

FRANTIŠEK HOUDEK

# Dvě mouchy jednou ranou

100 let od vzniku rtg. strukturní analýzy a rtg. spektroskopie

„Teorie bez experimentů jsou prázdné, experimenty bez teorie jsou slepé.“  
Max Planck

Na pravidelné schůzi Německé fyzikální společnosti v Berlíně se 14. června 1912 sešel slušný počet členů. Přednášet měl totiž Max Laue, teoretik s vynikajícím renomé, známý zejména pracemi v oboru fyzikální optiky a speciální relativity – a možná taky zafungovaly fyzikální tamtamy.

Vzpomíná Max Planck: „Když pan von Laue<sup>1</sup> po teoretickém úvodu předvedl první snímky ukazující průchod svazku paprsků celkem libovolně orientovaným kusem trojklonné skalice modré, na fotografické desce bylo vedle centrálního místa průniku primárních paprsků znát několik zvláštních malých skvrn. Posluchači se dívali na promítnutý obrázek na tabuli napjatě a nedočkavě, ale přece jen ne ještě docela přesvědčení. Když se však ukázal onen obraz č. 5, první typický Laueho diagram, který reprodukoval průchod paprsků krystalem pravidelného sulfidu zinečnatého orientovaného přesně ve směru primárního záření, s pravidelně a čistě uspořádanými interferenčními body v rozličných odstupech od středu, tu shromážděním proběhlo všeobecné, jen slabě potlačované ‚ach‘! Každý z nás cítil, že tu byl vykonán velký čin, že se tu poprvé prorazil otvor skrze dosud neproniknutelnou stěnu, otvor, který vedl z dosavadní temnoty skrytých a mučivých tajemství ven ke světlu nového poznání a otevřel pohled do velkých zaslíbených dálek.“

Proč ten vzdech, proč ta vzletná slova? Lauemu se totiž povedl kousek vskutku husarský. Prokázal jednak vlnovou povahu rentgenového záření, jednak existenci krystalové mřížky. Zásahu na tom měli i dva jeho kolegové – experimentátoři Walter Friedrich a Paul Knipping.

## Mnichovský tyglík

Rentgenové záření se brzy po svém objevu v listopadu 1895 (tehdy ještě jako paprsky X) začalo porůznu využívat, nicméně jeho fyzikální podstata zůstávala neznáma. Je to vlnění, nebo proud korpuskulí? Otázka, která fyziky netrápila o nic méně, než o několik desítek let dříve stejná otázka týkající se podstaty světla.

Mineralogie, na rozdíl od fyziky rentgenového záření přírodní věda z nejstarších, během 19. století nastolila představu krystalu jako souboru pravidelně se opakujících uzlů, uspořádaných do geometrických těles, přičemž oněmi uzly by mohly být ato-

my sloučeniny, která krystal tvoří. Ani zde neexistovala žádná cesta k důkazu, ostatně řada renomovaných vědců (Ernst Mach, Wilhelm Ostwald, Henri Poincaré, William Rankine) dosud nepřipustila ani samu existenci atomů!

Max Laue působil od roku 1908 jako soukromý docent u Arnolda Sommerfelda na univerzitě v Mnichově.<sup>2</sup> Všestranný Sommerfeld se zabýval i otázkou povahy rentgenových paprsků. Na rozdíl od řady kolegů z celého světa je měl za vlnění, přičemž vycházel z objevu jeho polarizace (Charles Barkla, 1906, Nobelova cena 1917).

Současně na mnichovské univerzitě fungovala silná mineralogická a krystalografická škola Paula von Grotha, zastávající hypotézu o prostorové mřížce krystalů.

Do toho vstoupil roku 1911 známý fyzik Ernest Rutherford s objevem, že atom není homogenní, jak se dosud předpokládalo, nýbrž sestává z malého těžkého jádra obklopeného relativně objemnou „prázdnou“ (obývanou pouze zanedbatelně hmotnými elektrony).

## Nápad

Laue později líčil, jak – někdy v únoru 1912 – dostal kýžený nápad: Jeden Sommerfeldův doktorand Laueho navštívil, aby se s ním poradil o své práci z oboru optického vlnění. Laue v daném případě sice poradit neuměl, ale v debatě ho napadlo, že by se krystaly měly prosvítit rentgenovými paprsky. Uvažoval asi takhle: Pokud paprsky jsou skutečně povahy vlnové a pokud jejich vlnová délka alespoň trochu odpovídá dosavadním odhadům ( $10^{-11}$ – $10^{-10}$  m) a pokud zároveň jsou krystaly skutečně zbudovány z pravidelných prostorových mřížek o rozměrech, které jim přisuzují krystalografové ( $10^{-10}$ – $10^{-9}$  m), tedy srovnatelných s rozměry rentgenové vlny, pak se při prosvícení krystalů rentgenovými paprsky musí ukázat zákonité jevy difrakční (ohyb, tedy rozptyl) a z nich vyplývající jevy interferenční (skládání rozptýlených vln). Ty ostatně jsou už dávno známy z viditelné oblasti spektra, u světla rozptýleného na mřížce.

Jenže: Zatímco mřížky pro difrakci světla (při odrazu) ryl do skla už Joseph Fraunhofer v roce 1821, tisíckrát hustší mřížky pro rentgenové záření takto dělat prostě nešlo. A nyní přichází Laueho hvězdná hodina: Jako příslušné mřížky pro ohyb hypotetického

rentgenového vlnění (při průchodu) by mohly posloužit hypotetické mřížky krystalové, tedy běžně dostupné přírodní krystaly.

„Jakmile mě myšlenka, která byla podkladem mého objevu, jednou napadla, zdála se mi tak samozřejmá, že jsem nikdy nepochopil ani údiv, který vyvolala v odborných kruzích, ani pochybnosti, s nimiž se ještě několik let setkávala.“

### Konspirace pro trpělivé

Idea teoretika Laueho ihned získala dva experimentálně zdatné realizátory. Sommerfeldův asistent Walter Friedrich a doktorand téhož Paul Knipping své úvodní pokusy prováděli potají pozdě večer; jejich šéf totiž myšlenku zprvu nepřál soudě, že případné ohyby záření budou vyrušeny tepelnými kmity atomů v mřížce.

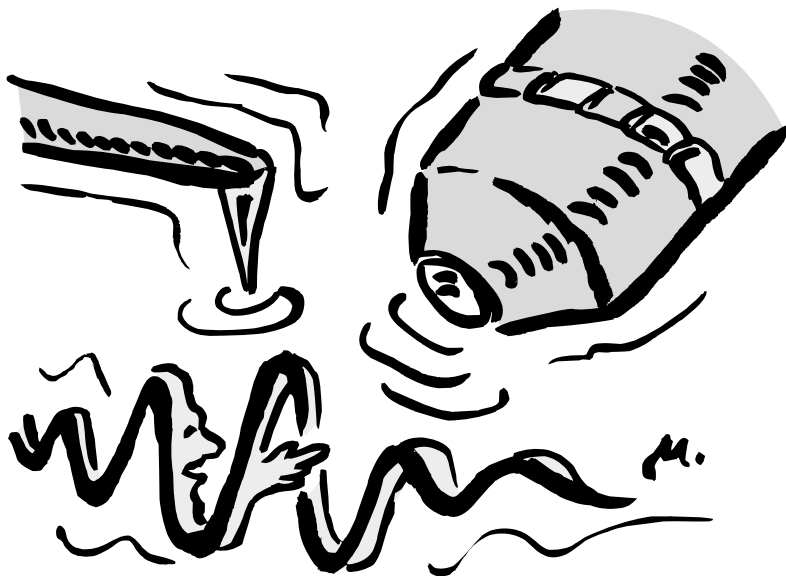
V březnu 1912 se oba asistenti pustili do práce. Jak postupovali? Úzkému svazečku rentgenových paprsků namířenému na citlivou fotografickou desku postavili do cesty nejprve krystal modré skalice („protože byl zrovna po ruce“), přičemž postupně měnili orientaci krystalu vůči směru záření. A vida – hned druhý snímek ukázal interferenci, viditelnou jako sestava oddělených skvrn uspořádaných symetricky vzhledem ke stopě původního svazku! „Byl to pro mne nezapomenutelný zážitek,“ napsal Friedrich, „když jsem pozdě večer docela sám stál ve své pracovně v ústavu u misky s vývojkou a viděl na desce vystupovat stopy odchýlených paprsků...“

Pro zdar tohoto experimentu se ukázalo rozhodující, že rentgenový praktik Friedrich disponující tehdy špičkovou aparaturou (výkonnou rentgenkou chlazenou vodou) zvolil hned od počátku dlouhou, až dvacetihodinovou expozici,<sup>3</sup> a proto zachytil i vychýlené paprsky, oproti paprskům v hlavním směru mnohonásobně slabší.

Příslušnou teorii s výpočty Laue vypracoval teprve po získání prvních interferenčních snímků. Následovala zmiňovaná červnová přednáška a po ní publikace v odborném tisku.

### Pohotoví pokračovatelé

Ještě před otištěním se práce o rentgenové interferenci na krystalech dostala do rukou Williama Lawrence Bragga, dvaadvacetiletého studenta university v Cambridge, syna tamějšího profesora fyziky Williama Henryho Bragga.<sup>4</sup> Junior našel v Laueho výsledcích pár chyb, ale především obrovskou vlastní inspiraci. S otcovou pomocí si obstaral příslušnou aparaturu a začal s ní pracovat po svém. Zjednodušeně řečeno – snažil se používat jednak monochromatické rentgenové záření, jednak krystaly různé známé tloušťky (pro začátek si proto vybral podélné štěpitelnou slídu), navíc měnil úhel dopadu záření na krystal. Poté začal pracovat s monokrystaly jednoduchých sloučenin (NaCl, KCl). V sérii vzájemně navazujících teoretických předpokladů, výpočtů a experimentů odhalil mechanismus difrakce na vnitřní struktuře krystalů (odraz na krystalových



rovinách) a formuloval matematický vztah mezi vlnovou délkou záření, úhlem jeho dopadu na povrch krystalu a mřížkovou konstantou krystalu jako mírou velikosti elementárního krystalu (Braggova podmínka pro vznik difrakce). To vše umožnilo jak určovat strukturu neznámé krystalické látky pomocí monochromatického záření (rentgenové-strukturní analýzy), tak kmitočty neznámého záření pomocí známé krystalické látky (rentgenové spektroskopie).

První práci o tom stihl mladý Bragg vydat ještě v roce 1912.

### Ach, ty Nobelky!

Max Laue, Walter Friedrich a Paul Knipping vyvrátili poslední pochyby o existenci atomů. „Atomy se staly viditelnými!“ napsal roku 1913 druhdy nesmiřitelný protiatomista Wilhelm Ostwald. A slavný brněnský rodák Ernst Mach se na svá stará kolena nemohl atomistů pořádně ptát: „A už jste nějaký ten atom viděli?“

Nobelovu cenu (1914) dostal pouze Laue. O finanční prémii se s oběma kolegy rozdělil. Syn a otec Braggové položili základy rentgenové spektroskopie a rentgenové strukturní analýzy.<sup>5</sup> Braggové dostali Nobelovu cenu (1915) oba, syn jako dodnes nejmladší laureát.

Ceny za takřka stejnou tematiku tedy padly hned po sobě (přičemž kupříkladu Planck ani Einstein ji tehdy ještě nedostali). Je otázkou, zdali se neměli buď o jedinou cenu podělit Laue a Bragg junior, nebo při dvou cenách polovinu první dostat i Friedrich s Knippingem. Každopádně – na vědeckou cenu výsledků všech zúčastněných nemá jejich formální „cenění“ prázdňový vliv. ☺

Je to marné, nic vám o sobě neřeknu. Obraťte se na našeho tiskového mluvčího. Kresba © František Mizera.

1) Dědičný šlechtický titul získal Laueho otec až v roce 1913.

2) Tam tehdy působil i Röntgen. Laue však s *Jeho Excelencí*, jak ho ve vzpomínkách coby tajného radu tituluje, v klidu mluvil jen jednou – během náhodné společné cesty vlakem. Dojem prý byl oboustranně dobrý.

3) Prosvěcovat krystaly rentgenovými paprsky zkoušel už před lety sám Röntgen. Bezvýsledně – právě kvůli krátké expozici.

4) Profesor Bragg patřil do té doby k zastáncům korpuskulární teorie rentgenového záření.

5) Tou, arci v její pokročilejší podobě, byla později určena prostorová struktura řady složitých sloučenin v čele s DNA.