

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Ivo Kraus

Jaké jméno má mít reflexní podmínka? (Ke 100. výročí narození Williama Lawrence Bragga)

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 35 (1990), No. 2, 86--90

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139268>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1990

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>

Jaké jméno má mít reflexní podmínka?

(Ke 100. výročí narození Williama Lawrence Bragga)

Ivo Kraus, Praha

Studoval jsem na univerzitě v letech, kdy byl celostátní učebnicí fyziky český překlad obsáhlého přehledu mechaniky, elektřiny, optiky a atomistiky od S. E. Friše a A. V. Timorevové. I když od té doby uplynulo více než třicet let, dodnes se mi v souvislosti s třídičným Kursem fyziky vybavuje v paměti označení řady vztahů a zákonů dvěma jmény, z nichž jedno vždy patřilo některému významnému ruskému přírodovědci. Tak např. průchod elektronového proudu vakuem popisoval vzorec „Boguslavského-Langmuirův“, v kapitole o elektrické a magnetické indukci byla uvedena věta „Ostrogradského-Gaussova“, v teorii elektromagnetického pole se zaváděl vektor „Umovův-Poyntingův“, stavová rovnice ideálního plynu měla název „Mendělejevův-Clapeyronův“ vzorec a místo Braggo va vztahu platil pro selektivní reflexi rentgenového záření na krystalech vztah „Vulfův-Braggův“. Shodou okolností pro mne reflexní podmínka přestala být časem jen pojmem z vysokoškolské učebnice. Přesto jsem si ještě nedávno kladl otázky: Kdo odvodil rovnici jako první? Mohli na ni přijít dva lidé zcela nezávisle? Kdy ji uveřejnil Bragg a kdy Vulf? Co jiného přežilo ještě z díla obou autorů?

Odpovědi jsem našel v pražské univer-

zitní knihovně a v ústřední knihovně Leningradského polytechnického institutu.

Jurij Viktorovič Vulf

Jurij (Georgij) Viktorovič Vulf se narodil 10. června 1863 ve městě Nežin severovýchodně od Kyjeva. *) Jeho otec, středoškolský profesor, se brzy po narození syna přestěhoval s rodinou do Varšavy. Zde J. V. Vulf navštěvoval gymnázium a později studoval na univerzitě. Velmi brzy se u něho projevil vyhraněný zájem o krystaly a výzkum jejich fyzikálních vlastností; už v jednadvaceti letech byl za svou studentskou vědeckou práci „Výzkum elektrických vlastností křemene“ vyznamenán zlatou medailí. Díky talentu a pracovitosti mohl Vulf zůstat na univerzitě i jako její absolvent (1885). V roce 1888 odešel z Varšavy na zkušenou – nejdříve 6 měsíců do Petrohradu, potom na celý rok k významnému německému krystalografovi Paulu Grothovi, který tehdy žil v Mnichově. Před návratem do vlasti se Vulf ještě rok a půl zabýval v Paříži optickými metodami měření elastických deformací pevných látek. Hodnost magistra

*) Práce uveřejňované v zahraničí podepisoval „G. Wulff“.

(Varšava 1892) získal za práci o polymorfii CaCO_3 (kalcit a aragonit), doktorskou disertaci (Oděsa 1906) věnoval otázkám rychlosti růstu a rozpouštění stěn krystalů. V dalších letech působil jako profesor na univerzitě v Kazani (1907) a ve Varšavě (1908–1909). Odtud se natrvalo přestěhoval do Moskvy, kde žil až do své smrti 25. prosince 1925. Na tamější univerzitu s sebou přivezl i laboratoř vybavenou ve Varšavě z vlastních prostředků. První výzkumy Vulfova moskevského období (1909–1911) se týkaly kapalných krystalů objevených koncem 19. století (1888) O. Lehmannem (1855 až 1922).

Další Vulfův život poznamenaly události, k nimž došlo na univerzitě v roce 1911. Při potlačení studentských nepokojů nařídil tehdy moskevský velitel města policii zakročit proti demonstrantům přímo v budově školy. Na hrubou urážku akademických tradic reagoval rektor svou abdikací. Ta byla nadřízenými orgány přijata; nezůstalo však jen při uvolnění z funkce, ale i z profesorského místa. O profesuru přišli také dva rektorovi spolupracovníci. Brzy potom opustil univerzitu ze solidarity velký počet vynikajících pedagogů různých zaměření. K profesorům, kteří tímto způsobem vyjádřili svůj postoj k samoděržaví, se přidal rovněž J. V. Vulf.

Ve vědecké a učitelské práci pak pokračoval na Šaňavského městské univerzitě; do jejich prostor přestěhoval také zařízení své krystalografické laboratoře.*) Na mos-

kevskou univerzitu se Vulf vrátil teprve v roce 1917. Poslední léta života věnoval s velkou intenzitou i práci organizátorské ve funkci předsedy Moskevské fyzikální společnosti (1921–1925).

Stejně jako s reflexní podmínkou spojujeme Vulfovo jméno také s poledníkovou stereografickou sítí, běžně využívanou k zobrazení krystalů. Pro fyziky v SSSR je J. V. Vulf zakladatelem rentgenové strukturní analýzy – jednoho z nových oborů experimentální fyziky 20. století.

Sir William Lawrence Bragg

Anglický fyzik a krystalograf William Lawrence Bragg se narodil 31. 3. 1890 v australském Adelaidu jako syn univerzitního profesora.*) Základy vysokoškolského vzdělání získal již v rodném městě (St Peter's College), rozhodující význam pro rozvoj jeho schopností mělo však studium na Trinity College v Cambridge. V listopadu 1912 interpretoval interakci rentgenového záření s krystalickou látkou jako selektivní reflexi na atomových rovinách. O dva roky později se stal ze žáka proslulé Trinity College její člen a pedagog. Na podzim 1915 převzal spolu s otcem Nobelovu cenu za fyziku. V následujících letech přerušila Braggovu vědeckou práci válka.***) Alespoň stručně hlavní údaje o dalším běhu jeho života: profesor univerzity v Manchesteru (1919–1937), ředitel Národní fyzikální laboratoře (1937 až 1938), profesor univerzity v Cambridge

Toto pracoviště je uvedeno jako Vulfova adresa pod článkem *O rentgenogramech krystalů* v časopise *Physikalische Zeitschrift*, kde v roce 1913 uveřejnil podmínku pro reflexi rentgenového záření na atomových rovinách krystalové mřížky.

*) Osobnosti Sira W. H. Bragga byl věnován autorův článek v *Pokrocích matematiky, fyziky a astronomie* 27, č. 5, 1982, 281.

**) Za aktivní službu na francouzském území byl W. L. Bragg vyznamenán válečným křížem.

(1938–1953), ředitel laboratoří Royal Institution v Londýně (1954–1966).

Kromě Nobelovy ceny se W. L. Braggo-
vi dostalo i mnoha jiných vysokých poct
a uznání. Už v roce 1918 mu byl udělen
Řád britské říše (Order of the British
Empire), za další tři léta se stal členem
Royal Society, v roce 1941 získal doživotní
titul Sir. Kromě akademické hodnosti
M. A. (Master of Arts), dosažené v Cam-
bridge, měl čestné doktoráty přírodních
věd univerzit v Dublinu, Leedsu, Man-
chestru, Lisabonu, Paříži, Bruselu, Luty-
chu a Durhamu; některé univerzity mu
udělily také doktoráty filozofie a práv.
Byl rovněž čestným členem vědeckých
společností desítek zemí celého světa.

Během relativně dlouhého a velice
plodného života využíval W. L. Bragg
rentgenovou strukturní analýzu v anorga-
nické chemii a mineralogii, metalurgii,
organické chemii a biochemii. Postupem
let se proto měnila povaha zkoumaných
objektů. Od jednoduchých minerálů, kte-
rým věnoval pozornost hlavně ve dvacá-
tých letech, přešel ke studiu silikátů a přes
„kovové období“ nakonec k proteinům.
Neobyčejně záslužné byly Braggovy popu-
lární přednášky o optice, elektřině a magne-
tismu, které měl v Royal Institution řadu
let pro žáky londýnských škol; oblibu v ši-
roké veřejnosti získal také svými televizní-
mi pořady o vlastnostech hmoty.

Sir William Lawrence Bragg zemřel
1. července 1971 v Londýně. Jeho vědecká
dráha byla zcela jedinečná. Jako dvaadvá-
cetiletý položil základy strukturní rentge-
nografie, byl svědkem jejích počátečních
nesnází i průkopníkem automatizace di-
frakčních měření. První články, uveřej-
něné většinou společně s otcem, obsaho-
valy výsledky měření pomocí vlastního
rentgenového spektrometru, zejména po-
pis struktur takových látek jako je NaCl,

diamant, kalcit, měď a některých jedno-
duchých minerálů. Nejstarší práce pode-
psaná jménem W. L. Bragga vyšla v pro-
sinci 1912, poslední o padesát devět let
později. Prvním dvěma jeho publikacím
věnujeme pozornost v dalším textu, z těch
ostatních si připomeneme alespoň knižní
díla:

- W. H. Bragg, W. L. Bragg: *X-rays and Crystal Structure* (1924),
- W. L. Bragg: *The Crystalline State, A General Survey* (1933),
- W. L. Bragg: *Atomic Structure of Minerals* (1937),
- W. L. Bragg, G. F. Claringbull: *Crystal Structure of Minerals* (1965),
- W. L. Bragg: *The Development of X-ray Analysis* (1971).

Braggova interpretace lauegramů

Třebaže Laueho historický experiment
na jaře 1912 zcela jednoznačně potvrdil
hypotézu o mřížkové stavbě krystalů a zá-
roveň byl důkazem, že rentgenové paprsky
mají povahu velmi krátkého elektromag-
netického záření, přesto interpretace získa-
ných difrakčních diagramů ZnS úplně
přesvědčivá nebyla. Aby zdůvodnil pří-
tomnost některých difrakčních skvrn
(stop), které teoretickému výpočtu odpo-
rovaly, a naopak objasnil absenci jiných,
s nimiž teorie počítala, musel Laue při-
pustit ve svazku dopadajícího záření
existenci jen pěti „prominentních“ spek-
trálních linií (vlnových délek). Druhou
„záhadou“ byl proměnný tvar difrakčních
stop. Zatímco na fotografické desce umís-
těné těsně za krystalem byly stopy kruho-

vé, ve větších vzdálenostech se z kroužků stávaly elipsy.

Fyzikální podstatu obou jevů vysvětlil ještě téhož roku W. L. Bragg, který se o Laueho objevu poprvé dověděl uprostřed léta 1912 od svého otce. Do podzimu podal kromě správné odpovědi ke všem otázkám navíc i zcela novou interpretaci Laueho rentgenogramů.

Přebytek, resp. nedostatek difrakčních stop na fotografické desce za krystalem ZnS byl pouze zdánlivý. Stačilo jen při výpočtu jejich poloh předpokládat, že ZnS má mřížku kubickou plošně centrovanou; Laue vycházel nesprávně z mřížky primitivní. Po této opravě už nebylo třeba ve svazku paprsků dopadajících na krystal žádné vlnové délky diskriminovat ani preferovat, záření mělo všechny obvyklé vlastnosti spojitého rentgenového spektra.

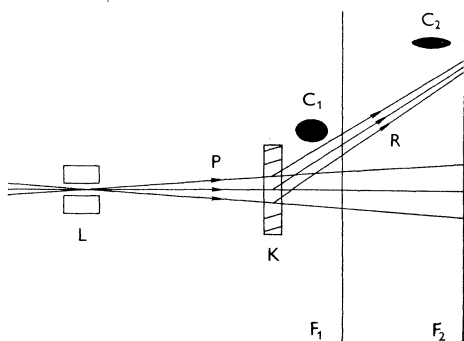
Největší úspěch však Braggovi přineslo pozorování tvaru registrovaných stop rozptýleného záření. Uvědomil si při tom, že jednoduché a názorné řešení problému umožňuje model krystalu tvořeného rovnoběžnými a navzájem stejně vzdálenými atomovými rovinami, na nichž se záření odráží podobně jako viditelné světlo na rovině zrcadla. Pokud je dopadající svazek P divergentní (obr. 1), budou se jeho různé paprsky reflektovat na různých rovinách téhož systému pod odlišnými úhly; průřez svazku R bude tedy funkcí vzdálenosti fotografické desky F od krystalu.*) Podmínku pro to, aby mohlo být záření reflektované na sousedních rovinách ve fázi, tj. aby vzniklo reflexní maximum, odvodil W. L. Bragg ve tvaru $n\lambda = 2d$.

*) Poznamenáme, že příčinou eliptického tvaru difrakčních skvrn je nejen vertikální, ale i horizontální divergence svazku.

$\sin \theta$; d je vzdálenost rovin, λ – vlnová délka, θ – úhel mezi reflektující rovinou a dopadajícím, resp. reflektovaným paprskem, n – řád reflexe.

S podrobnou diskusí celé problematiky vystoupil W. L. Bragg na zasedání Cambridge Philosophical Society dne 11. listopadu 1912. Jeho příspěvek *The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal* je publikován v první části 17. dílu Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, který obsahuje přednášky z období mezi 28. říjnem 1912 a 18. květnem 1914. (Do první části 17. dílu na str. 1–159 byla zahrnuta témata přednesená před koncem roku 1912.)

8. prosince 1912 odeslal W. L. Bragg redakci časopisu Nature krátké sdělení *The Specular Reflection of X-rays*. V textu, otištěném 12. prosince (Nature 90, 1912, 410), se konstatuje, že vznik skvrn pozorovaných na Laueho rentgenogra-



Obr. 1.

Braggova interpretace změny tvaru difrakčních skvrn na lauegramech se stala východiskem k formulaci reflexní podmínky $n\lambda = 2d \sin \theta$; L – kolimátor, K – krystal, P – primární svazek (divergentní ve vertikální i v horizontální rovině), R – reflektovaný svazek, C_1, C_2 – průřezy svazku paprsků reflektovaných na krystalových rovinách, F_1, F_2 – polohy fotografické desky.

mech lze vysvětlit selektivní reflexí svazku dopadajícího na soustavu rovnoběžných rovin krystalu, např. na roviny rovnoběžné s jeho štěpnou plochou. (Z Braggových formulací nevyplývá, že se těmito otázkami už dříve podrobně teoreticky zabýval.) V další části krátkého sdělení potom Bragg správnost svých závěrů dokumentuje výsledky studia odrazu rentgenového záření na přirozeném povrchu (štěpných plochách) slídy.

J. V. Vulf byl na přelomu let 1912–1913 v zahraničí. Tam se mu dostal do rukou časopis *Nature* s Braggovou informací o zrcadlovém odrazu rentgenových paprsků na slídě. Po návratu do Ruska

Braggova pozorování objasnil v článku *Über die Kristallröntgenogramme*, který zaslal 3. února 1913 časopisu *Physikalische Zeitschrift*. Práce vyšla 15. března téhož roku (*Phys. Z.* 14, No 6, 1913, 217). Jejím nejdůležitějším výsledkem bylo odvození reflexní podmínky ve tvaru $\lambda/2 = d\epsilon/m$. Od Braggova zákona, zveřejněného 11. 11. 1912, se tato rovnice liší jen formálně, neboť $d = d$, $m = n$, $\epsilon = \sin \theta$.

Taková je historie základní rovnice rentgenové strukturní analýzy. Priorita objevu náleží bezesporu W. L. Braggovi, zároveň však není třeba pochybovat o tom, že reflexní podmínku odvodil zcela samostatně i J. V. Vulf.

Profesor Eubanks v říši Dzéta

Richard P. Stanley

Richard Stanley vystudoval matematiku na Kalifornském technickém institutu a doktorát získal na harvardské univerzitě. V letech 1970–1971 byl asistentem na MIT a potom strávil dva roky jako stipendista Millerovy vědecké nadace v Berkeley. V roce 1971 se vrátil na MIT, kde pracuje dodnes. Ve své vědecké práci se zabývá kombinatorikou a algebrou. V roce 1975 obdržel Pólyovu cenu za aplikovanou kombinatoriku, kterou mu udělila Společnost pro prů-

myslovou a aplikovanou matematiku SIAM).

Profesor E. Pluribus Eubanks vyhodil další ze svých poznámkových bloků do odpadků, kam právem patřil. Zklamání a zoufalství naplňovaly celou jeho bytost, jako už mnohokrát předtím. Připadalo mu, že tyto pocity si plně zaslouží, protože měl tu troufalost zasvětit svůj život nejhroznějšímu a nejobtížnějšímu problému v dějinách lidského myšlení. Od začátku

Profesor Eubanks in Zetaland. The Mathematical Intelligencer, Vol. 10, No. 3, 21–23. Přeložil OLDŘICH KOWALSKI.

© Springer-Verlag New York 1988.