

Ludmila Dobiášová

250. rozhovory o otázkách v rentgenové a neutronové strukturní analýze

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 46 (2001), No. 4, 328--334

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141099>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2001

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>

250. Rozhovory o otázkách v rentgenové a neutronové strukturní analýze

Ludmila Dobiášová

1. *Rozhovory o otázkách v mikrorentgenu* se konaly z podnětu prof. Adély Kochanovské 21. 4. 1954. Od té doby rentgenáři na svých pravidelných odborně-společenských setkáních probírají pracovní i nepracovní problémy. 400 českých a slovenských rentgenářů tvoří Krystalografickou společnost, která vznikla v roce 1991. Na internetové adrese www.xray.cz se dozvíte vše o aktivitách této společnosti a v případě zájmu Vám zašleme na ukázkou časopis *Materials Structure*, který vychází dvakrát za rok.

250. *Rozhovory*, konané v březnu 2001, byly příležitostí, aby zástupci rtg laboratoří podali krátký výčet ze svých skutků v bádání v přítomnosti, s malým ohlédnutím do minulosti a nadějným očekáváním do budoucnosti. Protože jsem tam taky byla a víno i kávu pila, vybrala jsem pro vás příspěvky zástupců laboratoří, které patřily mezi první rentgenová fyzikální pracoviště v České republice. Jsou to: prof. J. Fiala (Škoda s. r. o., Plzeň), prof. I. Kraus (FJFI ČVUT, Praha), doc. J. Kuběna (PřF MU, Brno), RNDr. V. Petříček, RNDr. C. Novák, RNDr. Z. Šourek (FzÚ AV ČR, Praha), prof. V. Valvoda (MFF UK, Praha).

1. Ne tak dávná minulost, aneb jak se kde začínalo

Prof. J. Fiala: Historie využívání rentgenové difrakce v Plzni se datuje do roku 1943, kdy Škodovy závody zakoupily pro svůj „pokusný ústav“ mikrostrukturní rentgenový přístroj Mikro 60 hamburské firmy C. H. F. Müller. V padesátých letech bylo pak pořízeno ještě několik Mikromet firmy Chirana, registrační fotometr a roku 1963 přístroj Kristaloflex IV firmy Siemens. Vývoj přístrojového parku laboratoře byl završen roku 1986 zakoupením difraktometru DRON-3M leningradské firmy Burevesnik. Analyzoval se zbytkový austenit v ocelích a karbidy, resp. nitridy v izolátech, fázové složení slitin na bázi mědi, hliníku a titanu, keramika (šamoty, dinas, vysocehlinité materiály, cordieritová keramika), sklokeramika (tavený čedič), plasty (polyamidy, polyetylen), materiály na bázi uhlíku, korozní produkty, různé povlaky, nástřiky, nitrinované vrstvy. V sedmdesátých letech se laboratoři rentgenové difrakce vytvořila „konkurence“ elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, která byla ve Škodovce znamenitě posílena a v osmdesátých letech se zde pracovalo na metodice Kosselovy difrakce, jež se měla stát mostem mezi elektronovou mikroskopií a rentgenovou difrakcí. Vybavení škodovacké laboratoře bylo skromné, a proto se vedle čítačové registrace desítky let hojně používala i fotoregistrace. Tak se nashromáždilo mnoho poznatků o azimutál-

LUDMILA DOBIÁŠOVÁ, e-mail: lidobias@volny.cz

ním (laterárním) profilu difrakčních linií, tedy informací, které jsou na konvenčním práškovém difraktometru nedostupné. Ukázalo se, že dedukce, které lze na základě azimutálního profilu difrakčních linií činit o reálné struktuře materiálu, jsou velmi užitečné a často jinými metodami nenahraditelné.

Prof. I. Kraus: O tom, že kabinet fyziky pevných látek zřízený v létě 1960 na Fakultě technické a jaderné fyziky musí mít mikrostrukturní rentgen, rozhodl počátkem roku 1961 prof. Luboš Valenta. Čím se má laboratoř rentgenové difrakce zabývat, to nechal na paní profesorce Adéle Kochanovské, která už tehdy s fakultou úzce spolupracovala. Její návrh — měřit mřížkové deformace vyvolané v technicky důležitých polykrystalických kovech a slitinách zbytkovým napětím — byl realistický a přitom (jak se dodnes ukazuje) neobyčejně šťastný. Za celých čtyřicet let jsme ani jednou nemuseli trpět pocitem, že děláme něco, co vlastně není potřeba.

Doc. J. Kuběna: Počátek rentgenové laboratoře fyzikálního ústavu univerzity v Brně se datuje rokem 1945, kdy po Němcích zůstala na fakultě rentgenová aparatura Müller s Debyeovou-Scherrerovou komůrkou a komůrkou na zpětný odraz a na Laueovu metodu. Aparatura byla tehdejšími studenty a pozdějšími asistenty uvedena do chodu a byla využívána ke strukturní analýze různých technických materiálů. V šedesátých letech se rtg laboratoř stala součástí katedry fyziky pevné fáze. Nastoupil jsem zde v r. 1960 jako asistent a snažil jsem se pokračovat v problematice své diplomové práce orientované na analýzu profilů rentgenových difrakcí na polykrystalických materiálech. Přístrojově byla laboratoř posílena rentgenovým goniometrem Chirana a rozvíjela se spolupráce s Ústavem fyzikální metalurgie ČSAV v oblasti difúze kovů. Toto studium nakonec vyústilo v práci týkající se koherence rentgenového záření a jejího vlivu na rentgenovou difrakci. K odbornému růstu v této době významně přispívaly jednak samotné *Rozhovory*, které organizovala prof. Kochanovská, jednak diskuse s pracovníky Ústavu fyziky pevných látek ČSAV v Praze, jmenovitě s dr. J. Čermákem. V sedmdesátých letech se odborné zaměření celé katedry přeorientovalo na studium vlastností polovodičů modifikovaných implantací iontů, a tím pro rtg laboratoř začala éra studia defektů v monokrystalech a éra úzké spolupráce s polovodičovým průmyslem. První rtg topogramy pomocí dvoukrystalového uspořádání pořídil Z. Janáček v rámci diplomové práce. Spolupráci s průmyslem v r. 1973 značně posílilo vybavení rtg laboratoře Langovou komorou pro topografii s ABAC systémem fy Siemens. Dodnes je záhadou, jak se tato velká investice do naší laboratoře dostala, když ji nikdo neobjednal. Rtg laboratoř byla prakticky v útlumu, neboť já jsem byl z politických důvodů na vysoké škole neperspektivním pracovníkem. Jednoho dne se dostavil na katedru pracovník ministerstva školství. Uvedenou aparaturu nám nabídl, ale po zjištění personální situace rychle z nabídky vycouval. Slušní kolegové ze sousední fyzikální katedry však nezaspalí a záruku, že tato vzácná investice bude využita perspektivními pracovníky, vzali na sebe. Prakticky ji však dali k dispozici naší rtg laboratoři.

Dr. V. Petříček a kolegové: Laboratoř pro zkoumání polykrystalických materiálů založila v našem ústavu A. Kochanovská. Po jejím odchodu na FJFI převzal vedení laboratoře v roce 1968 dr. J. Čermák, který začal s výzkumem vlivu únavy materiálů na intenzitu rentgenových difrakčních čar. Kromě konstrukce únavového stroje postavil

rentgenový difraktometr, sestrojil achromatickou komůrku a vysokoúhlový rentgenový monochromátor, dodnes v laboratoři používaný. Počátky laboratoře rentgenové difrakční topografie jsou spojeny se jménem stále aktivní dr. M. Polcarové, jejíž první zobrazení magnetických domén se stalo součástí učebnic rentgenové difrakční topografie.

Laboratoř pro studium struktur nebyla vlastně oficiálně založena, ale existuje již padesát let. Jako její počátek je možné označit přestěhování tehdejšího „Ústředního ústavu fyzikálního“ do prostor v Cukrovarnické ulici v r. 1951. V začátcích byla laboratoř vybavena více než skromně — jeden Weissenbergův goniometr a jedna Debyeova-Scherrerova komůrka anglické firmy Unicam a domácí sestavený zdroj rtg záření, vybavený trubicí Metalimex z dovozu (u nás se do padesátých let rtg zařízení nevyráběla). Později přibyla jedna Mikrometa, dva Weissenbergovy goniometry z NDR a jeden integrační Weissenbergův goniometr vyrobený v Ústavu přístrojové techniky ČSAV v Brně. V r. 1967 získala laboratoř čtyřkruhový difraktometr fy Hilger & Watts. Ten představoval ve své době špičkové zařízení pro měření integrálních intenzit difrakcí monokrystalického vzorku. Difraktometr byl řízen pětistopou děrnou páskou a výsledky se zaznamenávaly ve stejné formě. Ovládacím pultem byl paralelní dálnopis. Ten se ukázal jako nejslabší článek, a proto bylo rozhodnuto vytvořit převodník pro řízení difraktometru z běžně dostupných sériových dálnopisů. Převodník měl pracovní název „Dábel“, který jasně vyjadřoval jeho význam a komplikovanost. Difraktometr byl založen na optické kontrole nastavování kruhů a i po mnoha letech provozu byl mechanicky velmi spolehlivý. To nám umožnilo provést celou řadu inovací, které z původně poloautomatického zařízení vytvořilo hodnotný automatický difraktometr. První připojení difraktometru k počítači bylo provedeno počátkem osmdesátých let, kdy byl využit centrální řídicí počítač M7000. Byl vytvořen systém programů pro řízení všech etap měření na difraktometru. Úroveň programového vybavení značně převyšovala běžné komerční programy. Difraktometr Hilger & Watts věrně sloužil až do roku 2000, kdy byl nahrazen difraktometrem Xcalibur of Oxford Instruments.

Protože řešení krystalové struktury je založeno na náročných numerických operacích, využívali jsme kromě vlastních jednoúčelových strojů také výpočetní techniku v jiných ústavech ČSAV. Jen těžko si dnes mladí krystalografové dokáží představit, jaké úsilí vyžadovalo řešení poměrně malé struktury (okolo 20 nezávislých atomů). Řešeny byly vesměs struktury látek s těžkým prvkem Pattersonovou syntézou. O to více vyniká pionýrská práce Allana Línka — vyřešení struktury vinanu etylendiaminu, látky, která obsahuje 14 lehkých nevodíkových atomů. Řešení s maximálním využitím tehdejších možností trvalo 8 let (1949–1957). Model struktury vinanu ethylendiaminu byl jako exponát na výstavě v Bruselu roku 1958.

Prof. V. Valvoda: U počátku rozvoje rentgenové spektroskopie a rentgenové difrakce na Univerzitě Karlově stál profesor Václav Dolejšek, objevitel série N emisního rentgenového záření atomů. S difrakcí rentgenového záření začínal ve třicátých letech ve Spektroskopickém ústavu tehdejší Přírodovědecké fakulty UK (v rentgenoskopické laboratoři založené v r. 1924). Rentgenová strukturní analýza se stala jednou ze základních aktivit katedry fyziky pevných látek Matematicko-fyzikální fakulty zalo-

žené v r. 1951. Vedoucím katedry byl prof. Miloslav Valouch, který se zaměřoval na výzkum fyziky kovů, a rentgenografické oddělení měl na starosti doc. Josef Šedivý. Náplň práce navazovala na dřívější úspěšné působení prof. Adély Kochanovské ve Fyzikálním ústavu Univerzity Karlovy v oblasti studia mikrostruktury polykrystalických materiálů (tehdy se používal poetický termín jemná struktura). Oddělení strukturní analýzy přetrvává na Matematicko-fyzikální fakultě dodnes, i když se v průběhu let dvakrát změnil název mateřské katedry a tyto organizační změny zčásti poznamenaly náplň práce oddělení, především volbou materiálů a navazující fyzikální problematikou. Hlavní orientace na polykrystalické a práškové materiály však zůstávala stále zachována, jednak z historických důvodů v návaznosti na předchozí zkušenosti a jednak z důvodů technických, neboť instrumentální vybavení oddělení se po léta budovalo právě s tímto zaměřením. Významným předělem bylo zakoupení automatizovaného práškového difraktometru Philips v roce 1974. Od té doby se naše přístrojové vybavení postupně rozrůstalo a vylepšovalo o doplňky pro měření při velmi vysokých a nízkých teplotách, pro analýzu mikrostruktury látek (nástavce pro měření zbytkového napětí a textur) a pro analýzu tenkých vrstev a multivrstev (difraktometry s nestandardními fokusacemi záření). Za naše významnější příspěvky v minulosti pokládáme práce věnované antisymetrickým kmitům atomů, práce o deformaci elektronové struktury vlivem meziatomových vazeb, metodické práce věnované korekcím vlivu textury v práškové difraktometrii, učebnici Základy strukturní analýzy a příspěvek do mezinárodně uznávané „bible“ krystalografů, The International Tables for Crystallography, v roce 1992.

2. Přítomnost

Prof. J. Fiala: Kromě firmy Škoda Výzkum, s. r. o., je rentgenová difrakce také využívána na katedře fyziky Západočeské univerzity v Plzni. Od roku 1986 se zde začala intenzivně studovat problematika využití nízkoteplotního plazmatu pro zlepšování užitečných vlastností povrchu materiálů metodami plazmové nitridace a magnetronové depozice.

Prof. I. Kraus: Pracovníci rentgenografické a neutronografické laboratoře zajišťují na FJFI výuku krystalografie jak pro posluchače inženýrství pevných látek, tak pro další zaměření oborů fyzikálního a jaderného inženýrství. Ke všem předmětům jsou k dispozici učební texty nebo učebnice zpracované učiteli katedry. Vědecká činnost rentgenografické laboratoře je zaměřena především na využití rentgenové difrakce k určení vztahu mezi různými technologiemi mechanického, tepelného a tepelně-chemického opracování technicky důležitých materiálů a odpovídajícími deformacemi krystalové mřížky.

Doc. J. Kuběna: V roce 1975 nastoupil na katedru jako asistent V. Holý a společně jsme se začali intenzivně věnovat otázkám dynamické teorie difrakce na monokrystalech s porušenou krystalovou mřížkou. Pracovali jsme jak po stránce teoretické, tak experimentální na objasnění vzniku kontrastu při zobrazování strukturních defektů a jiných nehomogenit v Si. Změna politické situace v r. 1989, zákonitě zhroucení našeho

polovodičového průmyslu, otevření se světu a navázání nových vědeckých kontaktů vedly k zásadní změně orientace na náplň práce rtg laboratoře. Zaměřili jsme se na studium struktury supermřížek, monokrystalických i amorfních multivrstev a v posledních letech i na studium kvantových drátů a kvantových teček. Vůdčím duchem a organizátorem těchto prací je Václav Holý se svými rozsáhlými mezinárodními kontakty. Jejich náplní je zejména teoretické řešení nových difrakčních problémů, které s sebou přináší tyto nové nanostrukturní materiály, včetně interpretace experimentálních dat naměřených často u synchrotronu na unikátních vzorcích.

RNDr. V. Petříček a kolegové: Laboratoř Rotan, nástupkyně některých již zmíněných laboratoří, je vybavena rtg generátorem Rigaku RU 300 s rotující anodou o výkonu 18 kW. K měření se využívá trojkrystalový difraktometr Bede 200 a dvoukruhový difraktometr Huber 424 s parabolickým Göbelovým zrcadlem, tedy uspořádání s rovnoběžným svazkem, výhodné pro zkoumání tenkých vrstev všeho druhu. Z technologií, jejichž výrobky se charakterizují, lze mj. jmenovat ablaci excimerovým laserem, např. nanášení biokompatibilních hydroxylapatitových vrstev na titanové zubní náhrady, nebo magnetronové naprašování, např. se studují vrstvy LiCoO_2 pro lithium-iontové sekundární mikrobaterie nebo se kontroluje fázové složení nanokompozitních vrstev nitridů s vysokou tvrdostí. V oblasti studia monokrystalických vzorků, pro něž se používá trojkrystalový difraktometr, se užívají především metoda rentgenové difrakce s vysokým rozlišením a rentgenová reflektometrie. Nesporná přednost rentgenové difraktometrie je v její mimořádné citlivosti na extrémně malé deformace mříže. Rentgenová reflektometrie se používá např. k určování drsnosti povrchu a rozhraní, tloušťky vrstev, průměrné hustoty multivrstvy apod.

Výpočetní možnosti laboratoře pro studium struktur se rozšířily v r. 1981, kdy jsme získali počítač Siemens 7356. Přímá interakce operačního systému s uživatelem dovolila vytvořit programy, které komunikovaly s uživatelem při zadávání vstupních údajů a provádění testů. Například kontrolu konzistence mřížkových parametrů s prostorovou grupou. V roce 1984 byla během mého pobytu v laboratoři P. Coppense vyřešena modulovaná struktura (BEDT-TTF) $2\text{I}3$, perspektivního organického supravodiče a vznikl též systém programů JANA k řešení krystalových struktur. Systém JANA se každé dva roky upravuje, je vybaven grafickým převodníkem a může být instalován jak na PC, tak na UNIX systémech. Poskytuje se bezplatně a má asi 250 uživatelů. V roce 1990 bylo publikováno první úplné vyřešení struktury vysokoteplotního supravodiče $\text{Bi}_{2.14}\text{Pb}_{0.19}\text{Sr}_{1.02}\text{Ca}_{0.4}\text{CuO}_6$ a v r. 1994 spolu s S. van Smaalenem struktura nízkoteplotní modifikace fullerenu C70.

Prof. V. Valvoda: Členové oddělení strukturní analýzy zajišťují výuku krystalografie a strukturní analýzy v oboru fyzika pevných látek a částečně též v dalších oborech (biofyzika, fyzika polymerů ap.). Současné přístrojové vybavení laboratoře tvoří osm automatizovaných difraktometrů, převážně s Braggovou-Brentanovou fokusací. Dva difraktometry jsou určeny pro výzkum tenkých vrstev a používají paralelní svazek nebo Seemannovu-Bohlinovu fokusaci. Tenké vrstvy a multivrstvy jsou také hlavním předmětem našeho současného bádání. Pokračuje však i výzkum dalších materiálů, jako jsou strukturně a chemicky gradované funkční materiály (a navazující pro-

blematika interdifúze), nanokompozity, ferroelektrika, intermetalika, kvantové tečky a jámy, uhlíkové kompozity, kapalně krystalové a další materiály. Instalace nízkoteplotního difraktometru Oxford Instruments s možností měřit do teplot kapalného helia s rychlým snímáním difrakčního obrazu pomocí polohově citlivého detektoru umožňuje studium strukturálních změn v širokém teplotním intervalu. V současné době se toto zařízení využívá především při studiu magnetických intermetalik. Část výzkumu povrchových struktur provádíme v laboratoři Rotan ve spolupráci s pracovníky FzÚ AVČR. Nezanedbatelný podíl v našich aktivitách má organizační práce v Krystalografické společnosti, příprava seminářů, konferencí, výstav a mezilaboratorních testů.

3. Budoucnost

Prof. J. Fiala: Doufám, že bude pokračovat úzká spolupráce pracovníků rtg laboratoře firmy Škoda Výzkum s mladými pracovníky a studenty z katedry fyziky Západočeské univerzity. Koncem roku 2001 bude zakoupen na katedru fyziky difraktometr D8 firmy AXS Bruker s plošným pozičně citlivým elektronickým detektorem pro sledování vývoje reálné struktury materiálu v průběhu jeho výroby a během provozní degradace.

Prof. I. Kraus: Náš početně malý kolektiv úspěšně plní jak pedagogické, tak vědecké úkoly. Podílíme se na grantech, ať již se týkají tenzometrické analýzy pro speciální technologické postupy, nebo zaměřených na zlepšení výuky krystalografie na vysokých školách. Rovněž přisun tenzometrických problémů řešených na žádost našich strojírenských závodů neustává. Chybějí nám mladí spolupracovníci.

Doc. J. Kuběna: Odborné zaměření rtg laboratoře zůstane pro nejbližší léta v podstatě beze změny, protože studium vlastností nanostruktur patří mezi perspektivní obory, od nichž se očekávají nové aplikace v oblasti magnetických, elektrických i optoelektronických vlastností materiálů. Zařízení laboratoře sice nemůže soutěžit se specializovanými goniometry v laboratořích se synchrotronovým zdrojem záření, ale může významně přispět k pochopení principů rtg reflexe a difrakce a tím i funkce nezbytných rtg optických prvků, které se u těchto aparatur vyskytují. Všichni pracovníci laboratoře se i nadále budou podílet na výuce studentů a výchově nových vědeckých pracovníků.

RNDr V. Petříček a kolegové: Ač máme v laboratoři Rotan velmi intenzivní zdroj rentgenového záření, vítáme experimentální možnosti u synchrotronů v Orsay, Terstu a Grenoblu jak pro studium skluzových dislokací s hranicemi zrn, tak pro zkoumání vnitřní struktury multivrstev.

Allan Línek, který okolo sebe soustředil první skupinu pracovníků, vedl laboratoř studia struktur až do své smrti v r. 1984. Jeho podíl na práci skupiny byl obrovský. Velmi dbal na to, aby problémy řešené v laboratoři přinášely nejen užitek vyřešením struktury, ale abychom přispívali i k metodice řešení obtížných struktur. Velký důraz kladl na to, aby znalost základů strukturální analýzy byla na vysoké úrovni. Tím byly vytvořeny předpoklady k významným výsledkům v teorii modulovaných struktur. Do naší skupiny se nám podařilo získat mladého vědeckého pracovníka.

Prof. V. Valvoda: Budoucí zaměření rentgenografické laboratoře na katedře fyziky elektronových struktur Matematicko-fyzikální fakulty UK v Praze bude do značné míry určeno požadavky pedagogickými a jistě ovlivněno i úzkou spoluprací v rámci katedry při studiu vlivu elektronové a atomové struktury látek na fyzikální vlastnosti. Studium struktury polykrystalických forem intermetalik, magnetik, polovodičů a mnoha dalších materiálů včetně kapalných krystalů a polymerů bude náplní naší práce v příštích letech, spolu s hlavní orientací na tenké vrstvy, multivrstvy a povrchové struktury. Naše katedra je též koordinátorem a zástupcem České republiky při podávání projektů pro výzkum struktury a vlastností látek pomocí rozptylu a difrakce neutronů ve významném středisku evropské vědy — v Institutu Laueho a Langevina v Grenoblu. Tento zdroj záření se výrazně uplatní při budoucím studiu elektronové a magnetické struktury látek na našem pracovišti. Za obzvlášť významné pokládáme úzké spojení strukturního výzkumu s dalším fyzikálním studiem vlastností látek, neboť jedině tak nacházejí poznatky o struktuře látek plné uplatnění a jedině tak je možné zajistit další přirozenou inspiraci a organický rozvoj krystalografie v budoucnu.

Slnčná koróna a úplné zatmenie Slnka v roku 2001

Vojtech Rušin, Tatranská Lomnica

Nie je známe, aký bol záujem zo strany vedeckých kapacít o jemné, bielomodré popolavé svetlo, ktoré je pozorovateľné počas dňa okolo tmavého mesačného disku pri „úplnom zatmení Slnka“. Keď Kepler po pozorovaní tohoto zriedkavého prírodného úkazu (štatisticky úplné zatmenie Slnka na to isté miesto zemského povrchu pripadá raz za 400 rokov) v roku 1605, 12. októbra, prehlásil, že toto popolavé svetlo je atmosférou Mesiaca, záujem o jeho vlastností vôbec nevzrástol. Skôr naopak. Úplné zatmenia Slnka, tak ako predtým, sa pozorovali len pre spresnenie parametrov pohybu Mesiaca okolo Zeme.

Obrat nastal po úplnom zatmení Slnka v roku 1860, keď Warren de la Rue a A. Secchi 18. júla pozorovali úplné zatmenie Slnka z poverenia pápeža Pia VI., aby overili podstatu popolavého svetla, ktoré medzitým dostalo meno **koróna**. Vedci po pozorovaní prehlásili, že „koróna a načervenalé protuberancie sú súčasťou Slnka“. Nastal tak zásadný obrat vo výskume slnečnej koróny, ktorý zo Zeme počas úplných zatmení Slnka, pomocou koronografov (umelej imitácie zatmenia) a špeciálnych prístrojov na družiciach (YOHKOH, SoHO a TRACE) trvá doposiaľ.

RNDr. VOJTECH RUŠIN, DrSc. (1942), Astronomický ústav SAV, 059 60 Tatranská Lomnica, Slovensko