

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Rudolf Michalec

Deset let práce v oboru difrakce pomalých neutronů v Československu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 17 (1972), No. 6, 316--322

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139528>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1972

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>

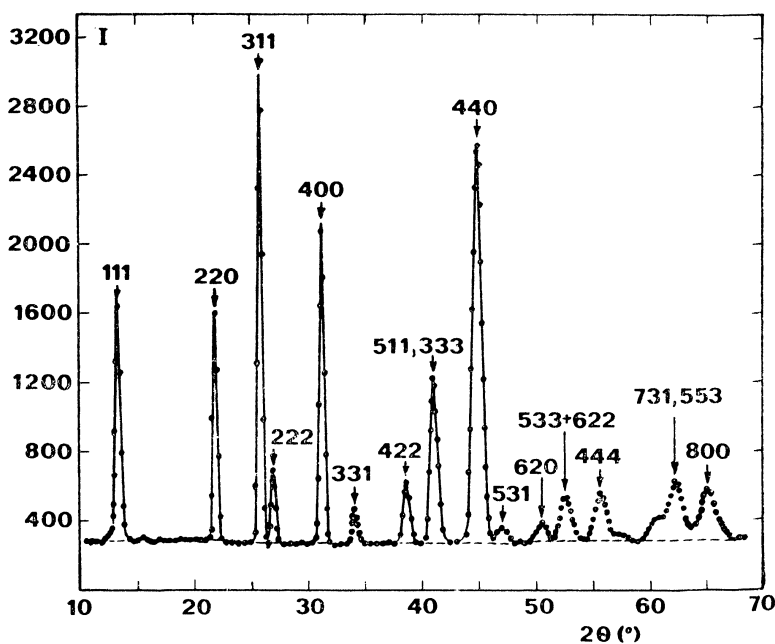
DESET LET PRÁCE V OBORU DIFRAKCE POMALÝCH NEUTRONŮ V ČESKOSLOVENSKU

RUDOLF MICHALEC, Řež

1. ÚVOD

Teoretický a experimentální výzkum v oblasti difrakce pomalých neutronů (dále DPN) byl zahájen ve světě po roce 1946. Tehdy byly již k dispozici intenzivní zdroje těchto neutronů — jaderné reaktory. Široké použití metod DPN způsobilo, že v současné době je u každého výzkumného reaktoru několik difrakčních zařízení sloužících pro různé účely.

V čem spočívá princip DPN v pevných látkách? Při dopadu neutronové vlny na zkoumaný vzorek dochází k jejímu ohybu podle Braggova vztahu, čímž vznikají v určitých směrech difrakční maxima (obr. 1), z nichž je možno určit strukturu dané látky. Zařízení potřebná k těmto experimentům, metodika měření difrakčních spekter a jejich zpracování jsou publikovány v několika monografiích ([1] — [5]).



Obr. 1. Difrakce pomalých neutronů na práškovém vzorku $MgFe_2O_4$ ([1]).

I — intenzita difraktovaného svazku pomalých neutronů, 2θ — úhel mezi dopadajícím a difraktovaným svazkem neutronů.

V minulosti i v současné době je možno výzkum v oboru DPN rozdělit do dvou hlavních směrů:

1. Studium fyzikálních základů difrakčních jevů v pevných látkách (měření amplitud rozptylu neutronů jádru, primární a sekundární extinkce, dynamické jevy v ideálních a mírně deformovaných monokrystalech apod.).
2. Studium struktury a některých vlastností pevných látek.

V této oblasti DPN někdy vhodně doplňuje difrakci rentgenového záření a v mnoha případech je jedinou metodou určení struktury a některých vlastností pevných látek. Rozdílnost interakce fotonů a neutronů s atomy způsobuje, že amplituda rozptylu rentgenového záření je přibližně úměrná atomovému číslu rozptylujícího atomu, kdežto pro neutrony obecně neexistuje jednoduchý vztah mezi amplitudou rozptylu a atomovým číslem. Tak např. rozptyl neutronů atomy vodíku je téhož řádu jako rozptyl v nejtěžších prvcích, na druhé straně rozptyl neutronů atomy železa a kobaltu je značně rozdílný. Z tohoto důvodu se DPN používá pro určení poloh lehkých atomů v mřížce, při studiu struktury slitin s blízkými atomovými čísly (např. Co, Fe) apod. ([1]). Snad největší přednost DPN před difrakcí rentgenového záření se projevila při studiu magnetických struktur, a to zásluhou interakce dipolového momentu neutronů s magnetickým momentem atomů ([4]). Pro tyto účely je vhodné použití difrakce polarizovaných neutronů na zmagnetovaných vzorcích. Rozdílnost interakce neutronů se spiny paralelními a antiparalelními magnetickému momentu atomů dává možnost studovat magnetický rozptyl neutronů, jenž je závislý na magnetické struktuře a vlastnostech zkoumané látky. Velká průniková schopnost pomalých neutronů dává možnost studovat strukturu a vlastnosti pevných látek v hloubce vzorků na rozdíl od pomalých elektronů, které se rozptylují v povrchových vrstvách.

V současnosti lze konstatovat, že DPN čím dále tím více proniká do různých oblastí výzkumu i praxe. Příkladem toho je studium struktur a vlastností složitých biologických objektů, studium nových chemických látek nebo studium známých látek v extrémních vnějších polích (tlak, teplota apod.).

2. EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ A PRÁCE Z OBLASTI DPN v ČESKOSLOVENSKU

V roce 1957 byl v Ústavu jaderného výzkumu ČsKAE v Řeži uveden do provozu jaderný reaktor VVR-S, zakoupený v SSSR. Přibližně do tohoto období sahají i první snahy jednotlivců z různých ústavů ČSAV a vysokých škol o vybudování pracoviště DPN u nás. Avšak teprve začátkem roku 1962 byla v oddělení neutronové fyziky ÚJF ČSAV v Řeži zahájena výstavba dvojsového spektrometru pomalých neutronů SPN-100 a v roce 1965 byly provedeny první difrakční experimenty na tomto zařízení ([6]).

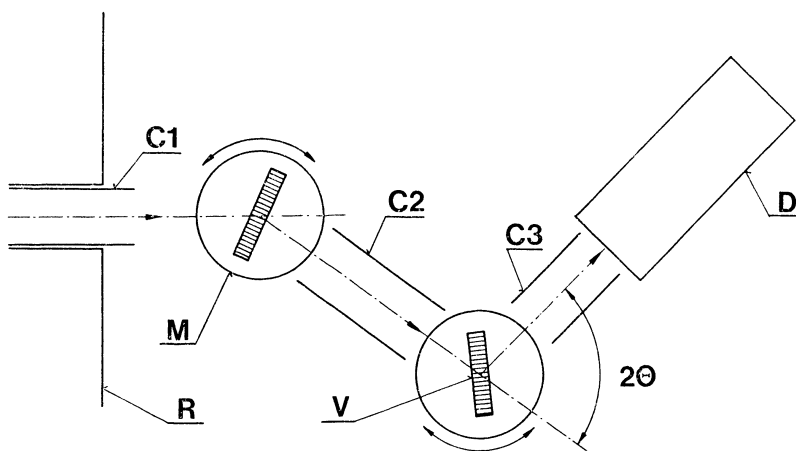
Na obr. 2 je schéma spektrometru SPN-100, vhodného pro studium difrakce polarizovaných i nepolarizovaných neutronů o vlnové délce $\lambda = (0,1 - 2) \text{ \AA}$ na

polykrystalických a monokrystalických látkách; na obr. 3 je fotografie tohoto spektrometru instalovaného u horizontálního kanálu č. 4 reaktoru VVR-S v Řeži.

Fakultou jaderné fyzikálního inženýrství ČVUT v Praze byl zakoupen v Polsku třísosý spektrometr pomalých neutronů KSN-2 a v roce 1968 instalován u horizontálního kanálu č. 2 reaktoru VVR-S v Řeži ([7]).

Společnými silami katedry jaderné fyziky matematicko-fyzikální fakulty UK v Praze a skupiny „Difrakce a spektrometrie pomalých neutronů“ ÚJF ČSAV v Řeži byl instalován u horizontálního kanálu č. 9 reaktoru VVR-S univerzální třísosý spektrometr neutronů TKS-400 ([8]), zakoupený MFF UK v Polsku v roce 1971.

Schéma spektrometru TKS-400 je na obr. 4; fotografie zařízení u reaktoru na obr. 5. Spektrometr pracuje v oblasti vlnových délek neutronů $\lambda = (0,1 - 4) \text{ \AA}$.



Obr. 2. Schéma spektrometru SPN-100.

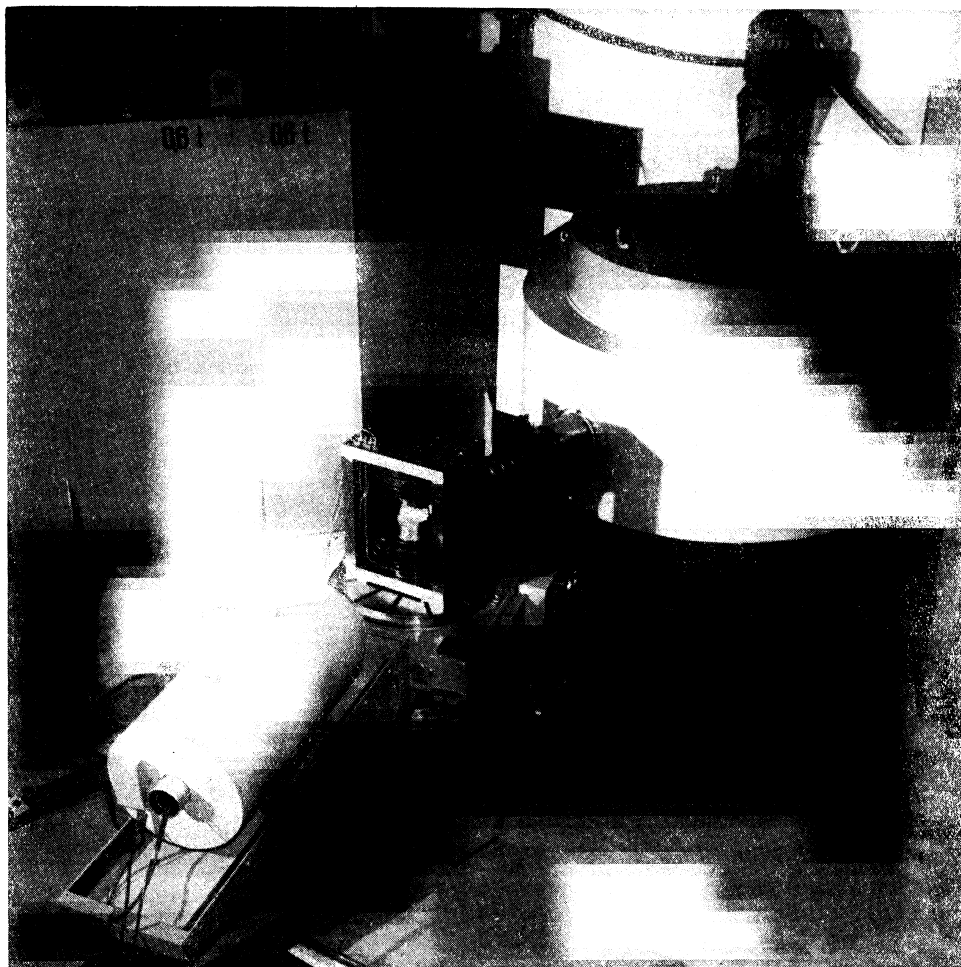
R – reaktor; *M* – monochromátor (monokrystal Co-Fe nebo Zn); *V* – vzorek (v magnetu); *D* – počítač neutronů BF_3 nebo $\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{B}$; *C1*, *C2* a *C3* kolimátory neutronového svazku.

Umožňuje studovat dynamiku pevných látek a kapalin pomocí nepružného rozptylu neutronů na atomech a také provádět difrakční měření na polykrystalech a monokrystalech.

Vybudování moderní experimentální základny v oboru DPN je práce značně náročná. Tak např. požadovaná přesnost nastavování úhlových poloh difrakčního zařízení je v mezích $(0,1 - 60)$ úhlových vteřin při váze přístroje několik tun. Dlouhodobá měření vyžadují plnou automatizaci přístroje s použitím malého elektronického počítače pro řízení a částečné zpracování experimentálních dat.

V Československu se pracuje v obou hlavních směrech DPN. V prvním směru pracuje skupina „Difrakce a spektrometrie pomalých neutronů“ ÚJF ČSAV v Řeži společně s katedrou jaderné fyziky MFF UK v Praze. V letech 1965–1966 byly stu-

dovány zvláštnosti difrakce polarizovaných neutronů magnetickými monokrystaly ([9] – [12]) a také teoreticky prozkoumán vliv kmitání monokrystalů na proces DPN ([13]). Ve spolupráci těchto dvou pracovišť s Vysokou školou strojní a textilní v Liberci, elektrotechnickou fakultou ČVUT v Praze a dalšími pracovišti byla studována DPN kmitajícími monokrystaly buzenými pomocí piezoelektrického, elektrostatického a magnetostrikčního jevu nebo přenosem ultrazvukové energie ve slož-



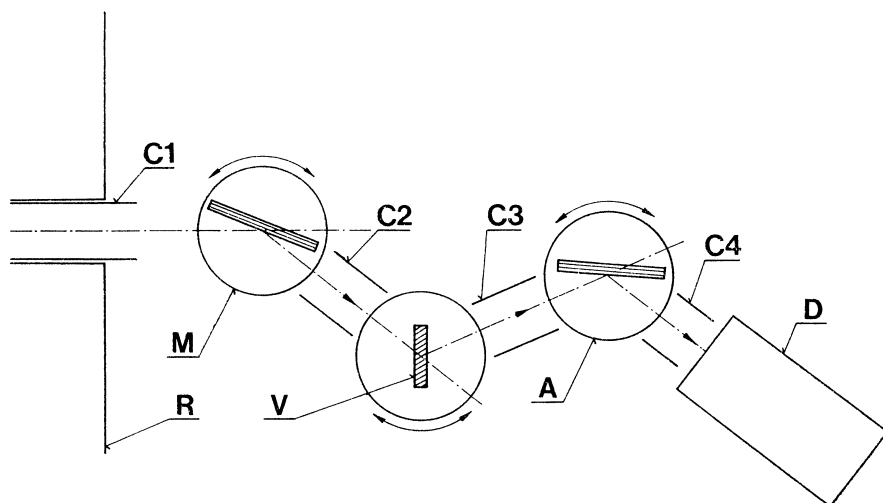
Obr. 3. Fotografie spektrometru SPN-100.

ných rezonátorech. Spojením tří fyzikálních oblastí, tj. neutronů, pevných látek a ultrazvuku, byly získány originální výsledky ([14] – [26]). Bylo pozorováno značné zvýšení intenzity difraktovaných neutronů po rozkmitání rezonátoru-monokrystalu, časová modulace difraktovaných neutronů, Dopplerův efekt a mnohé další jevy.

Experimenty v této oblasti se konají na spektrometru SPN-100. Získané poznatky z oblasti DPN na kmitajících monokrystalech nacházejí uplatnění v různých oblastech fyziky a techniky ([27] – [29]).

Studiem struktury pevných látek metodou DPN se v Československu zabývá především skupina pracovníků fakulty jaderné fyzikální inženýrství ČVUT v Praze. Hlavní pozornost se věnuje studiu magnetické struktury a vlastností pevných látek ([30]). Experimenty z této oblasti se uskutečňují u reaktoru VVR-S na spektrometru KSN-2 a také částečně na spektrometru SPN-100 ([31]).

Základní a aplikovaný výzkum v oblasti DPN v Ústavu jaderné fyziky ČSAV v Řeži byl a je realizován ve spolupráci s Laboratoří neutronové fyziky SÚJV v Dubně. Byly provedeny společné experimenty u reaktoru IBR-30, přičemž bylo využito



Obr. 4. Schéma spektrometru TKS-400.

R – reaktor; *M* – monochromátor (monokrystal Zn); *V* – vzorek; *A* – analyzátor energie rozptýlených neutronů (monokrystal Zn); *D* – počítač neutronů BF_3 ; *C1*, *C2*, *C3* a *C4* kolimátory neutronového svazku.

předností impulsního reaktoru pro tyto účely použitím průletové metody ([32]). Tato metoda dává možnost použít pro difrakci celé neutronové spektrum impulsního reaktoru. Spočívá v tom, že při konstantním úhlu rozptylu neutronů 2θ je možno současně studovat značné množství reflexí zásluhou závislosti doby letu neutronů na jejich vlnové délce. Připravuje se společný výzkumný program u budovaného reaktoru IBR-2 (s vysokým tokem neutronů) v SÚJV Dubna z oblasti studia dynamiky pevných látek metodami neutronové spektrometrie. Úspěšně se rozvíjí spolupráce československých a polských pracovišť v oblasti jaderných metod studia pevných látek, tj. i v oboru difrakce a spektrometrie pomalých neutronů.



Obr. 5. Fotografie spektrometru TKS-400.

3. ZÁVĚR

Deset let práce v oblasti DPN v Československu ukázalo, že v budoucnu je nutno tento obor dále u nás rozvíjet v souladu s celosvětovým trendem prací, prováděných u výzkumných reaktorů našeho typu. Vedle prací z oblasti DPN a studia struktury pevných látek je nutno přistoupit ke studiu dynamiky těchto látek metodami neutronové spektrometrie. Počátek prací v této oblasti byl již zahájen instalací univerzálního tříosého spektrometru pomalých neutronů TKS-400 a realizováním prvních experimentů.

Závěrem je mou milou povinností poděkovat prof. dr. V. PETRŽÍLKOVÍ, DrSc. z matematicko-fyzikální fakulty UK v Praze, doc. inž. J. ZELENKOVÍ, CSc. z Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, inž. B. CHALUPOVÍ, prom. fyz. L. SEDLÁKOVÉ, inž. J. ČECHOVÍ a prom. fyz. P. MIKULOVÍ z Ústavu jaderné fyziky ČSAV v Řeži za cenné diskuse o problematice difrakce a spektrometrie pomalých neutronů v Československu.

Literatura

- [1] BACON G. E.: *Neutron Diffraction*, 2nd Edition. Oxford. The Clarendon Press, 1962
- [2] GURJEVIČ I. I., TARASOV L. V.: *Fizika nejtronov nizkích energií*. Moskva: Izdat. Nauka, 1965
- [3] ARNDT U. W., WILLIS B. T. M.: *Single Crystal Diffraction*. Cambridge: The University Press, 1966
- [4] IZUMOV JU. A., OZEROV R. P.: *Magnitnaja nejtronografija*. Moskva: Izdat. Nauka, 1966
- [5] WILLIS B. T. M. (Editor): *Thermal Neutron Diffraction*. Oxford: The University Press, 1970
- [6] MICHALEC R., VAVŘÍN J., CHALUPA B., VÁVRA J.: *Jaderná energie* 12 (1966), 421
- [7] VRATISLAV S.: *Jaderná energie* 17 (1971), 191
- [8] PETRŽÍLKA V., MICHALEC R., CHALUPA B., SEDLÁKOVÁ L., ČECH J., MIKULA P., VÁVRA J.: *Jaderná energie* (1972), v tisku
- [9] CHALUPA B., MICHALEC R., BISCHOF J., GALOCIOVÁ D.: *Czech. J. Phys. B* 16 (1966), 942
- [10] MICHALEC R., CHALUPA B., GALOCIOVÁ D.: *Čes. Čas. fyz. A* 19 (1969), 267
- [11] MICHALEC R., ŠTICH V.: *Czech. J. Phys. B* 19 (1969) 278
- [12] CHALUPA B., MICHALEC R., GALOCIOVÁ D., BISCHOF J.: *Czech. J. Phys. B* 19 (1969), 1608
- [13] PETRŽÍLKA V.: *Czech. J. Phys. B* 16 (1966), 458. *Nature* 218 (1968), 80; *Czech. J. Phys. B* 18 (1968), 1111
- [14] CHALUPA B., MICHALEC R., PETRŽÍLKA V., TICHÝ J., ZELENKA J.: *Phys. Stat. Sol.* 29 (1968), K 51
- [15] MICHALEC R., CHALUPA B., PETRŽÍLKA V., GALOCIOVÁ D., ZELENKA J., TICHÝ J.: *Phys. Stat. Sol.* 31 (1969), K 95
- [16] CHALUPA B., MICHALEC R., GALOCIOVÁ D.: *Nucl. Instr. and Methods* 67 (1969), 357
- [17] MICHALEC R., CHALUPA B., ČECH J., PETRŽÍLKA V., KADEČKOVÁ S., TARABA O.: *Phys. Lett.* 29 A (1969), 679
- [18] GALOCIOVÁ D., TICHÝ J., ZELENKA J., MICHALEC R., CHALUPA B.: *Phys. Stat. Sol. (a)* 2 (1970), 211
- [19] CHALUPA B., MICHALEC R., VÁVRA J.: *Atomnaja energija* 28 (1970), 413
- [20] PETRŽÍLKA V., VRZAL J., MICHALEC R., CHALUPA B., MIKULA P., ZELENKA J.: *Phys. Stat. Sol.* 42 (1970), 895
- [21] MICHALEC R., SEDLÁKOVÁ L., CHALUPA B., GALOCIOVÁ D., PETRŽÍLKA V.: *Acta Cryst. A* 27 (1971), 410
- [22] MICHALEC R., SEDLÁKOVÁ L., ČECH J., PETRŽÍLKA V.: *Phys. Lett.* 37 A (1971), 403
- [23] MICHALEC R., CHALUPA B., SEDLÁKOVÁ L., MIKULA P.: *J. Appl. Cryst.* (1972) v tisku
- [24] SEDLÁKOVÁ L., MICHALEC R., CHALUPA B., MIKULA P., KADEČKOVÁ S.: *J. Phys. Chem. Sol.* (1972), v tisku
- [25] CHALUPA B., MICHALEC R., MIKULA P., SEDLÁKOVÁ L., ČECH J., TARABA O.: *Phys. Stat. Sol. (a)* (1972), v tisku
- [26] MICHALEC R., SEDLÁKOVÁ L., ČECH J., PETRŽÍLKA V., ZELENKA J.: *Phys. Stat. Sol. (a)*, (1972), v tisku
- [27] MICHALEC R., CHALUPA B., GALOCIOVÁ D., MIKULA P.: *Phys. Lett.* 28 A (1969), 546
- [28] ZELENKA J., TICHÝ J., CHALUPA B., MICHALEC R., PETRŽÍLKA V.: *Brit. Jour. Appl. Phys.* 2 (1969), 1041
- [29] ZELENKA J., PETRŽÍLKA V., VRZAL J., MICHALEC R., CHALUPA B., SEDLÁKOVÁ L.: *Acustica* (1972), v tisku
- [30] VRATISLAV S.: *Soukromé sdělení*, 1972
- [31] KVAPIL J., KVAPIL J., SEDLÁKOVÁ L., MICHALEC R., CHALUPA B.: *J. Cryst. Growth* (1972), v tisku
- [32] BURAS B.: *Proceedings of a Panel Research Applications of Nuclear Pulsed Systems*, Dubna, 18–22. July 1966 Vienna: International Atomic Energy Agency 1967, 17