

FYZIKA

Profesor Rostislav Košťál spoluzakladatel Fyzikální olympiády

BOHUMIL VYBÍRAL

Pedagogická fakulta Univerzity Hradec Králové



Prof. RNDr. Rostislav Košťál (kolem roku 1950)

V tomto školním roce (2008/2009) probíhá na českých základních a středních školách (a rovněž ve Slovenské republice) jubilejní 50. ročník Fyzikální olympiády. Současně se v mexickém městě Mérida (v Yucatánu) také rozběhla příprava na jubilejní 40. ročník Mezinárodní fyzikální olym-

piády, která se uskuteční od 11. do 19. července 2009. U zrodu obou těchto spolu souvisejících soutěží stál *prof. RNDr. Rostislav Košťál*, profesor fyziky na Vysokém učení technickém v Brně a na Vysoké vojenské škole ve Vyškově. Kulatá výročí obou těchto soutěží jsou příležitostí k tomu, abychom se u této osobnosti české fyziky zastavili.

Rostislav Košťál se narodil 28. prosince 1905 v Brně jako syn vrchního inspektora a přepravního kontrolora železnic. Po absolutoriu II. české státní reálky v Brně na Křenové ul. studoval v letech 1924 až 1926 inženýrské stavitelství na České vysoké škole technické v Brně a současně v letech 1924 až 1929 fyziku, matematiku a deskriptivní geometrii na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity (MU) v Brně. Po ukončení studií a získání učitelské aproby zůstal na Přírodovědecké fakultě a pracoval v letech 1929 až 1933 na Ústavu experimentální fyziky jako asistent nejprve u *prof. dr. Bedřicha Macků* a od roku 1930 u *prof. dr. Josefa Zahradníčka*. V roce 1932 získal doktorát (RNDr.) z teoretické a experimentální fyziky. Poté až do roku 1945 působil na několika středních školách a současně pokračoval ve vědecké práci započaté již na Přírodovědecké fakultě. V roce 1945, hned po 2. světové válce, společně s *prof. Zahradníčkem* obnovoval Ústav experimentální fyziky na Přírodovědecké fakultě MU. V roce 1946 se habilitoval z experimentální fyziky a stal se soukromým docentem. V roce 1948 byl jmenován profesorem fyziky se zpětnou účinností od roku 1946.

Poválečné životní období profesora Košťála se vyznačovalo mimořádnou aktivitou, která však po roce 1948 byla poznamenána nelibostí politických představitelů a byla spojena se šikanováním. Po habilitaci roce 1946 vedl a budoval Ústav lékařské fyziky na Univerzitě Palackého v Olomouci jako mimořádný profesor lékařské fyziky. Současně (do r. 1950) přednášel i na Přírodovědecké fakultě MU v Brně. Poté byl v roce 1950 přeložen do Brušperka a pověřen vybudováním Fyzikálního ústavu na zde vznikající Vysoké škole strojní. Po jejím přičlenění k Vysoké škole báňské působil až do roku 1954 v Ostravě. Pak byl povolán zpět do Brna na Vysokou školu stavební (existovala tehdy jako pozůstatek zrušené techniky po vzniku Vojenské akademie A. Zápotockého v Brně). Po obnovení civilní techniky v Brně v roce 1956 (přejmenované na Vysoké učení technické – VUT) zde nejprve vybudoval celoškolskou katedru fyziky VUT a po jejím rozdělení v roce 1959 na tři katedry přešel jako řadový člen na katedru fyziky Fakulty elektrotechnické. V roce 1961 byl pověřen vybudováním vysokoškolské katedry fyziky na tehdejším Vyšším vojenském učilišti ve Vyškově (tato původně samostatná vysoká škola existovala v letech 1967 – 1972 jako

1. fakulta Vojenské akademie A. Zápotockého, v letech 1972 – 2004 opět jako samostatná Vysoká vojenská škola pozemního vojska, nyní zrušená a transformovaná do Univerzity obrany v Brně). Ve Vyškově pracoval do roku 1970. Profesorské působení na katedře fyziky Fakulty elektrotechnické VUT mu bylo obnoveno k 1. říjnu 1965. Zde pak působil až do odchodu do důchodu v roce 1971. Posledním jeho působištěm byla katedra fyziky samostatné Pedagogické fakulty v Nitře, kde přednášel v akademickém roce 1977/78. Zemřel po krátké nemoci 6. února 1980 v Brně.

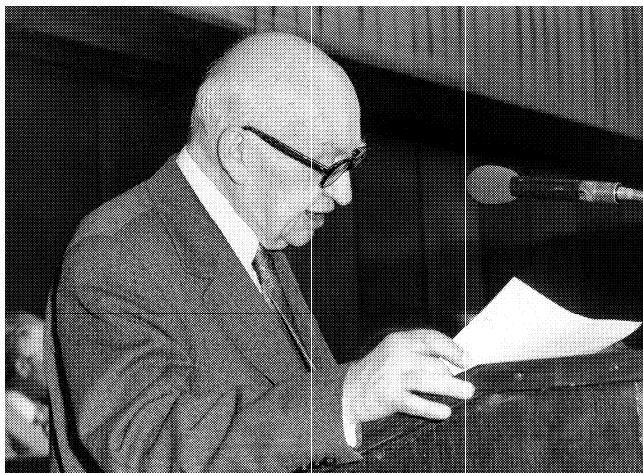
Manželkou prof. Košťála byla *Dagmar Košťálová* (1910 – 1977), středoškolská profesorka fyziky a matematiky. Měli tři děti: Dagmar provdaná Rýznerová (1938 – 1999) vystudovala elektrotechnické inženýrství, Rostislav (*1943) vystudoval stavební inženýrství a je mj. předním českým fotografem a Lubor (*1944) vystudoval elektrotechnické inženýrství a působí jako středoškolský profesor.

Ve vědecké práci, která je zachycena ve 21 původních pracích profesora Košťála, se zabýval především netlumenými i tlumenými kmity spřažených soustav a stabilizací kmitů mechanických oscilátorů (11 prací), skládáním a analýzou kmitů (6 prací). Tento vědecký zájem jej přivedl také k hudební akustice (3 práce). Soustředil se rovněž na základní veličiny dynamiky: hmotnost gravitační, hmotnost setrvačná a síla (1 práce). Významná je i jeho činnost biografická a historická (6 prací). Rozsáhlá byla zejména jeho tvorba vysokoškolských učebních textů (37 svazků skript) a studijních textů pro řešitele Fyzikální olympiády (11 prací). Jako školitel vědeckých aspirantů v oboru aplikovaná fyzika (matematicko-fyzikální vědy) na školícím pracovišti Fakulty elektrotechnické VUT se zabýval i vědeckou výchovou (celkem vedl 6 aspirantů).

K nejvýznamnějším zásluhám profesora Košťála, které mají světový rozměr, patří, že v roce 1959 rozhodujícím způsobem přispěl k založení soutěže *Fyzikální olympiáda* (FO) v Československu a v roce 1966 ke vzniku *Mezinárodní fyzikální olympiády* (MFO). Rozvoji FO a MFO se poté intenzivně věnoval až do konce života. Fyzikální olympiádu zakládal nejen jako vrcholovou soutěž středoškoláků, nýbrž jako promyšlený systém, který si klade za cíl vyhledávat a pěstovat talenty na fyziku již od 13. – 14. roku věku dítěte. Myšlenkou FO se začal zabývat již od roku 1954 (jistým vzorem mu byla již tehdy probíhající Matematická olympiáda), zpočátku však nenašel dost potřebných spolupracovníků a tak první pokusné soutěže FO probíhaly až ve školním roce 1958/59 v tehdejších krajích Olomouckém a Brněnském a v Praze. Pro tuto práci získal zejména prof.

RNDr. Bedřicha Havelku, DrSc., (Olomouc), prof. RNDr. Miroslava Valoucha (Praha), RNDr. Martu Chytilovou, CSc. (Brno), doc. Vladimíra Rudolfa (Olomouc), Jana Tesaře (Praha), doc. RNDr. Bohumila Vlacha (Brno) a na Slovensku Františka Púchovského (Žilina) a prof. RNDr. Jána Fischera (Bratislava).

V celostátním měřítku začala FO probíhat od školního roku 1959/60 již ve všech tehdejších středoškolských kategoriích A, B, C a později D. Od třetího ročníku FO se pod jeho vedením soutěž rozšířila i na dvě kategorie (E, F) pro základní školy (a po přechodu na devítiletou ZŠ to byla ještě kategorie třetí G – pro tehdejší sedmáky). Z politických důvodů nemohl vykonávat funkci předsedy ústředního výboru FO hned od počátku soutěže. Stal se jím až od roku 1966, kdy se projevilo jisté politické uvolnění. Tuto funkci pak nepřetržitě vykonával až do roku 1977 a poté až do konce života pracoval jako předseda krajského výboru FO Jihomoravského kraje.



Profesor Košťál při zahájení 3. MFO v Brně r. 1969

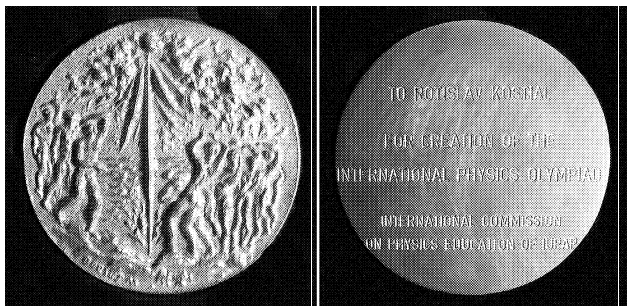
Hned jak mu byla v roce 1966 svěřena nejvyšší funkce v FO, rozhodl se založit Mezinárodní fyzikální olympiádu (MFO; v anglické mutaci IPhO). Oslovil *prof. dr. Czeslawa Scislowského* ve Varšavě a *prof. dr. Rezső Kunfalviho* v Budapešti. Společně připravili konání první MFO ve Varšavě již v roce 1967 za účasti pěti východoevropských států, druhá MFO se konala v roce 1968 v Budapešti. Třetí MFO v roce 1969 organizoval profesor

Košťál v Brně. Na tento rok sice připadalo 10. výročí národní FO, avšak politicky to byl nejméně vhodný termín – bylo to krátce po okupaci pěti „spřátelenými“ armádami Varšavské smlouvy. Soutěž byla plánována pro 60 soutěžících ze 12 států, pozvané čtyři západní státy (V. Británie, Francie, Itálie a Švédsko) účast odmítly. Takže soutěžilo 40 studentů z osmi zemí (ČSSR, SSSR, Polsko, Maďarsko, NDR, Bulharsko, Rumunsko a Jugoslávie). Soutěž se konala od 22. června do 2. července 1969 v Brně pod vcelku slušnou patronací Vojenské akademie a kupodivu proběhla hladce. Tento „vojenský“ patronát vyjednal profesor Košťál promyšleně, avšak nebyl všemi přijímán právě pozitivně; stejně tak ubytování sovětské delegace, které bylo pro jistotu oddělené. Poté v srpnu, jak známo, probíhaly v Brně demonstrace proti okupaci Československa sovětskými vojsky a následné pouliční boje, které v krvi ukončily až české tanky.

Desátou MFO v roce 1977 pořádalo opět v Československo, tentokrát za účasti 60 soutěžících ze 12 států. Konala se na samostatné Pedagogické fakultě v Hradci Králové a její závěr se uskutečnil na Univerzitě Karlově v Praze, v Karolinu. K východoevropským zemím se postupně připojily i západoevropské státy – Francie (1972), Spolková republika Německo (1974), Švédsko (1976), Finsko, atd. V roce 1991 překročila Mezinárodní fyzikální olympiáda hranice Evropy (první mimoevropskou pořádající zemí byla Kuba) a stala se tak soutěží světovou – a to jak zúčastněnými státy ze všech pěti kontinentů světa, tak místy svého konání. Po Kubě se soutěž postupně konala v těchto zemích: Finsko (1992), USA, Čína, Austrálie, Norsko, Kanada, Island, Itálie, Velká Británie, Turecko, Indonésie, Tchaj-wan, Korejská republika, Španělsko, Singapur, Írán a Vietnam (2008). Zejména pro mimoevropské státy je nyní MFO velmi prestižní akcí, jejíhož zahájení se často zúčastňují představitelé státu. I počty soutěžících značně narostly, např. 33. MFO v Indonésii v roce 2002 se zúčastnilo 298 studentů ze 67 států, na 35. MFO v Korejské republice v roce 2004 soutěžilo 332 řešitelů ze 71 států a na 39. MFO ve Vietnamu to bylo již 376 soutěžících z 81 států a teritorií.

Naši studenti se ve světové konkurenci vždy umísťují vždy v první čtvrtině pořadí zúčastněných zemí. Za prvních patnáct let existence České republiky, tj. od roku 1993, se Mezinárodních fyzikálních olympiád zúčastnilo celkem 80 českých studentů, z nichž 9 získalo zlatou, 14 stříbrnou a 25 bronzovou medaili a 26 soutěžících dostalo čestné uznání. Úspěšnost členů českého družstva na MFO se tak dá vyčíslit jako 92,5 % a je tedy

vynikající. Je to také díky tradici v systematické přípravě talentů, založené již profesorem Košťálem. Světové společenství fyziků (*Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou fyziku*) ocenilo jeho podíl na vzniku MFO udělením velké medaile u příležitosti 24. MFO konané v roce 1993 ve Williamsburgu v USA – Virginii (bohužel in memoriam). Na rubu medaile (viz obr.) je uvedeno: TO ROSTISLAV KOSTIAL FOR CREATION OF THE INTERNATIONAL PHYSICS OLYMPIAD, INTERNATIONAL COMMISSION ON PHYSICS EDUCATION OF IUPAP.



Medaile udělená in memoriam prof. RNDr. Rostislavu Košťálovi v USA r. 1993

Profesor Košťál by měl jistě velkou radost, kdyby na začátku těžkých normalizačních sedmdesátých let tušil, jakého světového rozmachu Fyzikální olympiáda dosáhne a jakou prestiží bude pro země (zejména asijské) MFO soutěž v příslušném roce pořádat. Byl by také překvapen a potěšen jak pěkné, náročné a vědecky aktuální úlohy univerzity pořádajících zemí studentům připravují k řešení.*)

Také by jej jistě těšilo, že Fyzikální olympiáda se i u nás stává společensky uznávanou aktivitou. Svědčí o tom např. prestižní ceny Premium Bohemiae udělované od roku 2001 mj. všem českým úspěšným řešitelům na MFO v příslušném roce. Tyto finančně významné ceny uděluje *Nadace B. Jana Horáčka* Českému ráji**). Nejlepší student – fyzik také každoročně

*) Viz např. Volf, I., Vybíral, B.: *Elementy současné vědy v úlohách Fyzikální olympiády*, Čs. Čas. Fyz. 52/2002/, s. 51 – 57. Rozšířená verze: Vybíral, B., Volf, I.: *Současná fyzikální věda v úlohách Fyzikální olympiády*. Obzory matematiky, fyziky a informatiky. 35 (2/2006), s. 36 – 56.

**) Viz např. *Ceny Premium Bohemiae pro studenty*, Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, 47 (2002), s. 81 – 83. Vybíral, B. *Ceny Praemium Bohemiae 2006 uděleny*.

dostává (spolu s ostatními úspěšnými přírodovědci) rovněž prestižní cenu *Nadačního fondu Jaroslava Heyrovského*.

Na rok 2005, který byl vyhlášen *Světovým rokem fyziky*, připadla dvě významná životní výročí profesora Košťála: 100 let od jeho narození a 25 let od jeho úmrtí. Jeho zásluhy o rozvoj české fyziky, zejména o založení a rozvoj Fyzikální olympiády, vedly Český výbor Jednoty českých matematiků a fyziků, aby na svém prosincovém zasedání v r. 2002 rozhodl zařadit Rostislava Košťála k osobnostem české fyziky v rámci Světového roku fyziky 2005.

Ve druhé části příspěvku připojím několik osobních postřehů, které se váží k osobnosti profesora Košťála. Mé první vzpomínky na něj spadají již do roku 1956, kdy se stal mým učitelem fyziky na brněnské technice. Mezi studenty se o něm tehdy šířila pověst obávaného profesora, zejména examinátora. Avšak kdo studoval, uspěl. Mne jeho přednášky pro svou logičnost dokonce tak zaujaly, že – ač milovník techniky – se fyzika stala mým životním osudem. Vzpomínám, jak vzrostlo mé sebevědomí po první úspěšné zkoušce u něj. Dostal jsem dokonce odvalu, že jsem šel na katedru fyziky a přihlásil se do konkursu na jím vypsaná dvě místa pomocné vědecké síly. Při práci u něj jsme dostali základy vědecké práce na celý život. Profesor nás učil náročnosti, pečlivosti (někdy až přehnané), přesnosti úvah i písemného vyjadřování. Dbal na to, abychom se zúčastňovali soutěží o nejlepší studentské vědecké práce. Celostátního kola z fyziky jsem se zúčastnil třikrát a kupodivu (ač technik) jsem měl vždy úspěch. Pan profesor dbal také na to, abychom výsledky své studentské vědecké práce publikovali, vystupovali na vědeckých konferencích a přednášeli na schůzích a seminářích JČMF. To vše přispělo k tomu, že jsem se krátce po úspěšném vystudování zajímavého technického oboru (stavba tepelných turbín) věnoval převážně již jen fyzice.

Po dvou letech technické praxe ve výzkumu parních turbín jsem se roku 1963 přihlásil do konkursu na místo odborného asistenta fyziky na Vyšším vojenském učilišti (později Vysoké vojenské škole) ve Vyškově. Zde jsem

Matematika, fyzika, informatika. 16 (6/2007), s.381 – 383. Vybíral, B. *Ceny Praemium Bohemiae nejlepším talentům*. In: Ani jeden matematický talent nazmar. Sborník příspěvků 3. ročníku konference, s. 85 – 89. Hradec Králové: Univerzita Karlova, JČMF, 2007. Vybíral, B. *Ceny Praemium Bohemiae 2007*. Matematika, fyzika, informatika, 17 (6/2008), s. 377 – 380.

poznal profesora Košťála jako náročného vedoucího katedry. Pracoval bez ohledu na svůj volný čas i na své pohodlí. Katedru fyziky zde budoval téměř z ničeho (v době, kdy dostatečně kvalitní učební pomůcky z fyziky nebyly na českém trhu běžně k dostání). Staral se o získání dobrých mladých učitelů na katedru; dva z nich se později stali profesory (B. Vybíral a I. Ohlídal) a tři docenty (M. Štrunc, A. Kopal a J. Obdržálek). Intenzivně pracoval na učebních programech, psal skripta, organizoval nákup přístrojů a zařízení (často i jejich výrobu v místních školních dílnách) do laboratoří a pro demonstrace při přednáškách. Zařízení laboratoří muselo být takové, aby každý student mohl samostatně měřit. Dbal na to, aby se při přednáškách důsledně konaly experimenty. Za několik let se mu katedru podařilo vybavit tak, že to budilo obdiv nejen středoškolských a vysokoškolských učitelů z různých koutů republiky, ale i zahraničních delegací vysokých vojenských hodnostářů, kteří školu navštívili. Vzpomínám, jak se při návštěvě v roce 1964 s uznáním vyjádřil profesor Vašíček, optik světového věhlasu z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, že by u nich mnohé zde prezentované přístroje také do výuky potřebovali.

Na nás asistenty byl profesor Košťál náročný a úzkostlivě dbal o náš odborný růst. Na katedře se pravidelně konaly metodická zaměstnání a odborné semináře. Pan profesor měl stále na mysli, aby výuka fyziky byla co nejdokonalejší – aby si studenti neodnášeli jen úlomkovité znalosti, ale získali schopnost logického fyzikálního i obecně racionálního myšlení. K tomu také sloužily experimenty při přednáškách, které rovněž zvyšovaly pozornost a motivaci ke studiu. Podmínkou kvality výuky byl především dobře připravený učitel. Příznačný proto byl jeho požadavek, aby si každý asistent (i odborný) s ním prodiskutoval každý díl jeho obsáhlé série skript. Mnohému po hodinové diskusi řekl, aby si to znovu promyslel a přišel ještě jednou. Jeho náročnost k nám plynula především z jeho náročnosti k sobě samému.

Svou velkou pracovitostí a náročností byl profesor Košťál pověstný. Neznal pracovní dobu, pracoval stále. Do pozdních hodin doma, u nás na katedře ve Vyškově, na technice v Brně a také ve vlaku při každodenní cestě z Brna do Vyškova a opět z Vyškova. Zde již jej průvodčí a někteří cestující znali a věděli, že pro své papíry potřebuje více místa. Kolega RNDr. Alois Kleveta, který dělal tajemníka katedry, bohužel někdy musel absolvovat cestu z Vyškova do Brna (a zpět sám), aby spolu mohli dotáhnout některé katedrální záležitosti.

Zvláštní a důležitou kapitolou pedagogické činnosti profesora Košťála

bylo psaní skript z fyziky, do nichž ukládal své dlouholeté pedagogické zkušenosti. Napsal jich 37 svazků, z toho na 18 za svého působení ve Vyškově. Rukopis nechal před psaním na čisto námi lektorovat a připomínkovat. Poté při diskusi připomínku buď přijal anebo trpělivě vysvětloval, proč nechá původní formulaci – žádná připomínka nezůstala nepovšimnuta. Velmi dbal také na formální stránku skript. To bylo v době, kdy nebyly počítače a většinou se psalo a kreslilo na cyklostylové blány, velmi pracné. Sekretářka přepisovala jeho někdy málo čitelný a složitě doplňovaný rukopis pomocí psacího stroje přímo na blány. Docházelo tak překlepům, které jsme my asistenti ve dvou korekturách (a pan profesor při třetí tajné korektuře) odchyťovali. Tak pan profesor sice zachytil pravdivý nesmysl: „nejlehčí je vozík, nejtěžší je vagón“ (byla řeč o plynech a mělo být „nejlehčí je vodík, nejtěžší je radon“). Avšak překlep „těsto se válí“ (místo „těleso se valí ...“) byl vytištěn (2. korekturu jsem bohužel dělal já).

Jako školitel vědeckých aspirantů nás profesor Košťál systematicky vedl ke kandidátským zkouškám a k vědecké práci. Vzpomínám, jak jsme dlouhé hodiny proseděli při diskutování jeho připomínek k rukopisům odborných a vědeckých prací a zvláště pak kandidátské disertace. Někdy se taková diskuse protáhla i na nucenou jízdu vlakem do Brna a často pak skončila i u něj v bytě. Velmi dbal na přesnost formulací a přitom nejen upozornil na nedostatky, ale také naznačil, jak je odstranit.

Jako někdejší pomocná vědecká síla a pozdější asistent profesora Košťála jsem měl možnost sledovat od samého počátku jeho nasazení, s jakým inicioval a spoluvytvářel Fyzikální olympiádu, a to jak v Československu, tak později i ve světě. Nešlo samozřejmě jen o pozorování – musel jsem i patřičně přiložit ruku k dílu (od vzniku olympiády v roce 1959 jsem byl členem krajského výboru v Brně a od roku 1966 členem jejího ústředního výboru). Nešlo přitom jen o organizování soutěže v různých stupních kol, ale i o psaní studijních textů, tvorbu soutěžních úloh a také o jejich opravu po soutěži. A také o odbornou a organizační přípravu krajských a celostátních soustředění FO. Specifická svou náročností byla příprava družstev na mezinárodní soutěž. Pan profesor byl v administrativě puntičkářsky důsledný a vyřizování písemností kolem FO byla náročná a vskutku nezajímavá práce (v dnešní době internetu je tato činnost nesrovnatelně snazší). Postěžoval si mám, že za rok má asi 400 jednacích čísel a k tomu žádnou sekretářku.

Jeho důslednost a vyžadování podrobných (často nepodstatných až zbytečných) statistických údajů o soutěži na schůzích ústředního výboru vedla

k tomu, že tyto schůze (konané dvakrát ročně) trvaly deset i více hodin. Jarní schůze (konaná před celostátním kolem) bývala dvoudenní. Aby mu členové po prvním dnu neutekli, zajistil např. schůzi a ubytování na odlehlejších místě, např. na brněnské přehradě. Vše vypovídající např. je, že zápis z jednodenního podzimního jednání ÚVFO z roku 1975 měl 46 stran strojopisu a 12 stran příloh. Jednou, tuším v dubnu 1977, se stalo, že schůze konaná v zasedací síni tehdejší budovy rektorátu VUT se protáhla do pozdních večerních hodin. Budova už byla opuštěná a vrátný zapomněl, že tam má chůzi FO; zamkl ji a odešel. A tak nastal problém, jak se dostat ven. Bylo nasnadě, že oknem, protože zasedačka byla jen v poněkud zvýšeném přízemí. Co však s profesorem Košťálem a doktorkou Chytilovou, kteří měli už svoje roky, byli podsaditější postavy a na skákání z okna nebyli? Vyřešilo se to nakonec tak, že byli vyneseni oknem i se židlí, na níž seděli. Tato „defenestrace“ zajisté byla zajímavou podívanou pro Brňáky, protože okna byla do rušné třídy Obránců míru (dnes Joštovy ulice). Až úzkostlivá starostlivost o bezproblémový průběh FO byla pro pana profesora příznačná. Doplatil na to v dubnu roku 1962, kdy v Brně poprvé organizoval celostátní kolo 3. ročníku FO. Den před soutěží skončil v nemocnici se žlučníkovým záchvatem a prožil zde celou soutěž, která se tentokrát musela obejít i bez něj.

Velkou pozornost věnoval profesor Košťál také práci v JČMF, jejímž byl členem 56 let, již od studentských let. Soutěž FO pojímal jako jednu z důležitých činností této organizace, založené roku 1862. Vzpomínám, s jakým úsilím např. hledal prameny a sbíral materiál pro sepsání publikace „Vznik a vývoj pobočky JČMF v Brně“ (publikované roku 1967). Jednota jeho nezištnou činnost ocenila udělením vyznamenání zasloužily člen (1969) a čestný člen (1972), kterých si velmi vážil.

Difrakcia elektrónov na grafitovej doštičke

ARPÁD KECSKÉS

Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra, SLOVENSKO

Úvod

V roku 2007 sme pripomínali 80. výročie experimentálneho potvrdenia interferencie elektrónových lúčov. O realizáciu tohoto experimentu sa pričínili americkí fyzici *G. J. Davisson* (1881–1958) a *L. H. Germer* (1892–1971), ktorí experimentálne vyšetřovali difrakciu elektrónov na povrchu monokryštálu niklu. Nezávisle od nich v tom istom roku (1927) experimentálne dokázal vlnové vlastnosti elektrónov aj anglický fyzik *G. P. Thomson* (1892–1975) – syn *J. J. Thomsona* objaviteľa korpuskulárnych vlastností elektrónov – vyhotovením difrakčných obrazcov (elektronogramov) pri prechode elektrónov tenkými kovovými fóliami. Rok 2007 je teda súčasne aj 70. výročím udelenia Nobelovej ceny za uvedené výsledky pre dvojicu *G. J. Davisson* a *L. H. Germer*, ako aj pre *G. P. Thomsona*, ktorého otec dostal Nobelovu cenu 40 rokov pred ním za objav korpuskulárnych vlastností elektrónov. Pripomenutie týchto objavov zo začiatku 20. storočia považujeme za veľmi potrebné, nakoľko išlo o veľmi významný moment v histórii vývoja fyzikálneho poznania a formovania základov modernej kvantovej teórie.

Využitie poznatkov z dejín fyziky považujeme za jednu formu z možných motivačných prístupov k zvýšeniu záujmu študentov o štúdium fyziky. Často sa stáva, že poznanie histórie pomôže študentovi hlbšie a plnšie pochopiť dôležité základné pojmy aj fyzikálne zákony. Osvojenie si myšlienkových postupov tvorcov fyziky môžu pomôcť študentovi prekonať navivný obraz sveta a postupne chápať vedu, ktorú vynikajúci fyzici vytvorili. V príspevku pripomenieme jeden významný moment histórie vývoja fyzikálneho poznania a formovania základov modernej kvantovej teórie.

Je známe, že riešenie otázky vlnovej povahy častíc je historicky späté s riešením otázky povahy svetla a vo všeobecnosti elektromagnetického žiarenia. Diskusiu o povahe svetla viedlo mnoho filozofov a fyzikov už od staroveku.

Experimentálne sa potvrdilo, že vlnové vlastnosti svetla sa najvýraznejšie prejavujú pri ohybe a interferencii. Preto de Broglieho hypotéza viedla k predpovedi, že aj elektrónové lúče sa budú prejavovať interferenčnými a ohybovými vlastnosťami. De Broglieho hypotéza bola zo začiatku chápaná ako kuriozita. Pozitívne hodnotenie tejto hypotézy *Einsteinom* však natoľko ovplyvnilo *E. Schrödingera*, že vychádzajúc z vlnových vlastností častíc, vybudoval kvantovú mechaniku skôr (1926), ako boli vlnové vlastnosti častíc experimentálne potvrdené.

Vlnové vlastnosti častíc

Z histórie vývoja fyzikálneho poznania je známe, že svetlo ukazuje zároveň vlastnosti, ktoré by sme v klasickej fyzike priradzovali aj vlnám (interferencia) aj časticiam („dávky“ energie a hybnosť). Úspešné východisko z týchto zdanlivo si odporujúcich vlastností svetla podala až kvantová teória. Podľa nej svetlo nie je vlnou, ani časticou klasickej fyziky, ale kvantovým objektom, ktorý má v niečom vlastnosti klasických vln a v niečom vlastnosti klasických častíc.

Fyzika sa na začiatku 20. storočia len veľmi ťažko vyrovnávala s korpuskulárno-vlnovým dualizmom. Predstava o fotónoch bola prijatá tým, že každý fotón má pri pohybe tiež svoju hmotnosť a že svetlo má zároveň povahu vlnového aj korpuskulárneho žiarenia. Pri šírení svetla priestorom má prevahu vlnový charakter, pričom pri interakcii s látkovým prostredím sa viac uplatňuje časticový charakter.

História fyzikálneho poznania poukázala na to, že aj v prípade elektrónov a iných častíc mikrosvetla pri riešení ich povahy sa stretávame s analogickou situáciou, akú poznáme v prípade elektromagnetického žiarenia. Pripomína to spor zo 17. storočia o povahe svetla. Avšak v 17. storočí prebiehal spor zástancov dvoch teórií na báze javov, ktoré bolo možné vysvetliť v rámci jednej teórie, v tomto prípade však fakty nezapadali do rámca nejakých určitých predstáv vlnových alebo korpuskulárnych.

Je známe, že v roku 1923, ako výsledok štúdia fotoefektu, Einsteinovej teórie žiarenia, prác *Nielsa Bohra* (1885–1962) o stavbe atómu, sa objavil medzi fyzikmi problém, ktorý možno nazvať problémom vlna – častica. Pokus zachrániť klasickú fyziku urobil N. Bohr. Prezentoval dualistické stanovisko, podľa ktorého atóm vysiela diskkrétne kvantá žiarenia, ale žiarenie vysielať zo zdroja sa správa podľa zákonov klasickej teórie elektromagnetického poľa. Predpokladal, že zákony zachovania sú splnené pre celé žiarenie, a nie pre jednotlivé akty emisie alebo absorpcie.

Na existujúcu rozdielnosť medzi fázovou a grupovou rýchlosťou svetla upozornili *J. C. Maxwell* a *G. Stokes*. Matematické vzťahy pre disperzné prostredie odvodil *lord Rayleigh* a ich experimentálne potvrdenie viedlo k istým zaujímavostiam. *A. A. Michelson* zmeral rýchlosť svetla vo vode a potvrdil Foucaultove a Fizeauove výsledky, teda tým aj vlnovú teóriu svetla. Neskôr merania rýchlosti svetla opakoval, ale v inom prostredí – v sulfide uhličitom, pričom na svoje prekvapenie nenameral očakávané hodnoty. *Lord Rayleigh* a *J. W. Gibbs* (1839–1903) ukázali, že Michelsonove výsledky sú v plnej zhode s teóriou, ak sa zoberie do úvahy nie fázová, ale grupová rýchlosť svetla (vzhľadom na veľkú disperziu svetla v sulfide uhličitom).

Rayleighove myšlienky o grupovej rýchlosti využil neskôr vo svojich prácach mladý francúzsky fyzik *Louis de Broglie* (1892–1987). *Louis de Broglie* sa v laboratóriu svojho staršieho brata začal venovať kvantovej teórii, na ktorú ho upozornil brat už v roku 1911, keď mu dal študovať referáty, ktoré odzneli na prvom Solvayovom kongrese v Bruseli.

Pod vplyvom Einsteina a článkov *M. Brilouina* (1854–1948) *Louis de Broglie* premýšľal o paradoxoch vlnovo-korpuskulárnych vlastností svetla a začal hľadať súvislosti medzi vlnovým a korpuskulárnym aspektom elektromagnetického žiarenia.

Louis de Broglie sa zamýšľal nad tým, ako je možné, že niektoré javy dokazujú vlnový a iné zas korpuskulárny charakter elektromagnetického žiarenia? Je teda svetlo vlnením, alebo časticami? Na vlny a častice hľadáme ako na dva protikladné, vzájomne sa vylučujúce formy pohybu. Je však možné, že toto protirečenie je iba zdanlivé, že je to iba predsudok, ktorého sa treba zbaviť. Jeho korene sú v historickom vývoji fyziky. Je známe, že prvou ucelenou fyzikálnou teóriou bola náuka o mechanickom pohybe častíc. Náuka o vlnovom pohybe vznikla neskoršie a vyvíjala sa nezávisle od mechaniky, neboli objavené nijaké súvislosti medzi mechanickým a vlnovým pohybom.

A na tomto mieste vznikla podstata de Broglieho myšlienky. Uvažoval totiž nasledovne: Najprv boli známe ohybové a interferenčné javy, ktoré sa dali vysvetliť predpokladom vlnovej povahy svetla. Zákonitosti žiarenia telies a fotoelektrický jav však vyžadovali zavedenie svetelných častíc – fotónov. Je možné si však predstaviť historicky opačnú situáciu: najprv by sme pochopili zákony žiarenia telies a fotoelektrického javu a zaviedli svetelné častice, a neskôr by sme sa čudovali, že na vysvetlenie ohybových javov musíme týmto časticiam pripísať vlnové vlastnosti. Otázku, či je

svetlo vlnením, alebo prúdom častíc, je potrebné obrátiť: a pýtať sa, čo sú to tie častice? Pri elektromagnetickom žiarení sme sa stretli s dualizmom vĺn a častíc. Je možné, že tento dualizmus je všeobecnou vlastnosťou, že existuje i v obrátenom smere: fyzikálne objekty (atómy, elektróny, a pod.), ktoré nazývame časticami (korpuskulami), majú súčasne aj vlnové vlastnosti.

Tento myšlienkový sled charakterizuje úvahy de Broglieho, ktorý následne sa začal venovať myšlienke ako uplatniť tento dualistický pohľad aj na častice s nenulovou pokojovou hmotnosťou a začal hľadať akú vlnovú dĺžku možno priradiť častici s hmotnosťou m pri rýchlosti v ? K odpovedi na túto otázku použil Planckovu kvantovú hypotézu, Einsteinove predstavy o svetelných kvantách a závery špeciálnej teórie relativity.

Planckov známy vzťah $E = \hbar\omega = h\frac{c}{\lambda}$ pre energiu svetelného kvanta bol v dvadsiatych rokoch 20. storočia potvrdený mnohými experimentmi. De Broglieho základná myšlienka spočívala v použití uvedeného vzťahu aj pre elektróny a iné častice s nenulovou pokojovou hmotnosťou pri ich pohybe rýchlosťou v a hybnosťou $p = mv$, ktoré viedlo k napísaniu známeho de Broglieho vzťahu $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$.

Na túto tému uverejnil v roku 1923 tri vedecké články, ktoré zostali bez odozvy. O rok neskôr myšlienky a výpočty z týchto článkov zhrnul do svojej doktorskej dizertačnej práce na tému: „*Recherches sur la Théorie des Quanta*“, ktorú obhájil na Sorbonne v novembri 1924. Komisia hodnotila dizertáciu ako zaujímavú a odvážnu, hoci jej členovia boli dosť skeptickí v otázke experimentálneho overenia vlnových vlastností častíc.

Práca bola publikovaná v roku 1925 v časopise *Annales de Physique* pod názvom „Výskumy v kvantovej teórii“. Dizertačná práca Louis de Broglieho začína slovami: „História optických teórií ukazuje, že vedecký názor dlho kolísal medzi mechanickým a vlnovým ponímaním svetla. Možno však medzi oboma týmito názormi je oveľa menšie protirečenie ako sa voľakedy myslelo. Zdá sa najmä, že taký názor potvrdzuje vývoj kvantovej teórie“.

Významný francúzsky teoretický fyzik *P. Langevin*, ktorý bol členom rigorózneho komisie, upozornil na túto de Broglieho prácu *A. Einsteina*, ktorý veľmi rýchlo pochopil jej revolučný význam a použil ju pri svojich výskumoch o kvantovej štatistike. Týmto udalosti dostali veľmi rýchly spád: počas jedného roka bola vytvorená príslušná mechanika mikrosвета – kvantová mechanika. Rakúšan *Ervin Schrödinger* (1887–1961) odvodil v roku 1926 v explicitnom tvare rovnicu pre de Broglieho vlny, ktorú uve-

rejnil v 79. zväzku časopisu *Annalen der Physik* pod názvom „*Quantisierung als Eigenwertproblem*“. M. Planck po uverejnení práce Schrödingerovi napísal: „Čítam Váš článok vzrušene ... Kochám sa krásou, ktorá sa mi odhaľuje pred očami ...“ Po potvrdení vlnových vlastností častíc udelili Louisovi de Brogliemu v roku 1929 Nobelovu cenu.

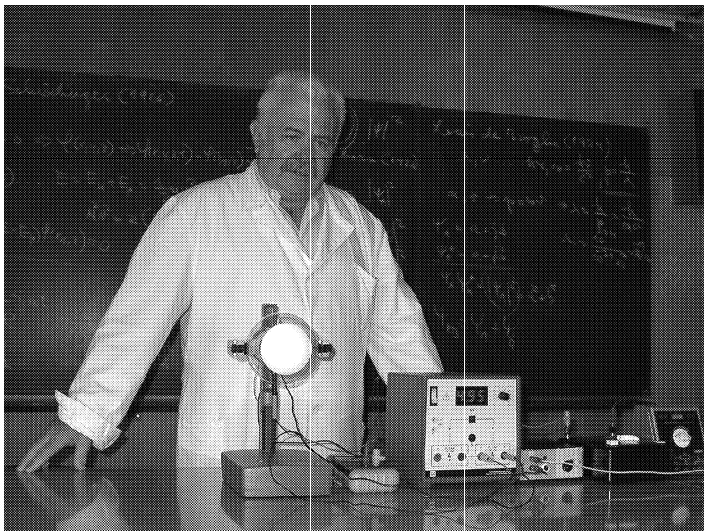
Overenie de Broglieho vzťahu – demonštrácia vlnových vlastností elektrónov

Interferenčné vlastnosti elektrónových vln experimentálne potvrdili americkí fyzici C. Davisson a L. Germer pri ich difrakcii na monokryštáli niklu. Analýza experimentu vykonaná Davissonom a Germerom presvedčivo potvrdila de Broglieho hypotézu pre elektróny pri nízkych energiách (okolo 50 eV). Nezávisle od nich vlnové vlastnosti elektrónov pri vyšších energiách experimentálne potvrdil aj anglický fyzik G. P. Thomson, ktorý pozoroval difrakčné krúžky (elektronogramy) pri rozptyle katódových lúčov na zlatej, hliníkovej, celuloidovej a ďalších fóliách. G. P. Thomson ukázal, že tento efekt je analogický rozptylu röntgenových lúčov na kryštáloch pri Debye-Scherrerovej práškovej metóde pre vlnové dĺžky elektrónov určených z de Broglieho vzťahu.

Vzhľadom na to, že v prípade takýchto experimentov ide o dosť netradičné a na málo univerzitných pracoviskách prezentované demonštračné experimenty, ktoré sú ale z hľadiska fyzikálneho poznávania a motivovania záujmu študentov pre kapitoly modernej fyziky veľmi dôležité, ich prezentáciu považujeme za veľmi účinnú a prospešnú aktivitu.

Katedra fyziky FPV UKF v Nitre má v inventári vákuovú trubicu vyúsťujúcu do guľového tvaru, do ktorej bola vložená polykryštalická grafitová fólia, ktorá slúži ako difrakčná mriežka a na nej dochádza k difrakcii elektrónových lúčov vychádzajúcich z elektrónového dela trubice. Distribútorom u nás používanej trubice je renomovaná nemecká firma na výrobu učebných pomôcok LEYBOLD-Heraeus GMBH. Pripomínam však, že v súčasnosti existujú aj novšie modifikované verzie tejto trubice nie len u firmy Leybold [3], ale aj u firmy Phywe, ktorá má obchodné zastúpenie v Prahe pre Českú republiku aj Slovensko (objednávky vybavuje firma Artemis spol. s r. o., [4]) a ďalších. Istým problémom realizácie experimentu je nákup difrakčnej trubice a zdroja urýchľujúceho napätia pre ich pomerne vysokú cenu. Trubica je opatrená fluorescenčným tienidlom. Výrobca udáva polomer gule $R = 65$ mm. Na katedre je k dispozícii aj potrebný zdroj urýchľujúceho napätia elektrónov do 5 kV.

Experiment realizujeme v rámci prednášok z fyziky mikrosвета ako demonštračný experiment (obr. 1), ale je vhodný aj na použitie v rámci fyzikálneho praktika. V ďalšom predkladáme stručnú anotáciu a reálne prevedenie tohto experimentu.



Obr. 1

Elektróny emitované zo žeravenej katódy a urýchlené urýchlujúcim napätím U_a získavajú rýchlosť

$$v = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}}, \quad (1)$$

čomu zodpovedá de Broglieho vlnová dĺžka daná vzťahom

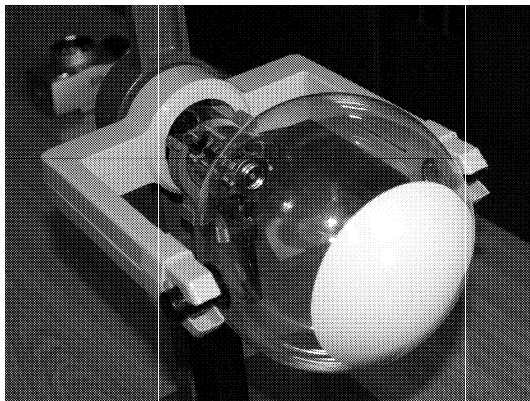
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU_a}}. \quad (2)$$

Pri používaných urýchlujúcich napätiach (do 5 kV) môžeme relativistickú hmotnosť elektrónu nahradiť jeho pokojovou hmotnosťou s chybou približne 0,5 %.

Elektróny s de Broglieho vlnovou dĺžkou určenou vzťahom (2) po prechode cez fókusačné zariadenie dopadajú vo forme monochromatického lúča na polykryštalickú grafitovú fóliu, ktorá tvorí difrakčnú mriežku (obr. 2). V polykryštalickom grafitu je väzba medzi jednotlivými vrstvami porušená, preto ich orientácia je náhodná. V dôsledku toho elektrónový lúč je rozťahnutý do tvaru kužeľa, preto na fluoprescenenom tienidle sa objaví dve koncentrické kružnice sústredené okolo neohýbaného elektrónového lúča. Priemer týchto kružkov sa mení s vlnovou dĺžkou závislou od napätia U_a podľa vzťahu (2), pričom pre obidva krúžky je splnená podmienka difrakcie na grafitovej doštičke

$$2d \sin \vartheta = n\lambda, \quad (3)$$

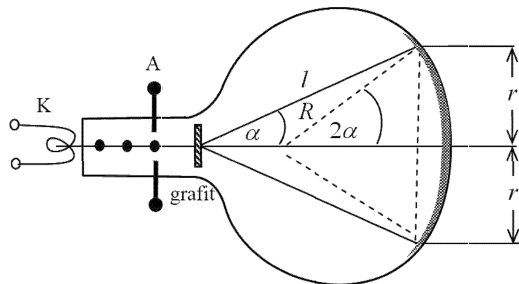
kde d je vzdialenosť atómových rovín grafitu a ϑ difrakčný uhol, $n = 1, 2, 3, \dots$



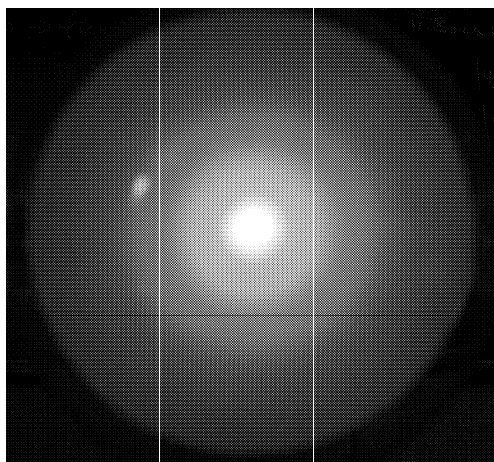
Obr. 2

Zo vzťahu (3) vidieť, že interferenčný obraz sa vytvorí len vtedy, ak sa dráhový rozdiel rovná celočíselnému násobku λ . Ak dopadajú elektrónové lúče na grafitovú fóliu, vždy existuje taký uhol ϑ , ktorý spĺňa podmienku (3), v dôsledku fubovoľného usporiadania mikrokryštálov grafitu. Všetky takéto odrazy vytvárajú kuželvité útvar so spoločnou osou. Fluorescenčné tienidlo predstavuje rez týmto útvarom, preto ohýbané elektrónové lúče

tvoria sústredné kružnice okolo neohýbaného lúča (pozri obr. 3 a 4). Takto získané obrazce nazývame elektronogramy. Braggov uhol sa dá určiť z polomeru interferenčného krúžku, ale treba mať na pamäti, že uhol deviácie (odchýlenia) $\alpha = 2\vartheta$.



Obr. 3



Obr. 4

Zo schematickeho náčrtu na obr. 3 možno písať

$$\sin 2\alpha = \frac{r}{R},$$

resp.

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha = 2 \sin \alpha = \frac{r}{R},$$

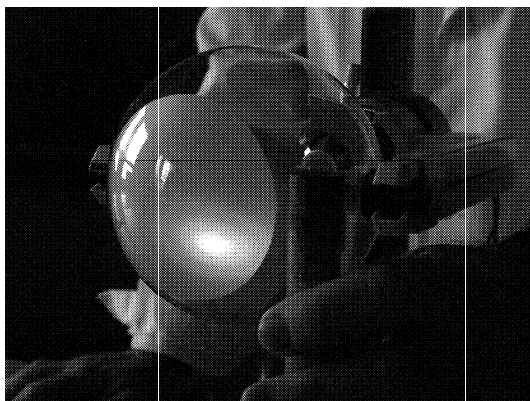
nakoľko vzhľadom na malé uhly $\cos \alpha = 1$. Vzhľadom na vyššie uvedené vzťahy pre malý difrakčný uhol ϑ platí: $\sin \alpha = \sin 2\vartheta = 2 \sin \vartheta = \frac{r}{2R}$. Zo vzťahu (3) po dosadení dostaneme

$$\lambda_{\text{exp.}} = \frac{rd}{2Rn}. \quad (4)$$

Nakoľko výrobca udáva pre oba krúžky difrakcie prvého rádu ($n = 1$) vzdialenosti atómových rovín $d_1 = 2,13 \cdot 10^{-10}$ m, resp. $d_2 = 1,23 \cdot 10^{-10}$ m, možno po odmeraní polomerov krúžkov na fluorescenčnom tienidle $r_1 = 10,5$ mm, resp. $r_2 = 19,0$ mm, podľa vzťahu (4) vypočítať merané $\lambda_{\text{exp.}} = 17,7 \cdot 10^{-12}$ m. Ak pomocou vzťahu (2) vypočítame $\lambda_{\text{teoret.}} = 17,4 \cdot 10^{-12}$ m, použitím hodnoty napr. $U_a = 4,95$ kV nastavenej pri meraní, dostávame sa k priamej konfrontácii veľkosti experimentálne nameranej de Broglieho vlnovej dĺžky elektrónov a vypočítanej hodnoty z de Broglieho vzťahu (2). Zo zistenej dobrej zhody, $\lambda_{\text{exp.}} = 17,7 \cdot 10^{-12}$ m $\approx \lambda_{\text{teoret.}} = 17,4 \cdot 10^{-12}$ m, môžeme považovať overenie platnosti de Broglieho vzťahu za potvrdené.

Záver

Zo skúsenosti môžeme konštatovať, že popísaný experiment študentov zaujíma a sú ním nadšení, nakoľko môžu priamo pozorovať jav, ktorý je dosť ťažko názorne predstaviteľný a ani samotný experiment nepatrí do skupiny bežných klasických, tradičných fyzikálnych experimentov. To, že v tomto experimente ide skutočne o difrakciu elektrónov, možno názorne ukázať pomocou malého permanentného magnetu, nakoľko jeho priblížením k elektronogramom sa ich tvar okamžite deformuje (obr. 5), čo dokazuje ich elektrónový pôvod. Názorne možno ukázať aj zmenu vlnovej dĺžky de Broglieho vln elektrónov zmenou urýchľujúceho napätia, čo umožňuje poukázať aj na veľmi jednoduchý spôsob fókusácie elektrónových vln, čo sa využíva napr. v elektrónovej mikroskopii.



Obr. 5

Literatúra

- [1] *Simonyi K.*: A fizika kultúrtörténete. Gondolat Kiadó. Budapest 1986. ISBN 963 281 583 1
- [2] General Catalogue Physics: Atomic and Nuclear Physics (555 17 Electron beam diffraction tube) Leybold Didactic GMBH, 1992.
- [3] <http://www.leybold-didactic.de/phk/produkte.asp?Natur=1>, VP6.1.5 Dualismus von Welle und Teilchen
- [4] <http://www.artemis-ucebnipomucky.cz>

Predložený príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu KEGA č. 3/3182/05.