

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Ivo Kraus

Osmdesát let od objevu difrakce rentgenového záření na krystalech

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 37 (1992), No. 3, 163--166

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139391>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1992

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>

# Osmdesát let od objevu difrakce rentgenového záření na krystalech

(1912–1992)

*Ivo Kraus, Praha*

„Když jiní nositelé Nobelovy ceny se-  
znamovali s historií svého objevu, mohli  
hovořit o tom, jak začal existovat v jejich  
představách, popisovat bludné kruhy, přes  
které se ho podařilo dosáhnout teprve po  
dlouhých letech usilovné a trpělivé práce.  
V mých očích rostly jejich zásluhy úměrně  
překonávaným obtížím. Sám však musím  
při vzpomínání užít zcela jiná slova.

Problém dokázat interferenci rentgeno-  
vých paprsků jsem samozřejmě znal ještě  
před jeho vyřešením. Uvažovat, že bych  
při tom mohl být nějak užitečný, mě však  
nenapadlo dříve, dokud jsem náhodou ne-  
spatřil cestu, která se ukázala jako nej-  
kratší k cíli. Rozhodující pro mne byla  
příznivá atmosféra vědeckých a osobních  
vztahů v prostředí, kde jsem žil a pra-  
coval.“ V tomto duchu zahájil Max von  
Laue dne 3. června 1920 ve Stockhol-  
mu přednášku jako nositel Nobelovy ceny,  
udělené mu roku 1914 za objev difrakce  
rentgenových paprsků na krystalech.

Od doby, v níž získal Laue inspiraci pro  
myšlenku, která se stala základem struk-  
turní analýzy, rentgenové spektroskopie  
a mnoha technických aplikací difrakce  
rentgenových paprsků, elektronů a ne-  
utronů (fázové analýzy, určování textur,  
rentgenové a neutronové tenzometrie, sta-  
novení rozměrů koherentních oblastí aj.),  
uplynulo už 80 let. Padesátému jubileu  
slavného experimentu byl u nás věnován  
v roce 1962 článek A. Kochanovské [1].  
Následující text zpracovaný podle vzpo-  
mínek Maxe von Laueho i jeho současní-

ků [2, 3] je proto určen zejména nejmlad-  
ší generaci zájemců o dějiny přírodních  
věd 20. století. Laueho objev je neobyčej-  
ně zajímavou ilustrací působení vnějších  
podmínek na tvůrčí schopnosti jedince,  
jinými slovy — příkladem, jak náhoda  
může pomoci tomu, kdo je dobře připra-  
ven.

## Mnichovská univerzita na počátku 20. století

Dva základní fyzikální směry — ex-  
perimentální a teoretický — byly počát-  
kem našeho století na univerzitě v Mni-  
chově reprezentovány W. K. Röntgenem  
a A. Sommerfeldem. Experimenty se  
však nezabývala jen Röntgenova kated-  
ra, i Sommerfeld měl „příruční“ labora-  
toř, v níž nechal ověřovat své teoretické  
úvahy. Jeho asistenty byli tehdy P. Debye  
a W. Friedrich, roku 1909 k nim přibyl  
Max Laue, působící před tím několik let  
v Berlíně u Maxe Plancka.

„V dalším běhu událostí sehrál důleži-  
tou roli Sommerfeldův návrh, abych do  
Encyklopedie matematických věd napsal  
partii z vlnové mechaniky o difrakci svět-  
la na jednorozměrné a dvojrozměrné op-  
tické mřížce. Velký význam měla pro mě  
také žijící tradice představ o vnitřní stav-  
bě krystalů,“ vzpomíná Laue ve své au-  
tobiografii. „Myslím, že Mnichov zůstal  
jediným místem, kde se tehdy ještě neza-  
pomnělo na hypotézu prostorové mřížky.“

Zasloužili se o to přednáškami na tamější univerzitě zejména krystalograf L. Sohncke (1842–1897) a mineralog P. Groth (1843–1927).

K těm, kteří se nepřímo podíleli na Laeho objevu, patří dále Sommerfeldův student a od roku 1910 i doktorand P. Ewald. Když mu Sommerfeld nabídl, aby si vybral jeden z 12 problémů, zvolil si na disertaci téma „Optické vlastnosti anizotropně rozložených izotropních rezonátorů“. Úloha vyžadovala matematicky vyjádřit chování světelných vln v prostorové mřížce z polarizovaných atomů. Už za dva roky našel Ewald obecné řešení ve tvaru, který dovoľoval numerické výpočty. Jejich aplikace na krystal  $\text{CaSO}_4$  prokázala naprosto jednoznačně kvalitativní souhlas teorie a experimentu, a to i přes velmi hrubou aproximaci nahrazení šesti atomů sférickým rezonátorem.

### Od náhody a intuice k objevu

V únoru 1912 Ewald poprosil Laeho o posouzení závěrů své disertace. „S podstatou problému jsem ho seznámil při procházce parkem,“ napsal později Ewald. „Bylo však zřejmé, že mu je téma příliš vzdálené. Zajímal se ovšem o údaj pro mé řešení vedlejší, a to, jaká je přesná vzdálenost mezi rezonátory, které jsem myšlenkově umístil do uzlových bodů krystalové mřížky. Na totéž se Laue zeptal znovu několik hodin později při mé návštěvě v jeho bytě na Bismarckově ulici č. 10. Když jsem řekl, že vzdálenost bude asi  $10^{-10}$  m, začal uvažovat, co se změní, budou-li na krystal dopadat vlny podstatně kratší než světelné. Snaha diskutovat o mé disertaci vyzněla pak už zcela naprázdno, Laue se nedokázal soustředit. Později otevřeně přiznal, že věci natolik nerozuměl, aby

mohl poradit. „Ewald sice odešel s nepořízenou, vzbudil však Laeho zájem o efekty, které mohou doprovázet průchod rentgenových paprsků krystalem. Optická intuice mu napověděla, za jakých podmínek mohou vzniknout spektra: „Pokud jsou atomy skutečně uspořádány v prostorových mřížkách a jsou-li rentgenové paprsky krátkovlnným zářením, pak musejí být pozorovány interferenční jevy podobné světelné interferenci na optických mřížkách.“

O zimních prázdninách, při lyžování v Alpách, měl Laue příležitost seznámit se svými dedukcemi Sommerfelda. Ten byl však velmi skeptický; domníval se totiž, že splnění podmínek pro vznik difrakce bude bránit tepelný pohyb atomů. (Vezmeme-li v úvahu, že atomy kmitají s frekvencí  $\approx 10^{13} \text{ s}^{-1}$ , tj. cca o šest řádů nižší, než má rentgenové záření, které na ně dopadá, lze atomy považovat prakticky za nepohyblivé.) Své názory si Laue nechal „oponovat“ i dalšími spolupracovníky z univerzity, kteří se každou neděli scházeli u „fyzikálního stolu“ v mnichovské kavárně Lutz. Různá mínění vyústila nakonec v jednotný závěr, že spolehlivější než jakákoli teorie je experiment. O jeho provedení jako první měl zájem Sommerfeldův asistent W. Friedrich. Nebýt však Röntgenova doktoranda P. Knippinga, který byl ochoten ve volném čase s přípravou pokusu pomáhat, sotva by Sommerfeld dovolil Friedrichovi „zbytečně ztrácet čas na experimentování s předem známým negativním výsledkem.“

Bylo krátce před velikonoce. První zkouška přinesla zklamání — při uspořádání analogickém s optickou reflektující mřížkou, kdy měly být detektovány paprsky odražené od krystalu, zůstala fotografická deska čistá. Dnes víme, že příčinou

byla nedostatečná intenzita záření emitovaného použitou rentgenkou. Už druhý pokus se podařil a na desce umístěné za krystalem (jako při studiu difrakce na průchod) vznikl diagram tvořený soustavou skvrn pravidelně rozložených kolem centrální stopy od přímo prošlého úzkého primárního svazku paralelních paprsků. Krystal, který Friedrich a Knipping tehdy použili, nebyl ničím výjimečný. Náhodou jim „padla pod ruku“ destička běžného síranu měďnatého.

Na matematickou interpretaci difrakčního obrazu přišel Laue týž den, kdy se dověděl, že jeho hypotéza je potvrzena. (Zprávu od Friedricha prý dostal na místě, které bylo už jednou vzpomenu — v kavárně Lutz.) „Jak exaktně popsat jev na snímcích; mě napadlo ještě dříve, než jsem došel z univerzitní laboratoře od Friedricha domů. Vybavuji si zcela přesně, že to bylo v Siegfriedově ulici před domem č. 10.“ Vysvětlení pozorovaného efektu se nyní zdá prosté, ostatně jako každá geniální myšlenka. Stačilo pouze vzít v úvahu tři periody charakterizující obecně prostorovou mřížku, tj. ke dvěma rovnicím definujícím podmínky difrakce na rovinné mřížce přidat ještě rovnici třetí. „Během dalších dvou týdnů jsem teorii ověřil kvantitativně na řadě podstatně dokonalejších rentgenogramů získaných nejen z krystalů síranu měďnatého, ale i sirníku zinečnatého. Den, kdy se už nedalo pochybovat o správnosti všech teoretických předpokladů, byl rozhodujícím dnem mého života.“

## Laueho objev a vznik nových vědních oborů

V Laueho pokuse hraje krystal dvojí úlohu: je buď zařízením (difrakční mřížkou) pro rozklad rentgenového záření ve spektrum, nebo objektem výzkumu.

Rentgenová spektroskopie má své počátky v pracích W. H. Bragga. Jeho ionizační spektrometr, umožňující už v roce 1913 přesná měření rentgenových spekter, významně přispěl ke vzniku teorie stavby atomu. Naše poznání v této oblasti dále obohatil zejména H. G. J. Moseley. Připomeňme některé závěry systematického studia rentgenových spekter prvků, kterými se tento talentovaný Angličan již ve svých sedmadvaceti letech trvale zapsal do novodobých dějin přírodních věd:

Každý prvek je charakterizovaný celým číslem  $Z$  určujícím jeho rentgenové spektrum: (Moseley stanovil tato čísla u všech prvků od Al do Au za předpokladu, že pro Al je  $Z = 13$ .)

Atomové (protonové) číslo  $Z$  prvku je rovno počtu kladných elektrických nábojů v jádře.

Pořadí atomových čísel souhlasí až na výjimky s pořadím atomových vah (relativních atomových hmotností).

Prvky od Al k Au jsou seřazeny podle celých čísel od 13 do 79 kromě těch prvků, které dosud nejsou objeveny.

Frekvence určité linie rentgenových spekter je určena vztahem  $\nu = A(Z - b)^2$ , kde  $A$ ,  $b$  jsou konstanty. (Podle svého objevitele se tento fyzikální zákon nazývá Moseleyho.)

Za necelý rok po Laueho objevu vznikl díky výzkumům W. H. Bragga a jeho syna W. L. Bragga i další nový obor experimentální fyziky — rentgenová strukturální analýza.

Čím delší doba nás dělí od Laueho objevu, tím větší jsou změny, které jím byly vyvolány v našem chápání stavby a vlastností látek. Historický experiment pomohl odhalit skutečný obraz mikrosvěta, dal všem oblastem přírodních věd pevný základ atomových představ.

## L i t e r a t u r a

- [1] KOCHANOVSKÁ A.: Pokroky MFA 7, č. 3, 1962, 135.
- [2] LAUE M.: *Gesammelte Schriften und Vorträge*. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1961.
- [3] EWALD P. P. et al.: *Fifty Years of X-ray Diffraction*. Utrecht, N. V. A. Cos-thoek's Urtgeversmaatschappij, 1962.

# vyučování

## EVALUÁCIA A HODNOTENIE VO VYUČOVANÍ MATEMATIKY, SÚČASNÉ SVETOVÉ TRENDY

### 1. časť\*)

Vladimír Burjan, Bratislava

V apríli 1991 usporiadala Medzinárodná komisia pre vyučovanie matematiky (ICMI) v španielskom mestečku Calonge konferenciu na tému „Hodnotenie vo vyučovaní matematiky a jeho vplyvy“. Cieľom konferencie bolo pripraviť ďalšiu zo série štúdií ICMI o aktuálnych problémoch vyučovania matematiky. 79 účastníkov konferencie z 25 krajín sveta prednieslo 45 prednášok, priebežne pracovalo

\*) 2. časť článku bude otisťena v ďalšom čísle. Pozn. red.

12 tématických pracovných skupín. Prednesené príspevky v deskriptívnej rovine podávali základné informácie (prehľady) o metódach hodnotenia vo vyučovaní matematiky používaných v jednotlivých krajinách, v analytickej rovine rozoberali nedostatky súčasných praktík a navrhované zlepšenia. Výsledkom konferencie bude štúdia, ktorá bude publikovaná (v 2 knihách) koncom roka 1992.

Ako účastník uvedenej konferencie by som sa chcel prostredníctvom tohoto príspevku podeliť s čitateľmi Pokrokov aspoň o zlomok informácií a poznatkov, ktoré som na tomto mimoriadne hodnotnom podujatí získal.

Úvodom malá terminologická poznámka: angličtina má pre „hodnotenie“ dve základné slová: „evaluation“ a „assessment“, ktoré sa niekedy používajú ako synonymá, čoraz viac sa však v odbornej literatúre udomácňuje táto konvencia: **assessment** sa vzťahuje na hodnotenia prejavov, vedomostí, zručností atď. **žiakov**, zatiaľčo **evaluation** sa používa pre hodnotenie efektívnosti matematických programov a projektov, osnov,

---

RNDr. VLADIMÍR BURJAN (1960) je pracovníkom Výskumného ústavu pedagogického, Kuklíkova 17, 852 55 Bratislava.