: jest patrno, že na drát rozměrů i sebe jemnějších působí pouze nejsilnější pruhy absorpční, jemné čáry pak pro nesmírně malé své rozměry i intensitu rozeznati nelze. Tím vysvětluje se ta okolnosť, že proti Becquerelovi a Abneyovi uvádí Langley v téže partii, kterou oni pozorovali, pouze 8 pruhů absorpčních. Za to však má methoda bolometrická výhody, jež ji činí v mnohém ohledu cennější než methody ostatní. Na tomto místě zmiňujeme se pouze o tom, že lze bolometrem obdržeti výsledky ještě tam, kde žádná jiná methoda více výsledků nepodává.

Abney sledoval fotografií část infračervenou až ku $\lambda = 1500\,\mu\mu$, Becquerel pak fosforografií nalezl studený pás při $\lambda = 1810$—1870. Pás tento prvotně nalezl Langley, a sice při své výpravě na

Mount Whitney a nazval ho Ω; Becquerel pak existenci tohoto pruhu fosforograficky potvrdil teprvé později. Za čárou Ω nalezl Langley ještě další dvě čáry, jejichž délky vln jsou $\lambda = 1980$ a $\lambda = 2040$ a podařilo se mu sledovati energii zářivou se slunce přicházející až ku netušené délce vlny $\lambda = 2800$; na tom místě zdánlivě přestává působení energie: jak však nověji nalezl, vyskytají se stopy sluneční energie ještě při $\lambda = 4000$, ovšem že v míře velmi nepatrné, neboť jsou as téhož stupně jako teplo měsíční.

Uvedené výsledky spadají většinou do prvního období experimentů Langleyových (1883—1884). Pracemi posledními *) objevena však docela nová, do té doby dosud naprosto netušená data, týkající se rozlohy energie zářivé. Předmětem prací těch jest studium spektra obloukového světla, jsou-li elektrody napuštěny natriem; tu pak se Langleyovi podařilo změřiti ještě délku vlny $9 \times \lambda$ pro D, t. j. 9×589 čili $\lambda = 5301$ $\mu\mu$. Nejvíce překvapují však výsledky Langleyovy, týkající se paprsků, vyslaných temnými zdroji tepelnými, tedy zdroji terrestrickými. Užil k tomu jako všichni, kteří před ním o tom předmětě pracovali (Melloni, Tyndall a j.) Leslie-ovy kostky; ovšem že Langley pozoroval spektrum této kostky po částech, kdežto dřívější pozorovatelé svými methodami museli měřiti vyzářené teplo jakožto celek. Zakončení této práce tvoří pak nalezení emissního spektra nejprůteplivější ze všech známých látek, totiž kamenné soli.

Následující přehled obsahuje hlavní data, která známa jsou o rozloze zářivé energie do r. 1887.

	λ v $\mu\mu$	Popis
Nejkratší vůbec poznaná čára (fotogr.)	185	Nalezl Cornu v emissním spektru jiskrovém mezi aluminiovými elektrodami.

*) Philos. Mag. 22. 1886. str. 149.

	λ v $\mu\mu$	Popis
Ultrafialová část (fotogr.)	265	Nejkratší délka vlny ve spektru slunečním, pronikajícím atmosferou (Cornu).
Viditelná část (oko)	360 810	Nejzazší paprsky normalnímu oku na obou koncích viditelné.
Část infračervená (fotogr., fosforogr.)	až 1500 1870	Domnělá hranice spektra slun. dle Abneye. Poslední čára (A^{IV}) Becquerelova.
(bolometr)	2800	Hranice slunečního spektra na povrchu zemském (r. 1882).
Záření temné zdrojů terrestrických (bolometr)	5300	Nejdelší pozorovaná vlna pro natriové světlo oblouku elektrického (r. 1886).
	7500	Přibližné maximum pořadnic, značících energii ve spektru Leslieovy kostky sazemi pokryté při 100° C (r. 1886).
	11000	Přibližné maximum těchže pořadnic pro 0° C (1886)
	30000	Přibližná délka nejdelších vln vyslaných kamennou solí.

Dosah těchto prací jeví se hned na první pohled velmi značným; hodnoty pro délku nejdelších již pozorovaných aetherových vln jsou dle toho as 0·03 *mm*, tedy již tak veliké, že nijak se představě nevymykají; 0·03 *mm* jest veličina, kterou

na jemných strojích nepříliš velikými prostředky přímo viděti můžeme.

Přirovnáme-li pak nejdelší tuto aetherovou vlnu s nejkratší vlnou zvukovou, uchem rozeznatelnou, kteráž udává se na 14 *mm*, musíme doznati, že hranice obou těchto vlnění nejsou od sebe příliš vzdáleny. — Abychom snáze přehlédli výsledky Langleyovy, užijme analogie s akustikou, nazývajíce interval mezi délkou vlny λ a 2λ oktavou. Pak čítá část ultrafialová spektra slunečního as půl oktavy, část viditelná něco *přes* oktávu (kdežto dosavad po většině se udává, že jest něco pod oktavu), část infračervená pak téměř 2 oktavy, celkem tedy celé sluneční spektrum (po absorpci athmosférou) as 3 oktávy. Měříme-li však rozlohu mezi nejkratší a nejdelší dosavad vůbec poznanou vlnou, vidíme, že energii zářivé přísluší již rozloha více než 7 oktáv.

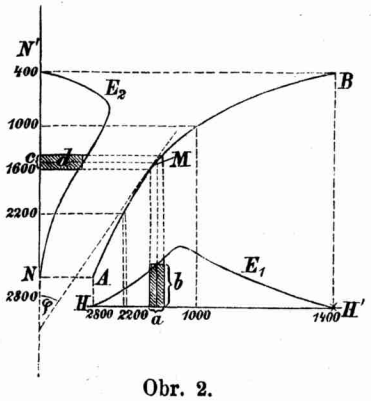
Udaje Langleyovy tak překvapují svou novotou, že mohly by téměř za pravdě nepodobné považovány býti pro velikou možnost chyb, cizími vlivy vnějšími vzniklých, kdyby každé číslo nebylo středem z velmi četných, mnohokráte opakovaných pozorování, čímž nahodilé chyby se vymýtí.

Práce Langleyovy neomezují se však na stránku qualitativní: snad ještě důležitější než tato jest stránka jich quantitativní, a sice s nejednoho stanoviska. Již při výkladu methody jeho stala se zmínka o tom, že z velikosti úchylky galvanometrické jehly lze souditi na relativní množství dopadající na bolometr zářivé energie. Užívaje těchto udajů sestrojil Langley křivku, znázorňující rozlohu energie ve spektru: jako úsečky nanášel totiž polohu jistých délek vln ve spektru normalním, jako pořadnice pak příslušná těmto paprskům množství dopadající energie. Výsledek této práce opravil dosavadní náhled o rozloze energie ve spektru, dle kterého maximum intensity světelné nalezá se blízko čáry D ve spektru (na straně oranžové), maximum tepelného působení však na straně infračervené, nedaleko za čarou A. Křivka Langleyem sestrojená však dokazuje, že maximum *energie vůbec* nalézá se ve spektru normalním ve světle žluto-oranžovém a že pro atmosferickou absorpci ustupuje z rána a z večera o něco ku kraji červenému. Pozorování toto zase novým jest dokladem a důkazem jednotnosti zářivé energie,

jež ač účinky svými různě se jeviti, tedy v různé tvary energie měniti se může, přec v podstatě jest jednotnou, jak ukázali hlavně *Jamin*, *Masson, de la Prevostaye*, *Desains* a j.

S touto okolností souvisí také poznámka, již učinil *Timiriazev**), který již od r. 1877 studuje proměny energie v organismech rostlinných; seznal totiž, že při rozkladu CO_2 v rostlině hlavně působivým jest chlorofyll: hlavní absorpční pruh chlorofyllu jest však zrovna v těch místech, kde dle Langleye jest ve spektru slunečním maximum energie. Jest to novým dokladem ekonomie přírody, že nejrozšířenější rostlinné barvivo, jež pro chemickou činnosť v nitru rostliny nejdůležitějším jest, absorbuje právě tu část spektra, ve které nalézá se maximum zářivé energie. Při tom podotýká Timiriazev, že z veškeré dopadající zářivé energie mění se 40% v energii chemickou při rozkladu CO_2; rostlinný list jeví se tedy jako velmi dokonalý stroj.

Výkres, znázorňující rozlohu energie ve spektru hranolovém liší se pro zmíněnou deformaci hranolového spektra od výkresu pro spektrum normalní hlavně tím, že ukazuje maximum světla při čáře D, maximum účinků tepelných však v části infračervené. Protože pak při mnohých prácech užívá se spektra hranolového, jest důležito, křivku energie pro spektrum hranolové nakreslenou co nejsnadnějším způsobem nakresliti pro spektrum



Obr. 2.

*) *Timiriazev*: La distribution de l'énergie dans le spectre solaire et la chlorophyle. (Compt. Rend. 1883. str. 375.)

normalní. Velmi jednoduchý a pohodlný způsob převodu toho podává *Langley* *); pochod jest následující.

Budiž křivka značící rozlohu energie ve spektru hranolovém nalezena (křivka E_1 na obr. 2.); množství energie, obsažené mezi dvěma určitými paprsky jest pak dáno plochou, omezenou oběma příslušnými pořadnicemi, částí křivky mezi nimi a částí osy úseček, již odtínají. Ač ve spektru normalním rozloha energie jest jiná, než v hranolovém, přece musí celkové množství energie téže partii spektra příslušící, býti totéž — a tato myšlenka jest základem konstrukce Langleyovy. Nakresleme si kolmo ku základně HH′ výkresu, platícího pro spektrum hranolové, přímku NN′, jež má býti základnou výkresu pro spektrum normalní. Na přímku tuto nanesme rovné díly o libovolné délce, jež mají sloužiti ku nalezení polohy paprsků λ ve spektru normalním. V některých z těchto bodů vztyčme kolmice a prodlužme, až se protnou s kolmicemi vztyčenými v těch bodech osy HH′, jež odpovídají téže délce vlny. Průseky tyto dány-li jsou v dostatečném počtu, dají se spojiti ve křivku AB, která pro další konstrukci jest velmi důležitou. Pozorujeme-li na př. energii příslušící velmi malému intervalu a ve spektru hranolovém, odpovídá dle výkresu intervalu tomu interval c ve spektru normalním. Je-li dále b střední pořadnice v intervalu a, lze patrně střední pořadnici intervalu c určiti z rovnice

$$ab = cd$$

čili, značí-li φ úhel, jejž svírá tečná v M ku křivce AB vedená s osou NN′,

$$d = b \operatorname{tg} \varphi,$$

čímž úloha převodu jest rozřešena. Abychom tedy k jisté délce vlny obdrželi příslušnou pořadnici-energii ve spektru normalním, známa-li je energie příslušící této délce vlny ve spektru hranolovém, dlužno pouze v tom bodě křivky AB, který odpovídá dané délce vlny, vésti tečnu, a tangentou úhlu, jejž svírá s osou NN′ násobiti pořadnici příslušící téže délce vlny ve výkresu pro spektrum hranolové.

Langleyův výkres křivky, značící rozlohu energie ve spektru normalním, má tedy maximum v části žluto-oranžové; energie

*) *Langley*: Exper. determination of wave-lenghts in the invisible prismatic spectrum. Phil. Mag. 17. 1884. str. 194—214.

pak ubývá velmi rychlým (téměř kolmým) spádem na straně fialové, volnějším pak na straně infračervené. Studené pruhy ve spektru jeví se jako zářezy v této křivce, a jdou dle intensity čar těch různě hluboko; nejintensivnější čáry jsou označeny zářezy sáhajícími téměř až k ose úseček. — Křivky značící rozlohu energie ve spektru Leslie-ovy kostky vykazují, že s rostoucí teplotou přibývá energie všech paprsků, ne však ve stejné míře, tak sice, že s rostoucí teplotou se maximum křivky pošinuje ku konci méně lomivému.

Z výkresů pro spektrum sluneční lze též stanoviti poměr celkové energie obsažené v třech hlavních částech spektra. *William Herschel* udává, že energie viditelné části rovná se as energii části neviditelné; *Tyndall* pak souhlasně s *Mellonim*, *Müllerem* a j. z pokusů svých, jimiž pozoroval záření infračervené jakožto celek soudil, že energie části infračervené jest dvojnásobná proti energii části viditelné. Údaje tyto ovšem platí pro spektrum hranolové. Langley-ovy práce pak ukazují, že ve spektru *normalním* jest energie části ultrafialové nepatrna, energie části infračervené a viditelné pak že jsou k sobě v poměru 1·35.

Z toho již, co o methodě bolometrické dosud pověděno plyne, že výsledky její jsou fundamentalní důležitosti pro nauku o energii zářivé; k tomu však ještě přistupuje další výsledek prací těch, neméně důležitý předešlých. Spektrobolometr totiž pro zásadnou svou podobnosť se spektrometrem dovoloval měřiti nejen energii ale i index lomu (n) každého pozorovaného paprsku. Tím však možno bylo sestrojiti *pozorovanou* křivku dispersní (t. j. křivku, jejíž úsečkami jsou délky vln a pořadnicemi příslušné indexy lomu) až do končin spektra dříve úplně neznámých.

O tvaru dispersní křivky čili o zákonu, disperse světla jest velmi mnoho theoretických prací. Nejstarším dispersním vzorcem jest vzorec *Cauchy-ho*

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \ldots \tag{1}$$

kdež A, B, C, ... jsou konstanty závisící na jakosti hmoty hranolové. Jiný vzorec pochází od *Redtenbachera* a zní

$$(2) \qquad \frac{1}{n^2} = a + b\lambda^2 + \frac{C}{\lambda^2},$$

kde význam konstant a, b, c je podobný. Zákon, jejž o dispersi vyslovil *Briot*, zní

$$(3) \qquad \frac{1}{n^2} = a\left(\frac{n}{\lambda}\right)^{-2} + b + c\left(\frac{n}{\lambda}\right)^2 + d\left(\frac{n}{\lambda}\right)^4.$$

V novější době pak vyskytly se tři další vzorce dispersní a to vzorec *Kettelerův*, obsahující 4 konstanty

$$(4) \qquad n^2 - 1 = \frac{A}{\lambda^2 - B} + \frac{C}{\lambda^2 - D},$$

dále vzorec *Wüllnerův,* o 3 konstantách

$$(5) \qquad n^2 - 1 = -P\lambda^2 + Q\frac{\lambda^4}{\lambda^3 - \lambda_m^2}$$

a konečně dvoukonstantový vzorec *Lommelův*

$$(6) \qquad n^2 - 1 = \frac{a}{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right)^2}.$$

Otázka, který z těchto vzorců nejširší má platnosť, dostala se do popředí teprvé pracemi Langleyovými. Počítaje totiž indexy lomu pro svůj hranol dle Cauchy-ova vzorce, shledal Langley, že došel k výsledkům nemožným, že totiž pozorováním obdržel větší indexy lomu, než dovoluje uvedený vzorec. I druhý vzorec Redtenbacherův, vedl ku výsledkům skutečnosti naprosto odpírajícím. Při vzorcích Briotově a Wüllnerově jevil se daleko větší souhlas pozorování a výpočtu, ovšem jen až k jisté délce vlny: dále pak údaje oba se rozcházely, a sice Briotův a Wüllnerův na opáčné strany, mezi sebou nechávajíce křivku pozorovanou. Vzorec Kettelerův byl Langleyovi neznám. Z nesouhlasu všech vzorců soudí Langley, že není dovolena extrapolace podle žádného z nich, že tedy ze známého n nelze v části infračervené souditi na λ.

Křivka, kterou Langley ze svých pozorování obdržel, jest velmi zajímava: připomíná tvarem svým hyperbolu s asympto-

tami X a Y; jistou délkou vlny počínajíc zdá se, že má křivka tvar přímky, $n = a\lambda$; nelze však udati, jak daleko tento zákon jest správným. Dle celého rázu křivky soudíc, dá se očekávati, že by hodnoty dle linearného zákona extrapolované byly příliš malé. Hyperbola, pěti pozorovanými body proložená, souhlasila pak velmi blízce s křivkou pozorovanou, jevíc úchylky neveliké. Langley však výslovně uvádí, že nepovažuje hyperbolu za tvar dispersní křivky, a že není dovolena extrapolace dle ní.

V době nejnovější učinil *Ketteler* *) srovnání všech užívaných vzorců dispersních; dle této práce vyhovují pozorováním v celém spektru pouze vzorce o čtyřech konstantách, hlavně vzorec Kettelerův, jejž uvádí ve tvaru

$$n^2 = -k\lambda^2 + a^2 + \frac{M}{\lambda^2} + \frac{N}{\lambda^4}.$$

Ostatní vzorce platí jen pro jisté partie spektra a sice pro partie tím menší, čím méně konstant obsahují. Tak zkrácený vzorec Cauchyho

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

platí pouze mezi čarami G a R, kdežto trojkonstantový vzorec (1) platí až do nejzazší části ultrafialové. Dosti značnou neshodu křivky Langleyovy s Wüllnerovou a Briotovou vysvětluje Ketteler nevhodnou volbou dat, z nichž určeny konstanty těchto vzorců, a ukázal, že lze značně lepšího souhlasu dosíci. — Nelze se však o otázce dispersních vzorců zde šíře zmiňovati, protože otázka ta nenáleží více v rozsah těchto řádků, proto přestáváme na tom, co uvedeno vzhledem ku pracím Langleyovým.

Ku konci budiž ještě podotčeno, jak též již o tom zmínka se stala, že absorpční pruhy v části infračervené pojmenovány jsou písmenami jako Frauenhoferovy čáry v části viditelné, jenom že označení čar těch není dosud jednotně přijato. Proto uvádíme zde ještě stručný přehled nejdůležitějších čar v infračervenu a různých jich označení.

---

*) *Ketteler*: Zur Handhabung der Dispersionsformeln. Wied. Ann. 30. (1887) str. 299—316.

λ	Označení
815	Z (Abney), α (Draper) Y (Brewster).
940	A′ (Becquerel), nejzazší čára spektra dle Drapera a Lamanského.
1115—1119 1133—1142	A″ (Becq.), $\varphi_1 \varphi_2$ (Abney)
1351 1400	A‴ (Becq.), $\psi_1 \psi_2$ (Abney)
1800 1870	A^{IV} (Becq.) Ω (Langley).

Též dlužno připomenouti, že souhlas v udajích pro délku vlny jednotlivých čar u různých pozorovatelů byl různý; příčinu toho hledati dlužno v jistých případech v methodě samé, hlavně však v tom, že mnohé údaje pocházejí z pozorování spekter hranolových a nikoli diffrakčních. Uvedené hodnoty pro λ dle největší pravděpodobnosti sestavil H. Becquerel.*)

Tím as načrtnut by byl stav vědomostí našich o energii zářivé na počátku r. 1887. Prací na poli tomto v nynější době podnikaných jest veliká řada, a zvláště Langley oznamuje stále nové a nové práce; o těchto pak dle důležitosti jich podáme svou dobou přiměřenou zprávu.

*) *Becquerel*: Détermination des longeurs d'onde des raies et bandes principales du spectre solaire infrarouge. Compt. Rend. 99. (1884) str. 417—420.