

Max von Laue a jeho objev difrakce rentgenového záření na krystalech

Ivo Kraus

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Břehová 7, 115 19 Praha 1-Staré Město

V březnu 2007 vyhlásila profesní organizace American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, která sdružuje kolem 90 tisíc báňských, metalurgických a naftařských odborníků, výsledky ankety o nejvýznamnější objevy a vynálezy v oblasti technologie materiálů. Není překvapující, že se na prvních místech umístilo zpracování železných a měděných rud, výroba oceli, skla, cementu nebo vynález mikroskopu. Mállokdo by však v první desítce hledal Laueho objev difrakce rentgenového záření na krystalech z roku 1912.

Krystalografie není vědou, které dali jméno naši současníci; její úloha však rozhodně nepatří minulosti. Krystaly jsou pěstovány v laboratořích pozemských i kosmických, na jejich hromadné výrobě závisí prosperita celých průmyslových odvětví. Za zprávy, které o zákonitostech vnitřní stavby krystalických látek přinesly rentgenové, elektronové nebo neutronové paprsky v minulém století fyzikům, chemikům a lékařům, byly uděleny na tři desítky Nobelových cen.

Nositel té první, německý teoretický fyzik Max Theodor Felix von Laue [1], se narodil 9. října 1879 v Pfaffendorfu u Koblenze. Protože se rodina vysokého civilního úředníka císařské armády Julia Laueho často stěhovala, nemá Pfaffendorf – jedno z posádkových měst tehdejší německé říše – v osudech budoucího laureáta Nobelovy ceny jinou úlohu než údaj na rodném listu. Pro Koblenz to byl však důvod dát jméno slavného pfaffendorfského rodáka do názvu svého gymnázia.

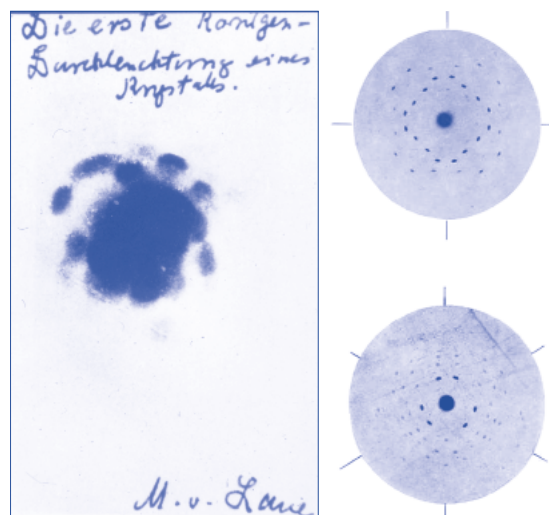
Co se v mládí naučil...

Podle Laueho vzpomínek se jako první pokusil usměrnit jeho zájmy dědeček Theodor Zerrenner, od něhož v deseti letech dostal k Vánocům bohatě ilustrovaný desetidílný Brehmův život zvířat. Zůstalo ale jen při četbě a prohlížení obrázků; hlubší vztah k biologii Laue nikdy nezískal. Odezvu nenašlo ani pozdější matčino přání, aby šel v otcových stopách a stal se právníkem. O jeho budoucnosti rozhodlo až setkání s fyzikou v tercii berlínského gymnázia. „Tehdy jsem – už nevím, v jaké souvislosti – uslyšel, že účinkem elektrického proudu může být z roztoku modré skalice vyloučena měď. Několik dnů nešlo myslet na nic jiného. Matka si přirozeně mého podivného chování všimla, a když

jsem jí svůj problém svěřil, zařídila, abych mohl chodit do Uranie.“ Tak se jmenovala populárněvědecká společnost, která ve svých objektech na berlínské Taubstrasse instalovala velký počet přístrojů pro demonstraci podstaty různých fyzikálních jevů. Stačilo jen podle návodu stisknout správný knoflík.

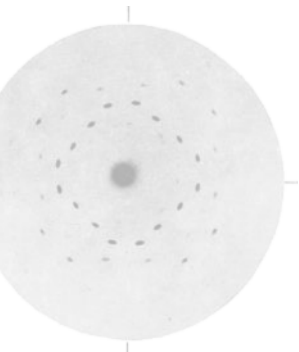
Návštěvy Uranie ale brzy skončily, protože se rodina přestěhovala do Štrasburku. Bylo to vlastně velké štěstí; jinak by nepoznal tamějšího gymnazijního profesora matematiky a fyziky Göhringa. „Tisíce chyb, které měl, by každého jiného před třídou pubertálních gymnazistů zcela znemožnily. Podivínský Göhring však své nedostatky kompenzoval duševní převahou, uznávanou i těmi nejprohnanějšími dareby. Říkal, že konkrétní vědomosti jsou stejně důležité jako logické myšlení a vzdělání je to, co zůstane, jestliže zapomeneme všechno naučené. Přestože nikdy netrestal a také napomenutí byla jen zcela výjimečná, provést při jeho hodině nějakou lumpárnu nikoho ani nenapadlo.“

Už na gymnáziu Laue vynikal mimořádnými schopnostmi teoreticky uvažovat. Pozoruhodně antitalentovaný byl naopak na numerické počítání. „Při maturitní písemné práci mi dohlížející profesor doporučil, abych



Vlevo: Lauegram náhodně orientovaného krystalu modré skalice. Vpravo: Lauegramy krystalu sirniku zinečnatého, na který dopadalo záření ve směru osy čtyřčetné a trojčetné.

100 let
objevu rentgenové
difrakce na krystalech



s řešením příkladu založeného na mechanických výpočtech neztrácel čas, protože to stejně k ničemu nebude.“

U profesora Göhringa poznal poprvé skutečnou fyziku. Na rozdíl od Uranie to však nebyly experimenty, co na něj zapůsobilo; možná proto, že gymnázia neměla na potřebné vybavení fyzikálních kabinetů a laboratoří ani tehdy dostatek financí. „Náš fyzikář byl mezi ostatními profesory výjimečný tím, že doporučoval odborné knihy, které máme přečíst.“ Na jeho radu se Laue v říjnu 1896 pustil do *Přednášek a proslovů (Populäre wissenschaftliche Vorträge)* od Hermanna Helmholtze. „Bylo to velmi obtížné. Podle Göhringa šlo ovšem o četbu srozumitelnou pro každého, kdo není zcela padlý na hlavu.“ Laue se nevzdal a přečetl až do konce nejen stati s fyzikální tematikou, ale i Helmholtzovy filozofické úvahy.

Školní léta by Laueho životní cestu ovlivnila patrně mnohem méně, nebýt dvou spolužáků podobných zájmů. „Náš matematický triumvirát znalo brzy celé gymnázium. Odhalovali jsme tajemství základů diferenciálního a integrálního počtu, zápolili s učebnicí fyziky a vymýšleli různé pokusy. Když se nám podařilo koupit malý indukční přístroj generující vysoké elektrické napětí, zkusili jsme na jaře 1896 zopakovat Röntgenův objev. Výsledek byl bohužel negativní; běžně dostupné výbojky se na buzení paprsků X nehodily.“

Velký problém při mnoha fyzikálních pokusech představovaly koncem devatenáctého století primární zdroje proudu. Jen málokterý soukromý byt měl totiž připojení na městskou elektrickou síť. „Začali jsme proto konstruovat galvanické články. Vzpomínám i na galvanometr vlastní výroby, na náš zájem o optiku, zvláště interferenci světla a tehdy ještě záhadnou difrakci. Přitažlivost a kouzlo optických jevů byly v tom, že jsme je mohli vnímat přímo smyslově, bez měřicích přístrojů.“ Vztah ke geometrické a fyzikální optice, který Laue získal na gymnáziu, sehrál neobyčejně významnou roli v roce 1912 při objevu difrakce rentgenových paprsků na krystalech.

Maturitní zkoušku skládal v březnu 1898. Hodnocení abiturienta, který o 16 let později dostal Nobelovu cenu za fyziku, nebylo nijak lichotivé. *Dostatečný* z němčiny, francouzštiny a dějepisu, *dobrý* v náboženství, latině a řečtině, *velmi dobrý* ve fyzice a matematice. U klasifikace z němčiny komise poznamenala: „Jeho duševní možnosti jsou vyšší než schopnost písemného nebo ústního vyjadřování.“ I Laue sám o sobě později řekl: „Jako můj vlastní je Schillerův vzdech o duši, která sice hovoří, ale není schopna se vyjádřit.“ Angličtinu, která na tehdejších gymnáziích chyběla, Laue později sice zvládl sám při četbě vědeckých knih a časopisů, přesto se vždy cítil jistější s *dostatečnou* gymnaziální francouzštinou. Jeho vzpomínky potvrzují pravdivost německého přísloví: „Co se nenaučil Honzíček, to se Honza už nenaučí.“

Všestranný teoretik

Vojna, na niž musel hned po maturitě nastoupit, znamenala pro Laueho *zastavení duševního vývoje*. Naštěstí tehdy poslechl otce a složil zkoušky pro záložní důstojníky; díky tomu získal povolení studovat v zimním semestru 1898/1899 na štrasburské univerzitě experimentální fyziku. Nejvíce mu z té doby v paměti zůstaly přednášky profesora Karla Ferdinanda Brauna, konstruktéra prvního osciloskopu.

Experimentátorem se ale nestal, hned následující rok začal své životní poslání hledat v teorii. Jeho rozhodnutí ovlivnily zejména spisy Gustava Kirchhoffa a přednášky Woldemara Voigta a Davida Hilberta



na univerzitě v Göttingen, kde studoval od podzimu 1899 do konce roku 1901. „Stále znovu a znovu mě překvapovalo, jak mnoho se dá o přírodě vypovědět pomocí matematických metod, jak je teorie schopna objasnit dosud nepochopitelné skutečnosti.“ S obdivem poslouchal zvláště přednášky vynikajícího matematika Davida Hilberta a ztotožnil se s jeho tezí, že *hlavní význam matematiky pro všeobecné vzdělání člověka je v tom, aby dala možnost nejčistšího a nejbezprostřednějšího prožitku pravdy*. „I když na gymnáziu patřily k mým největším radostem elegantně provedené důkazy matematických tvrzení, hlouběji mě zajímalo využití matematiky ve fyzice. Zabývat se čistou matematikou bylo jako plavat v prázdném prostoru nebo působit silou na těleso, které neexistuje.“

Laue byl, na rozdíl např. od Alberta Einsteina, velmi disciplinovaný student. Přesto pro něj více než mluvené slovo vždy znamenaly knihy. Vyhovovalo mu, že četbu mohl kdykoli přerušit, o přečteném přemýšlet a k nejasnému se podle potřeby kdykoliv vrátit. Přednášky ho zpravidla jen inspirovaly, s čím se má do hloubky seznámit v literatuře.

V zimě 1901–1902 přestoupil z Göttingen na univerzitu do Mnichova. To nejužitečnější, co mu dala, bylo prý fyzikální praktikum Wilhelma Conrada Röntgena. O půl roku později (v letním semestru 1902) se zapsal na Berlínskou univerzitu. Zpočátku chodil k Planckovi na teoretickou optiku, termodynamiku a teorii plynů, později se jako jeho doktorand zabýval interferenčními jevy na planparalelních destičkách. Práce s názvem *Über die Interferenzerscheinungen an planparallelen Platen* „... byla vykonána s plíí a obratností a svědčí o důkladném vzdělání a samostatném myšlení,“ napsal o disertaci její vedoucí uprostřed léta 1903. Ve studiu potom Laue pokračoval – už jako doktor filozofie – ještě dva roky v Göttingen. Kromě návštěvy přednášek o elektronové teorii u Planckova žáka Maxe Abrahama a o geometrické optice u astrofyzika Karla Schwarzschilda tam složil i zkoušky pro vyučování matemati-

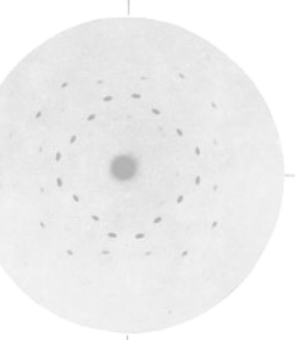
100 let
objevu rentgenové
difrakce na krystalech





První vydání Laueho obsáhlých monografií *Das Relativitätsprinzip* (1911) a *Die Interferenz der Röntgenstrahlen* (1923).

100 let
objevu rentgenové
difrakce na krystalech



ce a fyziky na gymnáziích. Kvalifikaci středoškolského profesora však nikdy nevyužil.

Od podzimu 1905 se Laue stal asistentem na Planckově berlínské katedře teoretické fyziky. Protože mu po splnění pedagogických povinností zbývalo dost času i na vědeckou práci – teorii relativity a využití termodynamiky na optické jevy, mohl už následující rok předložit habilitační práci *Über die Entropien von interferierenden Strahlenbündeln*.

Po třech letech v Berlíně přešel soukromý docent Laue na *Institut für theoretische Physik der Universität München*. Měl před sebou několik šťastných let. Oženil se s důstojnickou dcerou Magdalenou Degenovou, v nakladatelství Vieweg vydal obsáhlou monografii *Das Relativitätsprinzip* o Einsteinově speciální teorii relativity, především však uskutečnil myšlenku, díky níž vznikly dva nové obory experimentální fyziky – rentgenová spektroskopie a strukturní analýza. Slavný pokus vycházel z představy krystalové mřížky v pracích Leonarda Sohnckeho a Paula von Grotha a z hypotézy Arnolda Sommerfelda, že rentgenové paprsky jsou pravděpodobně vlnami o střední délce tisíckrát menší, než má viditelné světlo. Ideu, popis i důsledky difrakčního experimentu, kterým byla správnost obou těchto hypotéz na jaře 1912 zcela jednoznačně potvrzena, Laue později shrnul v obsáhlém díle *Die Interferenz der Röntgenstrahlen* (1923).

Prvním společenským uznáním objevu difrakce záření na krystalové mřížce byla mimořádná profesura v Curychu v létě 1912 a od října 1914 řádná profesura teoretické fyziky ve Frankfurtu nad Mohanem. Na nově založené frankfurtské Goethově univerzitě Laue přednášel – s přestávkou v letech 1916–1918, kdy ve würzberském univerzitním Fyzikálním ústavu sloužil armádě a zdokonaloval zesilovací elektronky pro bezdrátovou telegrafii – až do března 1919.

Další léta žil a pracoval v Berlíně, a to nejen na univerzitě, ale i v Pruské akademii věd (*Preussische Akademie der Wissenschaften*), kam byl krátce po příchodu z Frankfurtu zvolen, ve Fyzikálním ústavu císaře Viléma (*Kaiser-Wilhelm Institut für Physik*) a v Říšském fyzikálně-technickém ústavu v Berlíně-Charlottenburgu (*Physikalisch-Technische Reichsanstalt*).

Vedle optiky, teorie relativity a teorie interakce rentgenového záření s krystalovou mřížkou zajímala Laueho i supravodivost. Vydal o ní monografii *Theorie der Supraleitung* a během let 1937–1947 dvě desítky původních vědeckých prací. Příznivý ohlas a popularitu v mnoha zemích získaly rovněž *Dějiny fyziky*, které napsal v posledním roce druhé světové války při pobytu v Hechingenu v Bádensku-Württembersku.

Jako vědec byl Laue neobyčejně skromný, k hodnocení významu své práce používal prostá slova: „Podstatou mých objevů jsou osvědčené a dobře známé teoretické metody. Bylo třeba je pouze přizpůsobit, aby se daly použít ke speciálním účelům. Všechno, co jsem objevil, má hodnotu jen díky úsilí vynaloženému při výzkumu mnoha našimi současníky.“

Obraz o Laueho lidských vlastnostech, zásadách, pochybnostech i odvaze si můžeme vytvořit z mozaiky jeho vlastních vzpomínek na období nacismu, které prožil celé v Německu, i na léta po porážce třetí říše.

V Hitlerově tisícileté říši

„Celý život jsem byl dostatečně prozíravý a politické činnosti se kromě účasti ve volbách pokud možno vyhýbal.“

To však neznamená, že mohl zůstat úplně apolitický a zavírat oči před tím, co se v Německu dělo od roku 1933, kdy bylo všechno uváděno do politických souvislostí a politicky se také hodnotilo. Třebaže se antisemitismus Laueho osoby přímo netýkal, měl k němu už od školních let přirozený odpor. „Velmi těžce na mne působila nezákonná zvůle nacionálního socialismu, mou profesionální hrdost ponižovalo omezování svobody bádání a nezávislosti vysokých škol. Nikdy, dokonce ani v letech 1914–1918, jsem neprožíval takové obavy o osud své vlasti jako při jejím smrtelném zápasu od konce ledna 1933 do srpna 1934, kdy po smrti prezidenta Hindenburga přešla veškerá moc na Hitlera. Často se mi tehdy vybavovaly verše Heinricha Heineho:

*Když myslím v noci na svou zem,
musím se loučit se spánkem,
z mých očí slzy se mi řinou
nad německou mou domovinou.*

(Překlad z němčiny Vítězslav Nezval)

Atmosféra strachu Laueho nezlomila. Varoval své bezprostředně ohrožené kolegy, podporoval ty, které režim zbavil možnosti pracovat ve vědeckých ústavech, nechýběla mu odvaha pomáhat ohroženým k útěku za hranice. Mohl přitom využít svých odborných kontaktů. Obdivovatele a spolehlivé přátele měl i u nás. O jedné z jeho návštěv informoval německý deník *Bohemia* 10. listopadu 1933: „V sále holešovické Uranie bude dnes v 8 hodin přednáška *Materie und Raumfüllung*. Promluví univerzitní profesor Dr. Max Laue, vynikající fyzik, nositel Nobelovy ceny, spolupracovník Einsteinův, Nernstův aj.“

Své přesvědčení vyjádřil brzy po uchopení moci nacisty zcela veřejně ve vzpomínce na Fritze Habera (1868–1934). Za nekrolog, uveřejněný na jaře 1934 v časopise *Naturwissenschaften*, mu ministerstvo udělilo přísnou důtku.

Až do penzionování v říjnu 1943 byl profesorem Berlínské univerzity a zástupcem ředitele Fyzikálního ústavu císaře Viléma; koncem války odešel společně se svou ženou do Hechingenu, kam byl tehdy Fyzikální ústav evakuován. „Prožili jsme relativně klidný rok. Přestože nad námi denně přelétávaly svazy bombardérů, městečko se našťastí jejich cílem nikdy nestalo.“ Čtyřicetadvacátého dubna 1945 vstoupila do Hechingenu

Dobře uschovaná Nobelova medaile

V dubnu 1940, kdy nacistická vojska obsadila Dánsko, působil maďarský radiochemik George de Hevesy, pozdější laureát Nobelovy ceny za chemii, v kodaňském ústavu Nielse Bohra.

„Když jsem 9. dubna 1940 přišel do laboratoře,“ vzpomíná Hevesy, „svěřil se mi Bohr s obavou o Nobelovu medaili, kterou mu Laue poslal do úschovy. V Německu totiž platilo nařízení odevzdat všechny předměty z drahých kovů ve prospěch Hitlerovy třetí říše. Pokud by nacisté medaili s vyrytým Laueho jménem u Bohra objevili, byl by její nositel vystaven vážnému nebezpečí. Na můj návrh medaili zakopat Bohr nepřistoupil, takové řešení považoval za příliš riskantní. Souhlasil však s tím, abych zlato rozpustil v lučavce královské. Stejně bezpečně jsme ‚uschovali‘ i Nobelovu medaili německého fyzika Jamese Francka.“

Po válce Hevesy zlato z roztoku extrahoval a Královská švédská akademie věd z něj nechala zhotovit pro oba laureáty medaile nové.

francouzská vojska se španělskými republikánskými oddíly. Nepadl ani jediný výstřel. Angloamerickou armádu, která přišla o den později, zajímal výhradně Fyzikální ústav. Jeho obsazení bylo úkolem inženýra ALSOS vytvořeného roku 1943 Američany ke shromáždění informací o německém atomovém výzkumu.

Speciální jednotky odvedly z Hechingen celkem deset fyziků, mezi nimi i Maxe Laueho. Po krátké zastávce v Heidelbergu byli převezeni přes Francii a Belgie na anglické venkovské sídlo *Farm Hall* nedaleko vesnice *Godmanchester* asi 16 km severozápadně od Cambridge. „Žili jsme ve starobylém zámku uprostřed překrásného parku, dovolili nám číst anglické i americké noviny a časopisy nebo poslouchat rádio a občas v automobilu některého ze strážců, anglických důstojníků, vyjet do blízkého okolí. Nedaleká Cambridge, kde by nás mohl někdo poznat, nám ovšem zůstala zakázána. Místo pobytu muselo zůstat utajené dokonce i našim rodinám. Na jedné straně úcta k německým fyzikům, zároveň však nedůvěra a pocit, že jsou stále potenciálním nebezpečím.“



Laueho experiment z roku 1912.

Poválečná kariéra

Když internace v Anglii počátkem roku 1946 skončila, vrátil se Laue s většinou svých kolegů do Göttingen. Přednášel na univerzitě, byl předsedou nově založené společnosti německých fyziků (*Deutsche Physikalische Gesellschaft in der Britischen Zone*), zástupcem ředitele Fyzikálního ústavu císaře Viléma, spolupracoval na založení Fyzikálně-technického ústavu (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*) v Braunschweigu, napsal monografii o supravodivosti, připravil k novému vydání své knihy z předválečného období a v dubnu 1951 přijal nabídku vést Ústav fyzikální chemie a elektrochemie Společnosti Maxe Plancka (*Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie der Max-Planck Gesellschaft*) v Berlíně-Dahlemu. Své rozhodnutí komentoval slovy: „Je velmi zvláštní, jestliže se takové místo nabízí jednadmdesátiletému člověku, a ten je přijímá. Není však zcela zvláštní i celý současný Berlín?“

Laue prožil obě nejhrůznější války světových dějin. Proto nemohl zůstat lhostejný, když 5. dubna 1957 německý spolkový kancléř Konrád Adenauer před zástupci tisku prohlásil, že „taktické jaderné zbraně jsou jenom moderní formou dělostřelectva“, a proto Bundeswehr musí být těmito „téměř normálními zbraněmi“ vyzbrojen. Mezi 18 fyziky ze Spolkové republiky Německa, kteří 12. dubna tuto politiku v tzv. *Göttingenském manifestu* odsoudili, byli kromě Maxe von

Laueho také Max Born, Otto Hahn, Werner Heisenberg, Fritz Strassmann, Carl Friedrich von Weizsäcker a další.

Manifest měl neobyčejný ohlas na univerzitách i v široké německé veřejnosti. Počátkem května se k němu solidárně připojilo i 14 významných osobností jaderné fyziky z Německé demokratické republiky, např. Gustav Hertz.

Na zasloužený odpočinek Laue nikdy neodešel. V Ústavu fyzikální chemie a elektrochemie poprvé chyběl 8. dubna 1960. Tehdy cestou do práce ústavním autem, které jako vždy řídil sám, havaroval. Po dvou týdnech (24. dubna) těžkému zranění v berlínské nemocnici podlehl. Pohřben je na göttingenském hřbitově v blízkosti svého učitele a mnohaletého přítele Maxe Plancka [2].

Zprávy ze světa krystalů

Vraťme se nyní k období diskusí o podstatě rentgenového záření před rokem 1912. Přestože mnohé experimenty svědčily pro vlnovou povahu, závěry jiných takové mínění naopak zpochybňovaly.

S vlnovou teorií byla v souladu především skutečnost, že paprsky se ve vakuu šíří přímočaře stejnou rychlostí jako viditelné světlo a jejich intenzita klesá se čtvercem vzdálenosti od bodového zdroje.

Představa, že paprsky jsou proudem částic, zase umožňovala vysvětlit jejich schopnost ionizovat plyny.

Problémy měli experimentátoři také s odrazem a lomem. Normální odraz pozorován nebyl, a to z důvodů, které jsou od doby, kdy známe vlnovou délku záření, zcela pochopitelné. Dopadá-li např. na klidnou hladinu rtuti rovinná vlna viditelného světla o vlnové délce řádu 10^2 nm, je přirozená drsnost povrchu – odpovídající atomové struktuře – zanedbatelná. Povrch rtuti se chová jako dokonale hladká plocha, nastává normální odraz. V případě rentgenových paprsků jsou však hodnoty nerovnosti povrchu stejné nebo dokonce i vyšší než délka dopadající vlny. Sebehladší povrch je pro paprsky velmi drsný, takže se na něm po dopadu dokonale rozptylují.

Na potvrzení čekal dlouho i lom rentgenových paprsků. Nezjistil ho Röntgen, který zkoušel hranoly a čočky z ebonitu (tvrzeného kaučuku), skla a hliníku, a do roku 1919 ani řada jeho následovníků.

Neúspěšné pokusy prokázat lom i normální odraz vedly dokonce k úvahám, že paprsky nejsou příčným vlněním jako viditelné světlo, ale vlněním podélným. Tuto možnost však vyloučil v roce 1905 Ch. G. Barkla, když se mu podařilo záření polarizovat.

Jednoznačným důkazem vlnového charakteru záření je jeho difrakce a interference. To samozřejmě věděl a snažil se u paprsků X potvrdit nebo vyvrátit už Wilhelm Conrad Röntgen a po něm i řada dalších fyziků. Jenomže k uskutečnění pokusu všem chyběla vhodná difrakční mřížka. Efekt, který např. H. Haga a C. H. Wind nebo B. Walther a R. W. Pohl pozorovali na kónických i klínových šterbinách, byl příliš nepatrný, a proto nepřesvědčivý.

Příčinu neúspěchu našel v roce 1911 Arnold Sommerfeld. Z jeho výpočtu (odhadu) vlnové délky rentgenových paprsků vyplynul neradostný závěr: hodnota 10^{-1} nm je příliš malá, než aby se difrakce dala na uměle připravených mřížkách prokázat.

Zdánlivě bezvýchodnou situaci pomohla vyřešit šťastná shoda několika náhod [3].



Německá poštovní známka vydaná ke stému výročí Laueho narození.

100 let
objevu rentgenové
difrakce na krystalech





Max von Laue (vlevo) a Adolf Scheibe (vpravo).
Zdroj: Wikipedie

Koncem ledna 1912 přišel za Lauem na konzultaci Sommerfeldův doktorand Paul Ewald, který se ve své disertaci zabýval teorií průchodu světelných vln prostorovou mřížkou z polarizovaných atomů (dipólů); za velikost periody mřížky byla ve shodě s tehdejšími odhady atomových rozměrů zvolena hodnota 10^{-1} nm.

Laue sice Ewaldovi neporadil, napadlo ho však, jak podobnost délky vlny rentgenových paprsků a vzájemných vzdáleností atomů v krystalech využít: Jsou-li atomy uspořádány do mřížky (což se předpokládalo), pak by po jejich ozáření rentgenovými paprsky měly vzniknout jevy podobné jevům pozorovaným při dopadu viditelného světla na rytoy optickou mřížku.

Myšlenku pokusu Laue diskutoval s mladými fyziky, kteří se pravidelně scházeli v mnichovské kavárně Lutz, a o Velikonocích při lyžování v Alpách i se Sommerfeldem; ten ho prý přesvědčoval, že tepelným pohybem atomů bude pravidelné uspořádání atomů příliš porušeno a očekávané jevy tedy nevzniknou.

O další se postarala štěstěna. Laue si nejenže svůj nápad nenechal rozmluvit, ale naopak pro něj získal i dva Röntgenovy doktorandy, Waltera Friedricha a Paula Knippinga, kteří byli ochotni a schopni experiment připravít.

K historické události došlo krátce po velikonočních svátcích. Při prvním experimentu s krystalem umístěným tak, aby působil jako reflexní mřížka, žádné efekty pozorovány nebyly. Druhý pokus se však zdařil: v uspořádání, při němž záření procházelo destičkou krystalu síranu měďnatého, se kolem středu fotografické desky objevily tmavé skvrny – stopy paprsků rozptýlených krystalovou mřížkou. Ke stejným výsledkům vedly později i experimenty s krystaly jiných látek.

Na přelomu let 1911–1912 se Laue zabýval teorií rozptýlení světelných vln na optické mřížce, kterou v roce 1835 vypracoval německý fyzik a astronom Friedrich Magnus Schwerd. Protože se mu podařilo Schwerdovu teorii rozšířit i pro dvojrozměrný případ, uměl vysvětlit také interakci záření s trojrozměrnou mřížkou krystalovou.

Bavorská akademie věd se o objevu difrakce záření na krystalech dověděla z dopisu Maxe Laueho, Waltera Friedricha a Paula Knippinga dne 4. května. Za měsíc na to, 8. června, v Akademii o experimentu referoval Arnold Sommerfeld, 14. června vystoupil Laue v Berlíně před Německou fyzikální společností.

Průběh památného shromáždění, kterému předsedal profesor fyziky Berlínské univerzity Heinrich Rubens, připomněl při pětadvacátém výročí objevu v roce 1937 Max Planck: „Když pan Laue po teoretickém úvodu předvedl první snímky ukazující průchod svazku paprsků jen náhodně orientovaným kusem trojklonné modré skalice, bylo na fotografické desce kolem centrálního místa průniku primárních paprsků patrných několik zvláštních malých skvrn. Posluchači se dívali na promítnutý obrázek na tabuli napjaté a nedočkavě, ale přece jen ne docela přesvědčeni. Když však pan Laue ukázal obraz, který reprodukoval průchod paprsků krystalem pravidelného sirníku zinečnatého, orientovaného přesně ve směru primárního záření, s pravidelně uspořádanými interferenčními skvrnami v různých vzdálenostech od středu, tu proběhlo shromážděním všeobecné, jen slabě potlačované *ach!* Každý z nás cítil, že tu byl vykonán velký čin.“

Albert Einstein považoval Laueho pokus za jeden z největších úspěchů, kterého bylo ve fyzice dosaženo. Na pohlednici odeslané Lauemu 10. června 1912 z Prahy napsal: „*Lieber Herr Laue! Ich gratuliere Ihnen herzlich zu Ihrem wunderbaren Erfolg. Ihr Experiment gehört zu dem Schönsten, was die Physik erlebt hat.*“

Podle Maxe Placka to byl příklad plodné spolupráce teorie a experimentu: „I když první podnět k provedení pokusu daly bystré a fantazie plné myšlenkové kombinace Maxe Laueho, přece bylo třeba velké experimentální obratnosti pánů Friedricha a Knippinga, aby se myšlenka stala skutečností... Teorie a experiment patří k sobě, jedno bez druhého zůstává neplodným. Teorie bez experimentů jsou prázdné, experimenty bez teorie zase slepé. Proto si obojí zaslouží stejnou úctu.“ Historie Laueho objevu je přesvědčivou ilustrací významu vědecké hypotézy. Mnoho lidí před Friedrichem a Knippingem ozařovalo krystaly rentgenovými paprsky. Z jejich pozorování, omezeného jen na přímo prošlé paprsky, však kromě zeslabení intenzity nic pozoruhodného nevyplývalo. Na existenci efektů doprovázejících rozptýlení záření upozornila teprve teorie prostorové mřížky.

Idea pokusu, který potvrdil zároveň hypotézu mřížkové stavby krystalických látek i vlnový charakter rentgenového záření, měla hodnotu Nobelovy ceny za rok 1914. V nobelovské přednášce, kterou mohl přednést ve Stockholmu až po válce, 3. června 1920, Laue řekl: „Když jiní nositelé Nobelovy ceny děkovali za vysoké vyznamenání, kterého se jim na tomto místě dostalo, a seznamovali s historií svého objevu, mohli uvést, co bylo na počátku jejich cesty, kolikrát bloudili a znovu nacházeli správný směr k cíli, o němž nikdy nepřestávali věřit, že ho dosáhnou. V mých očích byla jejich zásluha tím větší, čím více těžkostí museli překonat... Já jsem sice o problému interference rentgenových paprsků věděl, nikdy mě však nenapadlo, že bych jej mohl vyřešit. Objev mě proto nestál žádné zvláštní úsilí. Cestu k němu, která se pak ukázala jako nejkratší, jsem spatřil vlastně úplně náhodou.“

Literatura

- [1] I. Kraus: *Fyzika v kulturních dějinách Evropy. Atomový věk.* Česká technika, Praha 2010.
- [2] M. v. Laue: *Gesammelte Schriften und Vorträge.* Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1961.
- [3] H. Hartmann: *Schöpfer des neuen Weltbildes.* Athenäum Verlag, Bodenheim 1952.

