

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Petr L. Kapica

O některých etapách rozvoje výzkumu v oboru magnetismu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 21 (1976), No. 2, 61--71

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139252>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1976

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*.



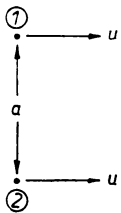
This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

O některých etapách rozvoje výzkumu v oboru magnetismu*)

Petr L. Kapica, Moskva

Byl jsem požádán o úvodní proslov při zahájení konference. Ať už je to pro mne jakkoliv smutné, jsem zřejmě jedním z nejpřestárlejších členů tohoto shromáždění, a přijal jsem tedy čestné pozvání, abych vyplnil čas prvního zasedání.

Když jsem v r. 1918 končil studia na Polytechnickém institutu, moje diplomová práce, konaná v laboratoři A. F. JOFFEHO, se týkala magnetismu a od té doby jsem zůstal tomuto oboru fyziky věrný. Doufám, že pro vás bude zajímavé, když na základě své dlouholeté účasti v tomto oboru připomenu, které etapy rozvoje magnetismu na mne za tu dobu nejvíce zapůsobily.



Začnu rozborem velmi jednoduchého jevu. V bodě 1 (viz obrázek) je umístěn náboj e . Ve vzdálenosti a (bod 2) pak vznikne elektrické pole o intenzitě

$$(1) \quad E = \frac{e}{a^2}.$$

Jestliže do bodu 2 umístíme náboj e' , bude mezi oběma náboji působit mechanická síla elektrostatické povahy

$$(2) \quad F_e = \frac{ee'}{a^2}.$$

Pohybuje-li se náboj e rychlostí u , vzniká ve vzdálenosti a ještě magnetické pole o intenzitě

$$(3) \quad H = \frac{u}{c} \frac{e}{a^2},$$

přičemž c je rychlost světla. Jestliže se náboj e' v bodě 2 pohybuje rovnoběžně s nábojem e toutéž rychlostí u , působí na něj síla elektromagnetické povahy. Jak je známo, je rovna

$$(4) \quad F_m = -\frac{u^2}{c^2} \cdot \frac{ee'}{a^2}.$$

* Zahajovací projev na Mezinárodní konferenci o magnetismu v Moskvě 1973.

Celková síla mezi rovnoběžně se pohybujícími náboji je tedy rovna

$$(5) \quad F = F_e + F_m = \frac{ee'}{a^2} \left(1 - \frac{u^2}{c^2} \right).$$

Z toho je vidět, že hlavní síla je dána elektrostatickou interakcí; od ní se odečítá síla magnetické interakce (člen s koeficientem u^2/c^2), která vzniká při pohybu nábojů e a e' v magnetickém poli.

Předpokládejme nyní, že se pozorovatel rovněž pohybuje stejnou rychlostí a rovnoběžně s náboji. Setkáváme se zde s paradoxem, neboť tento pozorovatel, na rozdíl od pozorovatele v klidu, bude popisovat tutéž sílu vzájemného působení částic jako čistě elektrostatickou; pro něj jako by magnetické pole neexistovalo.

Tento jednoduchý příklad názorně odhaluje povahu elektromagnetického pole a obvykle ho uvádím studentům při přednáškách. Dnes tento paradox dobře vysvětluje teorie relativity. Připomněl jsem to, protože v poněkud obecnějším tvaru o něm pojednává MAXWELL v poslední kapitole svého *Traktátu o elektřině a magnetismu*. Tehdy však interpretace tohoto jevu vyvolávala značné obtíže.

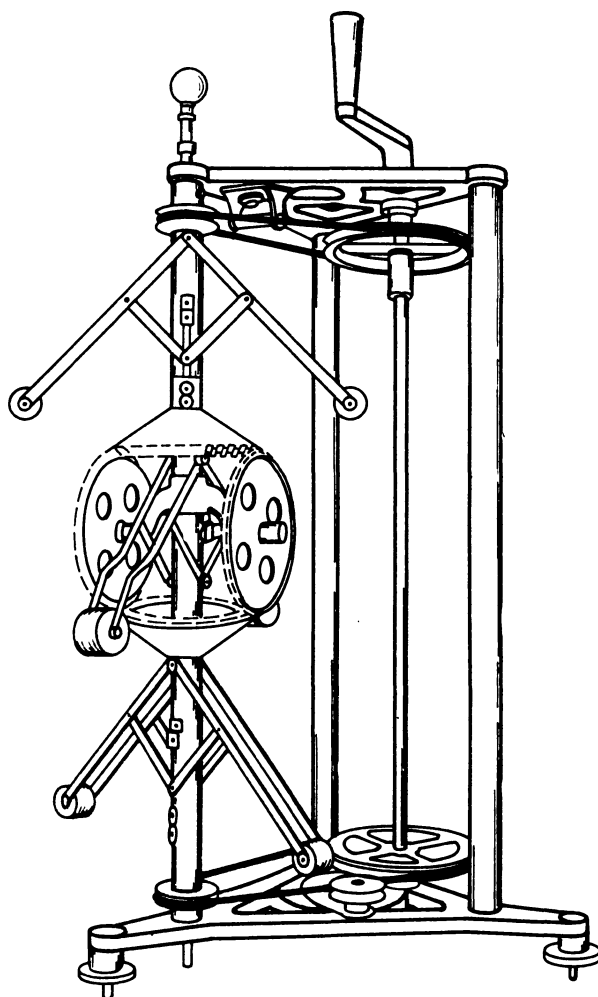
Uvedl jsem tento příklad proto, abych vás upozornil, že prvé vydání Maxwellova *Traktátu* vyšlo právě před 100 lety. Na obrázku je reprodukce titulní stránky této skvělé knihy,*) kterou jsem si koupil ještě r. 1921 za několik šilinků u knihkupce na náměstí v Cambridgi. Myslím, že naše konference, věnovaná magnetismu, nemůže pomínout toto jubileum. Jsou-li NEWTONOVA *Principia* teoretickým zobecněním Galileových experimentálních prací a tvoří-li základ mechaniky, je nutno Maxwellův *Traktát* považovat za zobecnění experimentálních prací FARADAYOVÝCH, které tvoří základ současné elektrodynamiky.

V souvislosti s tímto výročím *Traktátu* bych rád o něm řekl několik slov, a to tím spíše, že dnes už ho málokdo čte, ačkoliv v něm lze najít pravé perly jak ve formulaci úloh, které jsou dodnes zajímavé, tak v originálních metodách jejich řešení.

Traktát dnes chápeme velmi snadno a jeho četba poskytuje velký estetický zážitek, ale dříve, dokonce ještě 15 až 20 let po jeho uveřejnění, byl chápán jen s obtížemi. Je to dobře patrné z přednášek LUDWIGA BOLTZMANNNA o Maxwellově teorii, vydaných v r. 1891 (L. BOLTZMANN, *Vorlesungen über die Maxwellische Theorie*, Leipzig 1891). I tak velkému vědci, jakým byl Boltzmann, působilo v té době chápání Maxwellovy nauky o elektromagnetickém poli velké nesnáze. Je to vidět z toho, jak se pokoušel vytvořit konkrétní mechanické modely pro dynamické procesy probíhající v elektromagnetickém poli. Jeden z těchto modelů, které Boltzmann uváděl ve svých přednáškách, je zobrazen na obr. 2. Domnívám se, že jeho složitá konstrukce i bez podrobného rozboru stačí k tomu, aby demonstrovala obtíže Boltzmannova chápání Maxwellovy teorie.

Dnes už maxwellovské představy o elektromagnetickém poli obtíže nevyvolávají. Když zkusím studenty, soustavně pozorují, že lépe znají a rozumějí elektromagnetickým procesům než např. gyroskopickým jevům v mechanice. Souvisí to zřejmě s tím, že se již v mládí seznamují s radiopřijímači a televizory. Někteří učitelé dnes navrhuji postupovat opačně než Boltzmann, tj. studovat mechaniku na základě elektrodynamiky.

*) Od reprodukce jsme museli upustit. Pozn. red.



Obr. 2

Doufám, že se mnou souhlasíte v tom, že by naše konference měla v každém případě připomenout význam *Traktátu*, ne-li věnovat zvláštní vzpomínku jeho jubileu.

Výše uvedený příklad o vzájemném působení nábojů je poučný ještě z jednoho důvodu: bezprostředně z něho vyplývá, že magnetické pole H je vždy vytvářeno náboji, které se pohybují vzhledem k pozorovateli. Studujeme-li tedy magnetické pole vzbuzené zmagetovanými tělesy, můžeme určit polohu a pohyb nábojů v hmotném prostředí. Je to jedna ze základních a neúčinnějších metod poznání elektrické podstaty hmoty. A to je též předmětem výzkumu magnetických jevů.

Podle vztahu (3) je pole vytvářené pohybujícím se nábojem nepřímo úměrné čtverci vzdálenosti a přímo úměrné rychlosti jeho pohybu. Je to určité zobecnění Biotova-Savartova zákona, objeveného už v r. 1820 pro element elektrického proudu. Správnost tohoto zobecnění je však nutno experimentálně ověřit. Ukázalo se, že přímý a přesný postup je velmi obtížný. Je to způsobeno tím, že magnetické pole je podle vztahu (3) úměrné poměru rychlosti náboje u k rychlosti světla c . Protože rychlost u je nutno vytvá-

řet mechanickým pohybem, je velmi malá vůči rychlosti světla, a proto i pole, které se má měřit, je velmi malé.

Prvním, komu se to podařilo (v r. 1876), byl ROWLAND, jeden z nejzručnějších experimentátorů tehdejší doby. Ověřil tento zákon, ale jen velmi přibližně. Lepšího výsledku dosáhl RÖNTGEN (r. 1885). Nej přesnější výsledky však získal A. A. EICHENWALD v letech 1903–1904 při pokusech konaných na moskevské univerzitě. Když byl objeven elektron a určena jeho hmotnost, bylo možno přesně určit rychlost elektronů urychlených známým elektrickým polem při jejich pohybu ve vakuu. Tímto způsobem, tj. měřením magnetického pole vytvářeného elektronovým svazkem, ověřil A. F. Joffe v r. 1911 s dobrou přesností Biotův-Savartův zákon.

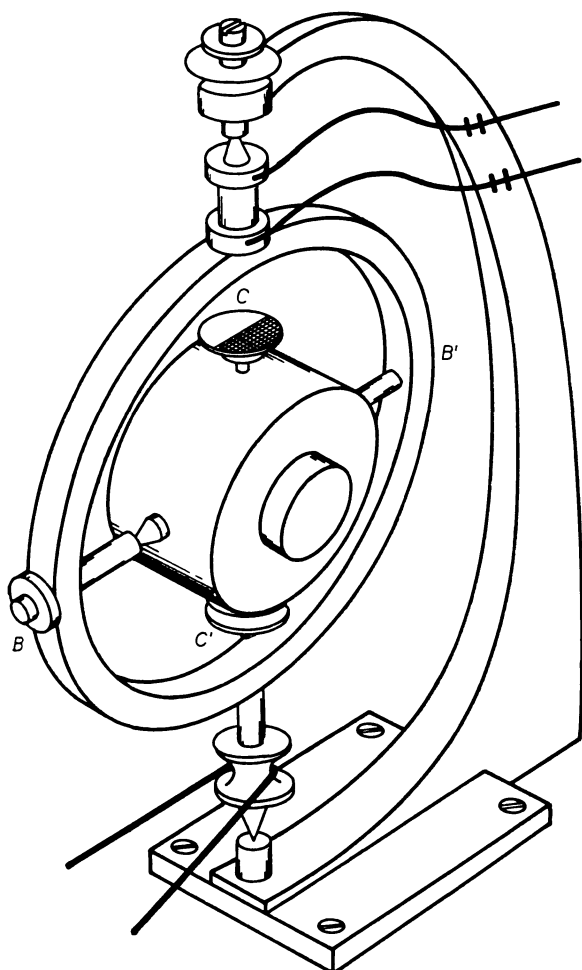
Objev, že elektrony jakožto nositelé proudu mají kromě náboje i určitou hmotnost, vedl k závažnému důsledku: každé zmagnetované těleso, jehož magnetický moment je vytvářen pohybem elektronů, musí mít i příslušný mechanický moment hybnosti. Poměr těchto momentů je roven $e/2m$.*) V r. 1908 ukázal RICHARDSON, že tento poměr je možno experimentálně ověřit měřením momentu hybnosti. Protože však tento moment je i u zmagnetovaného železa velmi malý, lze jej pozorovat velmi obtížně. Roku 1914 se to podařilo BARNETTOVI. Jeho pokus spočíval na této úvaze: roztočíme-li železný válec a předpokládáme, že atomy železa se chovají jako malé setrvačníky, potom se směry jejich momentů budou naklánět do směru osy rotace, podobně jako to činí obyčejné gyroskopy. V tomto směru bude pak mít válec magnetický moment. Barnettovi se podařilo tento efekt pozorovat. Pokus byl velmi obtížný, protože zmagnetování válce bylo velmi malé a nebylo ho možno přesně změřit.

Jiný způsob, jak zjistit poměr magnetického a mechanického momentu byl uskutečněn při pokusu nesoucím název Einsteinův-de Haasův. Pokus záležel v tom, že při periodickém přemagnetování volně zavěšeného feromagnetického válce vzniknou torzní kmity, jejichž změřením lze určit poměr $e/2m$. Tento pokus rovněž vyžaduje značné experimentální umění. Byl proveden v Leydenu r. 1915; přesnost jeho výsledků byla zpočátku rovněž nízká.

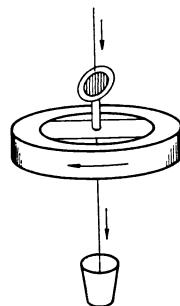
Ve všech encyklopediích a kursech fyziky, které znám, není zmínky o tom, že myšlenku těchto pokusů vyslovil už Maxwell ve svém *Traktátu*. Maxwell předpokládá, že elektrický proud může mít setrvačnou hmotu a uvádí dva pokusy, které provedl pro její zjištění. V *Traktátu* jsou popsány v §§ 574 a 575.

Na obr. 3 je zobrazen přístroj, na němž se zakládal pokus z r. 1861. Vodorovně je umístěn železný válec *A*, který je možno zmagnetovat proudem v okolní cívce. Válec je zavěšen podobně jako setrvačník v gyroskopu. Celý systém se může otáčet kolem svislé osy. Kdyby se při zmagnetování u železného válce objevil mechanický moment, jeho osa by se musela natáčet do směru svislé osy rotace. Toto natočení magnetu lze zjistit pozorováním disku *C*, jehož jedna polovina je červená a druhá zelená. Při otáčení se disk díky míchání barev jeví jako bílý. Jestliže se zmagnetovaný válec začne natáčet, ve středu disku se objeví podle směru natočení zelená nebo červená skvrna.

*) e je měřeno v elektromagnetických jednotkách (cgsm). V elektrostatických jednotkách (cgse) je tento poměr $e/2mc$, kde c je rychlost světla. (Pozn. překl.)



Obr. 3.



Obr. 4.

Když jsem byl v Cambridgi v Cavendishově laboratoři, našel jsem tento přístroj v jedné skříni se starými přístroji. Je nasnadě, že myšlenka tohoto pokusu je velmi blízká Barnettovu experimentu.

Zařízení pro druhý Maxwellův pokus je zobrazeno na obr. 4. Je to volně zavěšená vodorovná cívka, do níž se závěsem přivádí proud. Pomocí zrcátka přilepeného k cívce se Maxwell pokoušel pozorovat kmity cívky při průchodu proudem. Tato myšlenka je stejná jako u pokusu Einsteinova-de Haasova. Maxwell ve svém *Traktátu* píše, že při obou pokusech se mu nepodařilo pozorovat mechanický moment spojený s průchodem proudem. Když nyní známe skutečnou velikost tohoto efektu, plně to chápeme, protože při Maxwellových pokusech chybělo k pozorování efektu několik řádů v citlivosti.

Jak je známo, ani Barnettovi ani Einsteinovi a de Haasovi se vzhledem k obtížnosti pokusu nepodařilo zpočátku správně určit poměr magnetického momentu k mechanickému. Když byl konečně tento poměr určen správně, ukázalo se, že je dvakrát větší, než se čekalo. Tento neočekávaný výsledek pak byl neobyčejně důležitý pro odhalení spinové povahy samotného elektronu.

Zmínil jsem se o těchto pokusech, protože si myslím, že je spravedlivé, aby se alespoň jednou za sto let připomněl podíl Maxwellových ideí na těchto výzkumech.

V roce 1921 jsem přijel do Anglie a stal jsem se vědeckým pracovníkem v Cavendishově laboratoři, kterou vedl RUTHERFORD. Jedna z mých prvních prací vznikla na základě myšlenky pozorovat průlet α -částic Wilsonovou komorou v magnetickém poli, aby ze zakřivení dráhy bylo možno měřit rychlost každé jednotlivé částice. Do té doby se Wilsonova komora vůbec do magnetického pole neumísťovala. Pro tyto pokusy bylo nutno najít způsob, jak vytvořit silné magnetické pole o intenzitě blízké 100 kOe, a to v cívce, jejíž rozměry by umožňovaly do tohoto magnetického pole umístit Wilsonovu komoru. Po technické stránce se vše zdálo uskutečnitelné, neboť doba, za kterou se vytvořily stopy v komoře, činila zlomky sekundy, a magnetické pole bylo tedy potřeba jen po krátký čas. Tím odpadla základní obtíž při vytváření silných magnetických polí, kterou je přehřátí cívky. Dalo se snadno spočítat, že za dobu několika setin vteřiny, po kterou by měl cívkou protékat proud, se vinutí díky své tepelné kapacitě neohřeje více než na 100 °C. Hlavní potíž byla spojena se získáním mohutného pulsního zdroje elektrické energie.

V té době neměla elektrotechnika — jako nyní — k dispozici kondenzátory o velké kapacitě. Problém jsme vyřešili tím, že jsme sestrojili speciální akumulátorovou baterii, složenou z olověných desek. Mezera mezi nimi byla 1–2 mm a byla vyplněna kyselinou sírovou. Takováto akumulátorová baterie měla malou kapacitu a malý vnitřní odpor. Poskytovala pulsně požadovaný výkon 200–300 kW. Vše se podařilo zvládnout a pokusy skončily úspěšně. Byly získány zakřivené dráhy α -částic a byla proměřena jejich křivost. Studium průletu nabitých částic Wilsonovou komorou v magnetickém poli patří dosud k účinným metodám studia radioaktivních procesů.

Potom jsem začal používat pulsní metody získávání silných magnetických polí ke studiu magnetických vlastností látek. Třebaže tento směr nezapadal do základní tematiky Cavendishovy laboratoře, Rutherford na něj pohlížel příznivě a poskytl mi všechno potřebné pro tento výzkum.

Když jsem se začal zabývat magnetickými vlastnostmi látek, první, co na mne hluboce zapůsobilo, byly práce konané ve Francii. Je třeba se zmínit o tom, že koncem minulého a začátkem tohoto století se ve Francii prováděly nejzajímavější práce v oboru magnetismu. Obzvláště vynikala skupina vědců složená z PIERRA CURIE, LANGEVINA a P. WEISSE.

Je známo, že systematické studium magnetických vlastností řady prvků při různých teplotách, které prováděl Pierre Curie, vedlo v r. 1895 k odhalení jednoho ze základních zákonů magnetismu, který dnes nese Curieovo jméno.

Langevinovy teoretické práce z magnetismu, uskutečněné v r. 1905 na základě prací P. Curie, bezesporu položily základ současné teorie paramagnetických jevů. Vycházely z představ statistické mechaniky vybudované BOLTZMANNEM, která vede ke známému rozdělovacímu zákonu při dané teplotě v silovém poli. Tohoto zákona použil Langevin k popisu rozdělení směrů magnetických momentů atomů ve zmagetovaném tělese. Tímto způsobem byl nejen odvozen Curieův zákon o teplotní závislosti magnetizace, ale byla dána i kvantitativní souvislost mezi magnetickým momentem atomu a magnetickou susceptibilitou.

Ve spojení s Langevinem a P. Curie pracoval tehdy Weiss. Jeho práce se týkaly výzkumu feromagnetismu. Tyto výzkumy je třeba považovat za klasické, protože odhalily existenci molekulárního pole a umožnily pochopení magnetizačních procesů probíhajících ve feromagnetických krystalech.

Je nutno se zmínit o tom, že u Weisse vznikla myšlenka o existenci „magnetonu“ – jednotky magnetického momentu atomu. Chtěl tuto ideu potvrdit experimentálně, ale plně se mu to nepodařilo, protože teoretický základ byl tehdy ještě nedostatečný. Třebaže Weissova myšlenka byla správná, teoreticky byla podložena, až když byl na základě kvantové teorie vytvořen Bohrov model atomu.

Pro výpočet velikosti magnetonu byla Weissova metoda nevhodná. Jak známo, byl Bohrov magneton objeven a určen v klasickém pokusu Sternově-Gerlachově, který se týkal rozštěpení molekulárního svazku v magnetickém poli. V té době se předpokládalo, že další rozvoj výzkumu magnetických jevů je nutno vést ve dvou základních směrech. Prvním je zvyšování intenzity magnetického pole, druhým je snižování teploty. Těmito cestami se fyzikové snažili dosáhnout toho, aby energie vzájemného působení atomů s magnetickým polem byla větší než tepelná energie. Je zřejmé, že se při tom magnetické vlastnosti látek projeví mnohem důkladněji. Weiss proto neúnavně pracoval na zdokonalení svého elektromagnetu: zlepšoval tvar jha, vinutí chladil vodou, pólové nástavce vyrobil z kobaltové oceli.

V těch letech se do těchto prací rovněž zapojil nadaný fyzik COTTON. Nejprve v Bellevue sestrojil na svoji dobu velký elektromagnet a zároveň poněkud zlepšil Weissovu konstrukci. Nedostal však ani ve velmi malém objemu pole větší než 70 kOe. Zabýval se též vytvořením pole v cívce intenzivně chlazené vodou, ale nedosáhl nějakých významných výsledků. Jak je známo, je dnes tato metoda získávání stacionárních magnetických polí značně rozšířena. Nejúspěšněji je realizována v Harvardu v Bitterově laboratoři, kde takto získali stacionární pole kolem 200 kOe.

Nebylo těžké vidět, že pro získání řady magnetických jevů stačilo vytvořit silné magnetické pole na zlomek sekundy, a proto jsem začal dále propracovávat svou pulsní metodu. Aby bylo možno zvýšit intenzitu pole, bylo především třeba mít výkonnější zdroj pulsní energie. K tomu účelu byl sestrojen speciální pulsní generátor, který na úkor kinetické energie rotoru dával po dobu jedné setiny sekundy výkon kolem 200 MW. Na stavbu tohoto generátoru, která byla zadána firmě Vickers v Manchesteru, Rutherford sehnal nikoli bez obtíží nutnou částku 3000 liber sterlingů, což se v té době považovalo ve vědecké práci za částku výjimečně vysokou. Když jsme měli k dispozici tento výkon, podařilo se nám získat pole mezi 300 až 400 kOe v objemu dostatečném pro experiment (několik kubických centimetrů).

Limitujícím faktorem pro další zvyšování intenzity magnetického pole se nyní stala pevnost cívky. Není obtížné spočítat, že uvnitř solenoidu při poli H jakoby vznikl hydrostatický tlak řádu

$$p = \frac{H^2}{8\pi} \cdot 10^{-6} \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}.$$

Z tohoto vzorce vyplývá, že např. v poli 500 kOe dosahuje tlak p hodnoty 10 000 atm. Aby cívka neexplodovala, což se nám nejednou stalo, bylo nutno konstruovat cívky

speciálně pevné, vyrobené z kadmiového bronzu místo z mědi a zpevněné ocelovou bandáží. Ve stejných objemech jsme takto dosahovali polí přibližně o řád vyšších než v elektromagnetech.

V těchto silných pulsních polích jsme zkoumali magnetické vlastnosti řady prvků, především jejich magnetizaci. Studovali jsme tehdy také jejich magnetostriktu a našli jsme ji nejen u feromagnetik. Ve spektrech jsme pozorovali Paschenův-Backův jev. Ale nejzajímavějšími se ukázaly galvanomagnetické jevy.

Elektronová teorie elektrické vodivosti tehdy předpovídala kvadratický zákon pro změnu odporu v magnetickém poli; odpor pak měl dosti rychle nabývat mezní hodnoty. Ve skutečnosti jsme při našich pokusech pozorovali u všech kovů bez výjimky lineární změnu odporu bez náznaků nasycení, a to jak při pokojové, tak při dusíkové a vodíkové teplotě.

Výjimku tvořily prvky se špatnou vodivostí, která silně závisela na teplotě a na příměsích. K těmto prvkům patří např. telur, germanium aj., které se potom začaly nazývat polovodiče. Pouze u nich probíhala změna odporu zpočátku podle kvadratického zákona s následujícím nasycením, tak jak bylo předpověděno pro kovy. Poprvé si toho povšiml GURNEY, a jak známo, tento průběh změny elektrické vodivosti umožnil pochopit její podstatu v polovodičích.

Pokud jde o kovy, zůstávaly jejich galvanomagnetické vlastnosti, nehledě na řadu pokusů o výklad, neobjasněny téměř 30 let, dokud se to nepodařilo I. M. LIFŠICOVÍ v jeho vynikajících pracích. Bylo to ovšem umožněno díky hlubšímu pochopení kvantových procesů v kovech, které vedlo k představě o Fermiho rozdělení rychlostí elektronů a k dalším kvantovým jevům.

Celkově se však mým pracím o galvanomagnetických jevech v silných magnetických polích příliš nedařilo, protože byly často přerušovány za nepředvídaných okolností. V r. 1934 byly přerušeny proto, že jsem už nemohl pokračovat v práci v Cambridge. Když byla aparatura s generátorem pro získávání silných magnetických polí převezena díky Rutherfordově laskavosti do Moskvy a tam znovu postavena, byly mé práce brzy přerušeny válkou a s ní spojenou evakuací. Po skončení války a návratu do Moskvy jsem sotva začal pracovat, když jsem byl nucen opustit ústav na 7 let, a teprve v r. 1954 jsem se do něho mohl vrátit. Během těchto let se mé zájmy přesunuly do oblasti elektroniky a plazmatu. I když se v pracích z oboru magnetismu v našem ústavu pokračovalo, já sám jsem už svoji účast na nich neobnovil.

Druhým základním směrem při výzkumu magnetických vlastností látek bylo snižování teploty. Zde ovšem byly nejzajímavější výsledky získány až poté, když bylo zkapalněno hélium a dosaženo teplot blízkých absolutní nule. To učinil r. 1908 KAMERLINGH-ONNES v Leydenu. Když jsem začal v dvacátých letech pracovat v Cambridgi, byl Leyden jediným místem, kde se zkapalňovalo hélium, a MCLENNON v Torontu a MEISSNER v Charlottenburgu teprve začínali pracovat. Pokud se pamatuji, zkapalňovali tehdy v Leydenu nejvýše 2–3 litry hélia za týden, ale i s tímto množstvím prováděli neobyčejně zajímavé pokusy; byla objevena supravodivost a ještě řada jiných zajímavých jevů. Domnívám se, že v oblasti studia vlastností látek za nízkých teplot je nutno považovat leydenskou laboratoř během celého století za nejvýznamnější ze všech vědeckých středisek. Snad

nebude přehnané říci, že všechny velké objevy v magnetismu při nízkých teplotách kromě Meissnerova jevu byly učiněny v Leydenu.

Je s podivem, jak v malé zemi, v jednom univerzitním středisku se postupně objevují tak význační experimentální fyzikové jako VAN DER WAALS, KAMERLINGH-ONNES, DE HAAS, KEESOM, a tak význační teoretikové, jakými byli LORENTZ a EHRENFEST. Špičková úroveň vědeckých výzkumů v oboru magnetismu se v Leydenu udržuje dodnes pracemi profesora GORTERA, který se účastní naší konference, a jeho spolupracovníků.

A které jsou základní směry výzkumu dnes? Pokusím se je krátce vyjmenovat.

V oblasti silných magnetických polí dává dosud pulsní metoda rekordní hodnoty. Používání této metody je však už mnohem snažší, protože jako zdroj výkonu slouží kondenzátory o velké kapacitě, vyráběné ve velkém množství průmyslově. Otázka pevnosti cívek se nyní řeší rovněž jednodušeji: zhotovují se bez zvláštní armatury, využívá se však faktu, že tlak vyvolaný magnetickým polem má pulsní charakter, takže je možno jej kompenzovat viskozními silami, které vznikají ve vinutí cívky při její deformaci. V praxi to znamená, že je nutno značně zkrátit délku pulsu, která se nyní pohybuje kolem 1/1000 sekundy. Obvykle se cívka po každém pokusu poněkud deformuje, a je proto použitelná jen pro omezený počet pokusů. Nicméně i tímto způsobem dosahovaná intenzita pole v objemu několika kubických centimetrů nepřekračuje jako dříve 500 kOe.

Byla získána magnetická pole o značně vyšší intenzitě, a to adiabatickým stlačením magnetického toku vytvořeného ve vodivém válci. Ke stlačení dochází při explozi usku-tečněné vně válce. Tímto způsobem bylo zřejmě dosahováno polí přes jeden mega-ostered. Je však třeba se ještě naučit využívat toto pole k experimentům, které jako by se prováděly uvnitř bomby v okamžiku jejího výbuchu. Pokud je mi známo, dosud se to nepodařilo a lze si těžko představit, zda se to vůbec podaří.

Získávání silných magnetických polí pomocí supravodičů druhého druhu se dnes jeví jako velmi užitečné pro řadu experimentů, při nichž je třeba stabilní homogenní pole. Zde mají supravodivé solenoidy velké přednosti. Bez ohledu na to, že existují slitiny, jejichž supravodivost se neruší ani ve velmi silných polích, mezní hodnota magnetického pole bude jako dříve podmíněna pevností vinutí supravodivé cívky. Z technických důvodů je zřejmě obtížnější realizovat pevnější konstrukci cívky ze supravodiče než obyčejnou pevnou konstrukci z mědi. Proto se v supravodivých solenoidech sotva podaří získat pole podstatně silnější než ve vodou chlazené cívce, tj. asi 200 kOe.

Pokud jde o oblast nízkých teplot, začalo se kapalné hélium používat ve velkém množství a v mnoha výzkumných oblastech: tak v našem ústavu denní spotřeba kapalného hélia dosahuje 350 litrů. Je to samozřejmě vyvoláno rozsáhlým použitím supravodivých solenoidů.

Velký pokrok při získávání nejnižších teplot byl dosažen díky použitím hélia 3 a jeho směsi s héliem 4. Dnes nejrozšířenější metodu navrhl LONDON a realizoval NĚGANOV. Mezní teploty, kterých se dosahuje při ochlazování látek tímto způsobem, jsou blízké 1/1000 K. Je velmi pravděpodobné, že je to blízko prakticky dosažitelné hranice, neboť existuje teplotní skok, který při těchto teplotách téměř znemožňuje výměnu tepla. Tento jev jsem objevil před více než 30 lety a často se mi vyčítá, že jsem odpovědný za to, jak silně překází při snižování teploty!

V magnetickém výzkumu se nyní stále naléhavěji ozývá požadavek studovat velmi

čisté látky a velmi dokonalé krystaly. Pokrok v této oblasti je spojen s rozvojem radioaktivní analýzy, která umožňuje zjišťovat a kontrolovat příměsi o koncentracích $10^{-6}\%$, dokonce i když patří mezi lehké prvky. V nejbližší budoucnosti bude zřejmě nezbytné studovat látky izotopově homogenní. K tomu bude nutno vyvinout rozsáhlejší metodu separace izotopů.

Všechny dosud uvedené směry se objevily už v letech mého mládí. V posledních letech však vznikly některé nové. Nejdůležitější z nich jsou spojeny s objevem paramagnetické rezonance, který učinil v r. 1944 J. K. ZAVOJSKIJ. Tehdy to byl mladý vědec, který pracoval zcela samostatně na kazaňské universitě. Dobře se pamatuji, že když v Moskvě referoval o svých výzkumech, budilo to nedůvěru. Za několik dní však v našem ústavu zreprodukoval své pokusy a nikdo už nezůstal na pochybách, že byl učiněn velmi významný objev. Po Zavojského objevu se studium rezonančních jevů ve vysokofrekvenčních polích rozšířilo do řady oborů.

Ukázalo se, že v každé látce, v níž existují elementární magnetické momenty — at jsou to atomy, larmorovské orbity, spiny elektronů nebo jader — dochází působením magnetického pole ke změnám vlastních frekvencí kmitů magnetických momentů, které lze studovat rezonančními metodami. Tyto frekvence leží obvykle v pásmu radiových vln až mikrovln, které má dnes velký praktický význam pro rozhlas, televizi a radiolokaci. To poskytuje možnost využít pro zkoumání magnetických momentů velkého bohatství technických zkušeností.

Dnes se v řadě oblastí vedou velmi rozsáhlé práce týkající se nejen paramagnetické rezonance, ale i jaderné, cyklotronové a dalších typů.

Snad ještě žádná metoda studia magnetických vlastností látek neposkytla tak bohaté informace jako rezonanční metoda objevená Zavojským.

Na mne osobně hluboce například zapůsobila měření magnetických polí metodou jaderné magnetické rezonance. Jak známo, umožňuje dnes tato metoda s velmi jednoduchým zařízením měřit pole s přesností na zlomky procenta. Vzpomínám si, jak kdysi PICCARD a COTTON, když chtěli změřit magnetické pole s přesností o řád nebo o dva menší, konstruovali speciální váhy a strávili při tom více než rok.

Mezi novými jevy, které slouží ke studiu magnetických vlastností látek, je třeba uvést MÖSSBAUERŮV jev a tunelový jev předpověděný JOSEPHSONEM. Jak je dobře známo, umožnily tyto jevy vypracovat metody dovolující při měření atomárních částic a magnetických polí rozlišit fantasticky malé veličiny.

Nyní bych se rád dotkl otázky, co lze z mého hlediska očekávat v budoucnosti v oblasti elektromagnetických jevů. Mnozí tvrdí, že v kovech, polovodičích a dielektrikách mohou být nyní všechny základní elektromagnetické jevy dostatečně dobře pochopeny a kvantitativně popsány a že všechny další výzkumy odhalí jen další detaily těchto jevů.

Zdá se mi, že to není pravda. Vezměme třeba polymery, které jsou, jak známo, sestaveny z atomových řetězců a v nichž řada základních procesů není ještě vůbec pochopena. Vždyť z takových řetězců je složen živý organismus, jsou z nich vytvořeny svaly i nervová vlákna. Dnes víme, že všechny životní procesy mají elektromagnetickou povahu a jsou spojeny s průchodem proudu těmito vlákny. Dosud však neznáme fyzikální podstatu těchto procesů, i když biologové říkají, že ji znají. Bez ohledu na to budu skeptikem do té doby, dokud polymerová vlákna — jak nervová, která přenášejí informaci, tak svalová,

kteřá se mohou smršťovat — nebudou uměle připravena v laboratoři. Pak teprve bude možno považovat tyto procesy za rozluštěné.

V molekulárních řetězcích se dá očekávat mnoho nových jevů, nejen jev supravodivý, ale i supradielektrický. Supradielektrika s dostatečně vysokou permitivitou by dokázala zcela beze ztrát odrážet vysokofrekvenční pole. Jejich objev by měl velký praktický význam nejen pro přenos informací vlnovody na velké vzdálenosti, ale i v energetice velkých výkonů.

Zájem o tuto oblast zkoumání se rozvíjí teprve v posledních letech.

Vědci by měli mít na paměti, že nejdůležitější a nejzajímavější objevy jsou ty, které nelze předvídat.

Už Shakespeare řekl Hamletovými ústy:

„. . . *Více, věř,*
je toho na zemi a na nebesích,
než se vám filozofům ve snu zdá!“*)

Proto se není třeba obávat, že nadejde doba, kdy na konferencích o magnetismu nebudou žádná zajímavá témata.

Když tedy zahajují konferenci o magnetismu, nepochybují, že bude zajímavá. Přeji vám, aby vaše práce byla úspěšná a plodná.

Přeložil Vladimír Roskovec

Súčasný stav a vývoj jadrovej energetiky

Matej Florek, Bratislava

Před dvadsiatimi rokmi (17. III. 1956) Sovietsky zväz a ČSSR uzavreli zmluvu o spolupráci pri výstavbe prvej čs. jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach. Predmetom tejto zmluvy bola úzka spolupráca sovietskych a našich vedcov a inžinierov pri projektovaní, výstavbe a uvádzaní do prevádzky čs. jadrovej elektrárne, výmena informácií a technickej dokumentácie, ako i vývoj niektorých častí reaktora vo výskumných ústavoch Sovietskeho zväzu.

Počas spolupráce boli vyriešené zložité technické problémy a prvá čs. jadrová elektrárňa A-1 je už niekoľko rokov v energetickej prevádzke. O zložitosti problémov svedčí ten fakt, že koncepcia A-1 je ojedinelá, je jediná prevádzkyschopná jadrová elektrárňa na svete s ťažkovodným, plynom chladeným reaktorom, s použitím prírodného kovového uránu ako paliva.

Počas uplynulých dvadsiatich rokov v jadrovej energetike nastali podstatné zmeny. V predkladanom článku autor sa pokúša načrtnúť súčasný stav v tejto oblasti.

Od doby keď začala pracovať prvá jadrová elektrárňa na svete (Obninsk, 1954) uplynuli iba dve desaťročia, ale už v minulom roku na celom svete pracovalo 135 jadrových elektrární (JE) s celkovým výkonom 50 000 MWe. V súčasnej dobe sa budujú alebo pripravujú k výstavbe ďalšie, len do r. 1980 sa odovzdá do prevádzky 270 JE s celkovým

*) *Hamlet* [I. 5.]; preklad E. A. SAUDEK