

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

L. Marton

Pokroky v elektronové fyzice v posledních dvaceti letech

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 11 (1966), No. 1, 14--22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137058>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1966

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>

POKROKY V ELEKTRONOVÉ FYZICE V POSLEDNÍCH DVACETI LETECH*)

L. MARTON, National Bureau of Standards, Washington, D. C.

Chceme-li probírat historii daného oboru, musíme si jej nejprve vymežit. Domnívám se, že některé fyzikální procesy, které mohou považovat za část svého vybraného oboru, mohou být odborníkem v blízkém oboru považovány za důležitou část jeho oboru. Tato skutečnost je ovšem běžnou lidskou vlastností a věda není jistě jedinou oblastí lidské činnosti, kde se s tímto problémem setkáváme. Proto nejprve uvedu hraniční podmínky, které jsem si stanovil pro toto pojednání o historii elektronové fyziky. Elektronovou fyzikou budu nazývat studium „podstaty a chování nabitých částic a jejich interakce se silovými poli jak makroskopickými, tak mikroskopickými“. Je zřejmé, že „podstata a chování nabitých částic“ je vlastním oborem elektronové fyziky. Druhá část definice by mne však mohla přivést do rozporu s některými kolegy. Tato druhá část definice, která zní „a jejich interakce se silovými poli jak makroskopickými, tak mikroskopickými“, znamená, že takto vymezená elektronová fyzika zasahuje poněkud do oblasti atomové fyziky a fyziky pevných látek. Takové překrývání různých oborů fyziky je však nevyhnutelné a je často žádoucí.

Elektronová fyzika se neomezuje na fyziku volného elektronu nebo volného iontu. Vyhýbal jsem se pečlivě takovému omezení, protože na příklad elektronová emise zahrnuje přechod od kvazivázaného elektronu k volnému elektronu. Nikoho by při tom nenapadlo tvrdit, že různá hlediska elektronové emise nejsou předmětem studia elektronové fyziky. Do elektronové fyziky zahrnuji i studium srážek elektronů s atomy, jak vyplývá z poslední části mé definice, která hovoří o interakcích elektronů s mikroskopickými silovými poli. Tímto způsobem bych mohl vyvolat rozhořčení atomových fyziků, myslím si však, že pojednání o elektronové fyzice by nebylo úplně bez zahrnutí takovýchto hledisek.

Definice zahrnuje v podstatě též fyziku takových nabitých částic, jako jsou mezony, leptony a hyperony. Poněvadž však největší část studia těchto částic patří do oblasti fyziky velmi vysokých energií, nebudu se o nich téměř vůbec zmiňovat. Elektronová fyzika zahrnuje podle definice studium vlastností a interakcí takových nabitých částic, jako jsou ionty. Tuto problematiku je možno považovat za klasické odvětví elektronové fyziky. Chtěl bych zde připomenout, že už v dobách Millikanových byl elektron vždy považován za „ion“ a v klasické knize J. J. Thomsona se nikde neobjevuje slovo elektron, ačkoliv tato kniha byla publikována o dvacet nebo třicet let později, než byl přijat název „elektron“ pro elementární náboj.

*) Podle úvodního referátu na 3. československé konferenci o elektronice a vakuové fyzice (Praha, 23.—28. září 1965).

Druhé omezení tohoto referátu je dáno jeho názvem. Vyplývá z něho, že bych se měl zabývat pouze posledními dvaceti lety historie elektronové fyziky. Myslím, že je velmi obtížné omezit se na toto období a nevěnovat se, byť stručně, i staršímu období. Domnívám se, že by bylo vhodné zabývat se obdobím delším než dvacet let také proto, že právě nyní je doba, kdy vzpomínáme čtyřicetiletého výročí slavné práce de Broglieho.

Podívejme se v krátkosti na elektronovou fyziku v době před čtyřiceti léty. Tehdy byla právě prostudována na některých látkách termoemise. Fotoemise byla rovněž postavena na dobrý teoretický základ kvantové mechaniky. Sekundární emise byla objevena na začátku tohoto století a nejranější historie autoemise sahá zpět až do posledních let minulého století. Hlavní základy dynamiky elektronu byly objeveny Lorentzem, který stanovil klasické základy elektronové teorie. Zdá se mi, že dnes ani nedovedeme dostatečně zhodnotit obrovskou průkopnickou práci vykonanou tímto velkým fyzikem.

Je nutno uvést ještě několik dalších jmen, aby bylo vidět, jak nesmírně plodná byla dvacátá léta pro elektronovou fyziku a rovněž i pro atomovou fyziku. Po odvození Schrödingerovy rovnice brzy následovalo Heisenbergovo dílo a byl vytvořen Uhlenbeckem a Goudsmitem pojem spinu elektronu. Totéž desetiletí uzřelo i Diracovu teorii elektronu a základy kvantové teorie fotoemise. V tomto oboru obzvláště vynikla díla Fowlerova a Nordheimova. Interakce elektronů s makroskopickými silovými poli jsou základem pro vývoj elektronové optiky, o jejíž vzestup po teoretické stránce se nejvíce zasloužili Stoermer, Glaser a Scherzer. Z experimentálního hlediska bych se chtěl zmínit především o velmi důležité práci provedené Bothem na začátku dvacátých let a o objevení Comptonova jevu roku 1922. Jeden ze základních příspěvků k prvotnímu vývoji pochází od tehdy mladého absolventa Elsasera. Dnes se pomalu zapomíná, že experimentální ověření vlnové podstaty elektronu by nebylo možné bez jeho práce. Historie úspěchů dvacátých let by nebyla úplná bez zmínky o základních pokusech elektronové difrakce. Zde jsou ovšem každému dobře známá jména jako Davisson a Germer a J. P. Thomson.

Po obrovském pokroku dvacátých let muselo nutně následovat období konsolidace. Možná, že nejvýznamnější ze všech experimentálních úspěchů té doby bylo objevení pozitronu Carlem Andersonem, které potvrdilo Diracovu teoretickou předpověď. Mnoho práce bylo rovněž vykonáno v oboru užité elektronové difrakce, to jest použití difrakce elektronů k výzkumu struktury. Tyto experimenty byly značně usnadněny prací ruského fyzika Lebeděva, který jako první ukázal, že elektronové čočky mohou být užity ve spojení s difrakčními pokusy.

Tato zmínka o elektronových čočkách nás přivádí přímo do oboru interakce elektronů s makroskopickými silovými poli, která je obecně známa pod názvem geometrická elektronová optika. Zakladatelem geometrické elektronové optiky byl nepopíratelně Stoermer, jehož výpočty drah nabitých částic v magnetických a elektrostatických polích ukázaly cestu k celému budoucímu vývoji elektronové optiky. Stoermerova práce zůstala bohužel nepovšimnuta a elektronová optika musela být

znovu objevena Buschem v roce 1926. Od té doby nastal prudký rozvoj. Jedna z nejzajímavějších prací byla provedena Glaserem v době, kdy učil na universitě v Praze. *)

Jestliže jsme věnovali tolik času popisu dřívějších úspěchů, není to proto, že bychom byli přesvědčen, že elektronová fyzika nepostoupila tak rychle během minulých dvaceti let jako v době před válkou. Ohromný úspěch elektronové fyziky z let, která jsem právě popsal, nemohl být následován stejně velkými úspěchy v dalším období; v období konsolidace bylo nezbytné, aby mohlo být využito výsledků tohoto velkého pokroku. Těmito poznámkami bych nechtěl nikterak zmenšovat úspěchy poválečného úsilí. Toto úsilí bylo obrovské a zbytek mého referátu bude věnován popisu všeho, co bylo vykonáno po válce. Nejdříve bych rád připomněl významnou práci o anomálním magnetickém momentu elektronu, která velmi přispěla k našemu pochopení podstaty elementárních částic. První, kdo změřili hodnotu radiační korekce k magnetickému momentu elektronu, byli Kusch a jeho spolupracovníci. Crane a jeho spolupracovníci dosáhli extrémně vysoké přesnosti použitím metody precese spinu, která je dnes nejlepším potvrzením metod moderní kvantové elektrodynamiky. Současně se zmínkou o spinu elektronu je užitečné uvést, že teoretická předpověď Motta, která je téměř čtyřicet let stará, byla ověřena až o dvacet let později, kdy Shull ukázal, že při pružném rozptylu mohou skutečně za speciálních podmínek vznikat polarizované elektrony.

S tím těsně souvisí poměr magnetického momentu elektronu k jeho mechanickému momentu, tak zvaný gyromagnetický poměr. Opětovné určení hodnoty gyromagnetického poměru Thomasem, Driscollem a Hipplem vedlo k vynálezu omegatronu. Ten se stal od té doby důležitou pomůckou v hmotové spektroskopii a ve vakuové technologii.

Když jsme mluvili o anomálním magnetickém momentu elektronu, zmínili jsme se o radiační korekci Diracových výpočtů. Tuto opravu provedl Schwinger v letech 1948—49 a v roce 1948 vypočítal ztráty energie orbitálního elektronu (tak zvané synchrotronové záření). Tento jev byl již dříve pozorován, avšak bez jakéhokoli praktického použití. V posledních letech byly nalezeny praktické aplikace, které potvrzují práce o srážkách elektronů s atomy a molekulami, o nichž budu hovořit později.

Velkým pokrokem v pochopení základní podstaty elektronu je fakt, že si zvykáme na vlnovou představu. Před dvaceti lety jsme považovali vlnovou podstatu elektronu za okrajovou vlastnost. Věděli jsme, že bez vlnové podstaty elektronu nemůžeme objasnit jev difrakce. Věděli jsme dokonce, že rozlišovací schopnost elektronového mikroskopu lze těžko vysvětlit bez vlnové koncepce. Dnes je situace zcela jiná. Většinou se správně chápe vlnová podstata elektronu a vlna se stala veličinou, se kterou se počítá. Od objevení elektronového mikroskopu se stala měřitelnou veličinou i fáze elektronu a fázový posuv elektronových vln se stal prostředkem pro měření veličin, jako jsou elektrostatické a vektorové potenciály, které nebyly předtím

*) Na tehdejší německé universitě v Praze (pozn. překladatelů).

přístupné fyzikálnímu měření. Dokonce v oblasti tak vzdálené, jako je supravodivost, způsobuje známý Josephsonův efekt tunelového přechodu supravodivých elektronů interferenční jevy, nápadně analogické k elektronově optické interferenci. Takové základní aspekty elektronu, jako je koherence řady elektronových vln, se stávají předmětem důležitých diskusí. To jsou přímé důsledky podobných diskusí o světelné koherenci. Důležitý rozdíl ovšem je v tom, že elektrony se řídí Fermiho statistikou, kdežto fotony se řídí Bose-Einsteinovou statistikou.

Základními vlastnostmi elektronu se již nemůžeme dále zabývat. Vrátime se k tomuto tématu, až budeme hovořit o elektronovém interferometru, který považují za další vývojový stupeň elektronového mikroskopu. Zatím přejdeme k jinému odvětví elektronové fyziky — k emisí. Jev emise byl vždy důležitý pro použití vědecké i technické. Jedno z nejdůležitějších hledisek je další výzkum věnovaný termoemisi. Emise v homogenní látce je závislá na vzdálenosti nejbližšího okolí a spolu s poznáváním této závislosti se problematika postupně přesouvá k vyšetřování výstupní práce dobře definovaných krystalových ploch. Nottingham a jeho žáci ve Spojených státech velmi pomohli při stanovení základů pro tento výzkum; také bychom neměli zapomenout na výtečné práce provedené Farnsworthem a jeho spolupracovníky.

Termoemise není jediným emisním jevem, který byl úplně prozkoumán. Také naše znalosti ostatních typů emise neustále stoupaly. Značně vzrostly naše vědomosti o autoemisi. Fowlerova-Nordheimova teorie byla velmi dobře potvrzena měřeními provedenými v různých laboratořích. Zvláště bych rád vyzdvihl práci Dykea a spolupracovníků na Linfield College. Práce Erwina Müllera, započatá v Německu, pokračovala po válce v USA poněkud jiným směrem. Byla soustředěna spíše na praktické použití autoemise než na další výzkum a výsledky tohoto úsilí jsou elektronový emisní mikroskop a iontový emisní mikroskop. Autoemisi se zabývalo mnoho významných pracovníků z celého světa. Byli to Gomer v USA, Elinson, Shuppe a Sokolskaja v SSSR, Eckertová v Československu a Ernst v Maďarsku.

Fotoemise se v podstatě vyvíjela dvěma různými směry. Původní práce Goerlichova uspíšila zkoumání fotoelektrických vlastností polovodičů. Práce publikované v různých zemích postavily fotoemisi z polovodičů na velmi dobrý základ nebo alespoň značně přispěly k našemu poznání. Emise z čistých kovů je dobře známa a byla také prozkoumána v závislosti na krystalografické orientaci stejně jako termoemise a autoemise. S rozvojem znalostí ve fyzice pevných látek jsme nyní získali ucelený obraz o uvolňování elektronů těmito třemi způsoby.

Nakonec je třeba se ještě zmínit o sekundární emisí elektronů. Zde se také vykonalo velmi mnoho práce po stránce teoretické i experimentální a stejně jako u ostatních druhů emise elektronů i zde rozvoj fyziky pevných látek pomáhá k lepšímu porozumění těmto problémům.

Vývoj elektronové optiky se v posledních letech zpomalil. Zdá se, že nejvýznamnějším příspěvkem k rozvoji geometrické elektronové optiky v posledních dvaceti letech bylo použití elementů bez axiální symetrie. Nejprve bych se rád v tomto směru zmínil

o připojení stigmatorů k astigmatickým systémům a o následujícím vývoji kvadrupolových a oktupolových systémů jako zobrazujících elementů. Konstruování elektronově optických systémů bylo velmi zjednodušeno zavedením analogických systémů, jako na příklad modelování pomocí odporových sítí. Nejvíce vynikly v tom ohledu příspěvky G. Liebmana z Anglie.

Elektronové mikroskopy učinily velký technický pokrok. Nyní se vyrábějí komerčně na mnoha místech a používá se jich ve velké míře k řešení praktických problémů. Seznam pracovníků zapojených na zdokonalení elektronového mikroskopu je velmi rozsáhlý. Ruska v Německu, Dupouy ve Francii, Watanabe, Ito a další v Japonsku a také Delong a Drahoš v Brně přispěli k pokroku v tomto oboru.

Po mnoho let jsem se zabýval problémy mechanismu vytváření obrazu v elektronovém mikroskopu. Mé první pokusy byly omezeny na zkoumání vlivu elastického a neelastického rozptylu na vytváření kontrastu. Velmi důležité hledisko pro výklad obrazu vyplývá z posledních poznatků, které ukazují, že rozptyl není jediným mechanismem určujícím vytvoření obrazu; kromě fázového kontrastu může být v krystalických látkách krajně důležitá úloha difrakčního kontrastu.

Rozlišovací schopnost elektronového mikroskopu může být dále zdokonalována. Velký pokrok nastal zavedením stigmatorů. Zatím co jsme před dvaceti lety považovali za úspěch dosažení rozlišovací schopnosti 20 Å, dnes dosahujeme 2–3 Å. Nedivil bych se, kdyby v nejbližší budoucnosti i tato hranice byla překročena.

Přístroje odvozené z elektronového mikroskopu se staly dobře známými. Nejdůležitější z nich je snad Castaingův elektronový mikroanalýzátor. Jiný přístroj odvozený z elektronového mikroskopu je elektronový interferometr. Jeho vývoj započal v mé laboratoři a dalšího zdokonalení dosáhl Möllenstedt v Tubinkách a Fert v Toulousu. Byl použit k výzkumu různých fyzikálních jevů, k měření vnitřního potenciálu a Bohm-Aharonovova efektu, který se vztahuje k fyzikální podstatě vektorového potenciálu. Tato měření byla provedena elektronovým mikroskopem na principu změn čela vlny. S potěšením mohu uvést, že dřívější metoda změn amplitudy, která byla navržena v National Bureau of Standards, přispěla podstatně k poslednímu vývoji interferometru pro rentgenové záření.

Již dříve jsem se zmínil o rozptylu elektronů jako o důležitém činiteli pro vytváření kontrastu obrazu elektronového mikroskopu. Studium rozptylu elektronů bylo v poválečných letech v popředí zájmu a bylo v něm dosaženo značného pokroku. Byl kladen důraz na výzkum neelastických srážek, vývoj nového analyzátoru rychlostí elektronů s velkou rozlišovací schopností umožnil nahlédnout do mechanismu ztrát v pevných látkách. Poznání, že vodivostní elektrony v kovu se chovají jako plazma a že v nich lze dopadajícím elektronovým paprskem budít oscilace velkých vlnových délek, umožnilo porozumět některým dalším jevům. Experimentální vývoj šel ruku v ruce s teoretickou prací. Po teoretické stránce vynikli a nejlepších úspěchů dosáhli Möllenstedt a jeho žáci v Tubinkách, Watanabe v Tokiu, Swan a jeho žáci v Perthu v Austrálii, Boersch se svými žáky v Berlíně, Raether a jeho žáci v Hamburku a moje vlastní skupina ve Washingtonu. Konečně si dovoluji upozornit na některé

základní teoretické práce Betheho a na předválečné experimentální práce vykonané Rudbergem, Haworthem a Farnsworthem.

Nejnovější vývoj přináší velmi přesný výzkum ztrát energie elektronu v plynech. Velkého pokroku se dosáhlo díky zlepšeným možnostem analýzy energií spolu s užitím velmi dobré selekce monochromatických elektronů pro primární excitaci. Na předních místech v tomto oboru jsou v současné době experimentální pracovníci Simpson, Kuyatt a Mielczarek z National Bureau of Standards, Schultz z Pittsburghu v Pennsylvánii a teoretičtí pracovníci Fano a Cooper.

Vrátíme se nyní k přístrojům odvozeným z geometrické elektronové optiky. Zde můžeme uvést jako aplikaci v technologii mnohostranné použití elektronových svazků ke sváření kovů, mechanizaci a mikrominiaturizaci. Při tom se využívá možnosti ohýbat elektronové paprsky i o maximální intenzitě, kterou lze tímto způsobem přenášet.

Značný pokrok byl také zaznamenán v takových aplikacích, jako jsou na příklad obrazovky, paměťové elektronky a zesilovače obrazů. O posledním z těchto zařízení bych se chtěl zmínit zvlášť, protože umožňuje pozorovat extrémně slabé jevy a dokonce umožňuje vidění v infračervené oblasti.

Technologie vakuových elektronek udělala největší pokrok v oboru mikrovlnných zařízení. K dřívějšímu vynálezu klystronu Hansenem a bratry Varianovými přibyla později elektronka s postupnou vlnou sestavená Kompfnerem a karcinotron od Warneckeého. Důležitým příspěvkem k vývoji těchto mikrovlnných elektronek byla konstrukce elektronových trysek s vysokou intenzitou svazku, z nichž většina byla založena na vynálezech a výpočtech Pierceových.

Zmínka o elektronových tryskách nás přivádí k dalšímu oboru, který je úplně na okraji elektronové fyziky. Jsou to velké urychlovače elektronů nebo těžších částic, které byly po válce stavěny ve stále větším počtu. Při návrzích většiny těchto přístrojů a také při konstrukci moderních hmotových spektrografů značně pomohl rozvoj základů elektronové optiky. Mnohé z těchto přístrojů jsou založeny na principu rozlišení pomocí doby průletu a na vzájemném působení vysokofrekvenčního pole a elektronového svazku. Takováto interakce vysokofrekvenčního pole s elektronovým svazkem byla použita již u klystronu, kde se s její pomocí dosahuje shlukování elektronů. V elektronce s postupnou vlnou, ve které dochází k vyrovnávání grupové rychlosti elektronů s fázovou rychlostí vysokofrekvenčního pole, je také využito interakce mezi polem a elektronovým svazkem. Velké lineární urychlovače jsou založeny rovněž na takovémto vyrovnávání rychlostí částic s fázovou rychlostí elektromagnetické vlny. V kruhových urychlovačích musí být kromě toho ještě dosaženo určité fokusace urychlovaných částic v čase a v prostoru, a proto jsou ještě složitější. Vyjmenovat všechny významné pracovníky v tomto oboru by si vyžádalo příliš mnoho času, a proto se omezím na několik jmen z počátečního období. V oblasti konstrukce betatronu byl první Kerst, největší zásluhy o vyřešení synchrotronu mají v USA Mc Millan a v SSSR Veksler, v oboru lineárních urychlovačů bych chtěl jmenovat alespoň Panofského.

Elektronika plynů se vždy považovala za jedno z odvětví elektronové fyziky. Zatímco původní elektronika plynů má mnoho stoupců zvláště v oboru termiontové přeměny energie, jedna z nových specializací elektroniky plynů se stala tak důležitou, že se dnes považuje za zvláštní obor fyziky. Myslím tím fyziku plazmatu, která byla zahájena pracemi Langmuira a Tonkse. Krátce před válkou objevil Willard Bennett tzv. pinchefekt. Asi před deseti až patnácti roky byl tento efekt objeven znovu. Zdálo se, že se vbrzku podaří dosáhnout krajně vysokých teplot. Na základě těchto nadějí byla konstruována zcela zvláštní a značně exotická zařízení, na něž byly kladeny mimořádné požadavky. Po nemalém rozčarování se fyzika plazmatu vrátila k normální existenci. Dnes ve spojení s magnetohydrodynamikou je všeobecně uznávána a aktivně využívána. Uvažuje se o použití jejích výsledků pro termonukleární zařízení. Dvě jména vynikají v tomto oboru: v oboru magnetohydrodynamiky Alfvén ve Švédsku a ve využití plazmatu pro termonukleární účely Kurčatov v SSSR.

Po zmínce o magnetohydrodynamice obracím se zcela automaticky k astrofyzice. Příchod kosmického věku nezastihl elektronovou fyziku nepřipravenou. Nejdříve bych se chtěl zmínit o příspěvku k astrofyzice. Studium neelastických srážek dává výborné informace o hladinách energie a o energetických přechodech v atomech a molekulách. Výsledků těchto laboratorních prací se přímo používá při astrofyzikálních pozorováních. Jiná zajímavá aplikace je použití Stoermerovy rovnice k jevům v kosmickém prostoru. Toto použití velmi přispělo k porozumění mnohým názorům na pásy nabitých částic, které jsou rozloženy kolem Země. Rád bych zde vyzdvihl alespoň jméno Van Allen. Bezpochyby ještě mnozí další američtí a sovětské odborníci přispěli k tomuto triumfu elektronové fyziky a geofyziky. Nakonec bych se chtěl ještě zmínit o studiu vysoké atmosféry a zvláště o výzkumu jevu polárního záření a tvoření ozónových vrstev. Zde opět nachází velmi dobré uplatnění výzkum ionizace, disociace, rekombinačního záření atd., který se koná v laboratořích mnoha zemí.

Během posledních několika let se značně rozvinulo studium katodového rozprašování a pomohlo k pochopení podstaty tohoto jevu. Wehner ve Spojených státech, Jurasova v SSSR, Koedam v Holandsku a mnozí jiní přispěli k rozvoji tohoto zvláštního odvětví elektronové fyziky. Zvlášť jsem byl překvapen studiem eroze kosmických letadel a jejich částí způsobené srážkami s nabitými částicemi během letu.

Poněvadž tato konference není věnována pouze fyzice elektronové, ale i vakuové, chtěl bych říci několik slov o pokroku v tomto odvětví. Pokrok ve vakuové fyzice se ubíral paralelně s pokrokem elektronové fyziky a jedna část fyziky pomáhala druhé a naopak. Je zřejmé, že i jiná odvětví fyziky potřebují dobrou vakuovou techniku. Já však věřím, že to byli právě fyzikové pracující v oboru elektronové fyziky, kteří byli nejvíce nápomocni při zdokonalování zařízení a techniky potřebné pro získání ultravysokého vakua. Vrátime-li se zpět do doby před dvaceti lety, vidíme, že jsme tehdy byli schopni vytvořit lepší vakuum, než jsme mohli změřit. Vznikl tu rozpor mezi možností získávat vakuum a mezi možností vakuum měřit. Prvním důležitým

pokrokem v tomto směru bylo zkonstruování ionizačního manometru „bez rentgenového záření“ — tak zvaného Bayardova-Alpertova manometru, ačkoliv princip, na němž je tento manometr založen, byl objeven už Nottinghamem. Později byl zkonstruován větší počet různých manometrů s rozšířeným měřicím oborem.

Také difusní vývěvy byly v tomto období zlepšeny. Neprodělaly sice žádné podstatné změny, ale staly se spolehlivějšími a většími. Zajímavější je vývoj nových vývěv založených na principu ionizačního manometru. Tyto vývěvy se v podstatě dělí do dvou kategorií, a to podle toho zda používají nebo nepoužívají magnetického pole. Do první skupiny náležejí tzv. vývěvy iontové, do druhé vývěvy s vypařováním aktivního kovu. Molekulární vývěva Gaedeho byla vystředána dokonalejší turbomolekulární vývěvou. Zcela novým směrem ve vývoji jsou kryogenní vývěvy, o nichž se domnívám, že jsou teprve v počátcích.

Vakuové systémy prošly značnými změnami vlivem vývoje ultravysokovakuových zařízení a také tím, že se použilo nových materiálů. Za nejdůležitější změnu považuji, že se ve stále větší míře používá kovových systémů. Použití skla však ještě zdaleka nevymizelo z elektronové fyziky.

Domnívám se, že jsem v tomto referátu podal poněkud delší, i když jistě ne úplný přehled oborů elektronové fyziky. Úplný výčet, doplněný jmény vynikajících badatelů v těchto oborech, by zabral podstatně více času, než máme k dispozici.

Dovolte mi, abych se nyní pokusil o zhodnocení pokroku posledních dvaceti až třiceti let z hledisek pokud možno všeobecných. Naše hodnocení pokroku bude záviset na tom, jaké stanovisko zaujmeme a také jak si budeme pokrok definovat. Řekněme si nejprve, že podstata elektronu byla počátkem tohoto století mnohem pochopitelnější nežli dnes. Tehdy jsme používali mechanistického modelu, který se opírá o představu pevné koule nesoucí určitý náboj a zároveň se řídí zákony Newtonovy mechaniky. Kdybychom považovali za pokrok fakt, že nyní máme jasnější představu o podstatě elektronu, potom jsem odhodlán říci, že jsme neudělali tento druh pokroku. Na místo něčeho, s čím lze snadno manipulovat, máme nyní velmi složitý obraz elektronu, který podle toho, jaký experiment provádíme, se může chovat buď jako částice, nebo jako vlna, a který může být dobře popsán pouze velmi složitými matematickými rovnicemi. Máme mnohem složitější model, který pouze ve své aproximaci zobrazuje chování částice podobně jako model, který měli k dispozici fyzikové počátkem tohoto století. Jestliže usilujeme o větší jasnost v této otázce, potom odpověď vyzní ve prospěch staršího modelu. Nechápeme mnohem lépe, co je to elektron, ačkoliv lépe rozumíme některým jeho aspektům.

Úkolem vědy je popsat přírodu tak, aby všechny naše informace se shodovaly s tímto popisem. Současně by nám měl takový popis umožnit předvídat nové jevy, které nebyly dosud pozorovány. Použijeme-li této definice, zjistíme, že elektronová fyzika za posledních dvacet let učinila velký pokrok. Nový způsob popisu elektronu pomocí složitých rovnic nám umožňuje pracovat mnohem lépe a předvídat nové jevy. Popisu současně odpovídá většina experimentálních údajů o elektronu. Tento způsob práce je nutný, protože v současné době poznáváme, že máme co činit s reali-

tu existující zcela mimo naše smyslové orgány. Víme nyní, že hrubých modelů nelze použít k popisu takovéto reality. Můžeme si jenom přát, abychom vždy konstruovali takové matematické a jiné modely, které by byly dostatečně všeobecnými, aby zahrnuly jevy pokud možno z nejširší oblasti. Tyto nové metody jsou zřejmým pokrokem ve smyslu mé pracovní definice, pokud je extrapolace přípustná ve velmi malých rozměrech. Současně pak ukazují na slabá místa v našich znalostech, která vyžadují další zkoumání. Nechtěl jsem ovšem říci, že naše matematické modely jsou dokonalé. Domnívám se pouze, že představují obrovský pokrok ve srovnání s mechanistickými modely používanými před padesáti lety.

Přeložili a upravili Petr Řepa a Libor Pátý

SYNTAKTICKÉ METODY MATEMATICKÉ LOGIKY

PETR HÁJEK, Praha

Tento článek byl napsán ze dvou důvodů. Za prvé má dát čtenáři informativní přestavu o předmětu matematické logiky — aspoň v jednom jeho významném aspektu. Tento důvod by však sám o sobě nestačil, neboť čtenář má k dispozici např. přehledný článek Riegrův [8]*), který je třeba zájemcům vřele doporučit; ve srovnání s první polovinou mého článku dovedí se v Riegrově článku více o zásadním pojetí matematické logiky (nejen o jejích syntaktických aspektech), ale méně o konkrétním aparátu matematické logiky, jehož minimální znalost Rieger předpokládá. V tomto článku jsem však chtěl za druhé vyzdvihnout (snad subjektivně) finitně syntaktický aspekt matematické logiky (viz nadpis) a referovat o práci i výsledcích pražské matematickologické školy, založené zesnulým doc. L. RIEGREM a vedené nyní doc. P. VOPĚNKOU, která v aplikaci syntaktických metod na metamatematické problémy teorie množin dosáhla významných výsledků (alespoň pokud jde o jmenované představitele). První část článku informuje o předmětu matematické logiky, aniž předpokládá speciální znalosti. V druhé části, kde se referuje o metamatematické problematice teorie množin, se od čtenáře vyžaduje jistá orientace v teorii množin, např. v rozsahu přehledného článku akad. KOŘÍNKY [7].

Předmětem matematické logiky je podle Riegra [8] studium obecných zákonitostí vztahu důsledku mezi matematickými větami. Toto studium má dvě části: 1. formalizaci vztahu důsledku, tj. konstrukci formálních jazyků (logistických systémů), 2. vlastní studium takto zkonstruovaných systémů.

*) A také článek J. Hořejše [5]; jeho příspěvek mi nebyl znám při psaní tohoto článku. Čtenář pozná, že Hořejšův článek je zaměřen poněkud jiným směrem než mé pojednání (najde v něm např. zevrubné poučení o výrokovém počtu, o němž se v tomto článku vůbec nezmiňuji). Některé myšlenky, které lze najít jak v Hořejšově článku, tak zde, byly zde ponechány, aby čtenář, který se zajímá o výsledky pražské školy, měl k prostudování co nejméně průpravných partií, tj. aby vystačil s článkem, který má právě v ruce.