

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Luděk Pekárek

Vyučování a současná fyzika

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 13 (1968), No. 5, 296--311

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137726>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1968

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>

VYUČOVÁNÍ MATEMATICE A FYZICE

VYUČOVÁNÍ A SOUČASNÁ FYZIKA¹⁾

LUDĚK PEKÁREK, Praha

ÚVOD

Zatímco se fyziologické vlastnosti člověka — tedy také vlastnosti a schopnosti jeho mozku — mění znatelně teprve v průběhu tisíciletí, vyvíjí se poznání jevů v přírodě i v lidské společnosti zvláště v posledních 50—100 letech tak rychle, že pokrok je patrný již během několika let. Tuto skutečnost musí respektovat i moderní pedagogika a uplatnit ji ve vhodném výběru učební látky i v metodice vyučování. Rozsah učební látky musí být stále omezenější v poměru k rozsahu lidského poznání, naproti tomu metodika vyučování by měla zdůraznit samostatný přístup a kritické myšlení a připravit každého na nutnost neustále doplňovat znalosti novými poznatky i po ukončení školy.

Samo množství znalostí, které získává světová věda, roste podle statistik nyní exponenciálně. Podle kvantitativních údajů se množství poznatků zdvojnásobí za každých deset let, kdežto počet vědeckých pracovníků se zvyšuje na dvojnásobek za každých 14 let. To by znamenalo, že produktivita vědecké práce měřená množstvím získaných nových poznatků na jednoho pracovníka za rok trvale roste, zatímco je zřejmé, že alespoň v pokročilých oborech, k jakým patří fyzika, se nové informace získávají stále obtížněji, zpravidla s nasazením vysoké techniky a početných kolektivů. I když tedy nelze plně spoléhat na kvantitativní údaje, kvalitativní důsledek rychlého rozvoje vědy je nesporný: ani v jediném úzkém oboru není dnes sebenadanejší a sebezpečnější pracovník s to obsáhnout celé množství znalostí. Tím méně je možné obsáhnout úplné znalosti z více oborů. Hlavní otázkou při vzdělávání a učení se stává optimální výběr informací, které je vhodné a možné předat k zapamatování a dalšímu užití.

Současná praxe všeobecně vzdělávacích škol ukazuje navíc, že mnohem reálnější nebezpečí je v přetížení žáků velkým rozsahem učební látky než v omezení učiva. Praktické uplatnění této zkušenosti právě v období informační exploze naráží nejen u nás, ale v celém světě na velké obtíže.

Úkolem této úvahy je podat námět na možný způsob vyučování fyzice, který by zahrnoval i nejnovější vědecké poznatky, vytvořil dobrý základ pro porozumění jevům v neživé přírodě i technice a současně nezatěžoval příliš mechanickou paměť.

¹⁾ Z referátu předneseného na pracovní konferenci o novém modelu vyučování fyzice, pořádané JČMF ve Frenštátě pod Radhoštěm ve dnech 24.—25. října 1967.

I když množství informací v každém oboru stále vzrůstá, dochází čas od času ke kvalitativním změnám v jejich charakteru: informace, které se dříve pokládaly za navzájem nezávislé, se náhle nalezením nových souvislostí, vytvořením nového modelu a vypracováním hlubší teorie stávají navzájem závislými, je možné je odvodit logickou cestou z menšího počtu informací základních, neodvoditelných.

Vývoj fyziky ukazuje řadu takových kvalitativních skoků: jsou to např. vlastnosti atomů. V 19. století se tyto vlastnosti nedaly odvodit z jiných jednodušších. Atomy se pokládaly ze elementární částice. Dnes se jejich vlastnosti beze zbytku vysvětlí vlastnostmi tří elementárních částic, tj. elektronu, protonu a neutronu, a vlastnostmi jejich vzájemného působení. Podobně se dnes vlastnosti záření (od γ -kvant až po rozhlasové vlny) popisují jednotně kvantovou elektrodynamikou, zákony vedení tepla a termodynamiky vyplývají z pohybu atomů.

V tak rozvinutých oborech, jako je fyzika, je oněch elementárních, v současné době neodvoditelných informací již poměrně málo — v podstatě jsou to empiricky zjištěné vlastnosti elementárních částic a jejich vzájemného působení (4 typy sil) spolu s některými zákony zachování a nezávislost rychlosti světla na rychlosti soustavy. Přesný výpočet chování složitějších celků nebo souboru velkého počtu částic z těchto elementárních zákonů je ovšem často obtížný, takže byl zatím proveden jen v relativně malém počtu případů, např. pro atom vodíku, jehož vlastnosti byly vyčísleny jen na základě elementárních zákonů nyní v úplné shodě s experimentem. (Naměřené rozdíly odpovídají nepřesnosti měření.) Pro velkou praktickou obtížnost přesného výpočtu se při výpočtech složitých systémů (např. krystalu polovodiče s poruchami, plazmatu v magnetickém poli) používá vedle elementárních „neodvoditelných“ dat ještě dalších parametrů zjištěných měření (např. mřížkové konstanty krystalu; pohyblivost nosičů náboje; doby života vzbuzených stavů), i když není pochyb o tom, že jde o parametry, které by *principiálně*, často ovšem *nikoli prakticky* při současném stavu výpočtových metod a výpočetní techniky, bylo možné odvodit z elementárních zákonů a parametrů.

Soubor informací — jde o znalosti v každém oboru — se tedy skládá ze dvou částí: ze znalostí či zákonů základních, neodvoditelných a z dat či zákonů odvoditelných, které, alespoň principiálně, vyplývají ze základních zákonů i dat a dají se určit pomocí fyzikálních teorií výpočtem, tj. *konečným počtem logických operací*.

Znalosti či data odvoditelná nezvětšují již množství informace, takže — v terminologii teorie informace — celé množství informace existující v daném oboru v dané době je již obsaženo v datech a zákonech základních, z kterých ostatní odvoditelné zákony vyplývají. Odvoditelnost a elementarita přírodních zákonů je ovšem historicky podmíněný pojem: později se může ukázat, že zákony objevené původně nezávisle a zdánlivě spolu nesouvisící jsou ve skutečnosti navzájem závislé, překrývají se nebo vyplývají z jediného obecnějšího principu. S postupem času celkové množství informace v oboru roste, ale množství elementárních neodvoditelných zá-

konů a dat občas prudce poklesne, dojde-li k pochopení vzájemných vztahů. (Viz např. L. Brillouin, *Science and Information Theory*, New York, 1956.) Množství empirických dat, která představují informace o přírodních jevech, se sice nalezením vzájemných vztahů a obecných principů přímo nezvýší, ale zjednoduší se záznam těchto informací, jejich hlubší pochopení a zapamatování. Kromě toho se vyvolají další experimenty, které postupně vymezí rozsah platnosti nově formulovaných teorií i do oblastí, z nichž empirická data nebyla známa a tím se zpravidla prudce zvětší celkové množství informace v oboru.

Způsob, jakým se dnes vyučuje fyzice (a ovšem i jiným oborům) je v podstatě zkráceným a neúplným reprodukováním takového historického vývoje. Fyzika začínala pozorováním a měřením používajícím přímo lidské smysly. Rozdělení fyziky, které vzniklo podle toho, jakým smyslem se vnímaly různé fyzikální jevy a nikoli podle fyzikální podstaty těchto jevů, se udrželo ve vyučování dodnes. Jsou to klasické disciplíny: mechanika, akustika, termika, optika; k nim se připojí nauka o elektřině a magnetismu, kde se vedle přímého smyslového pozorování již nutně používá i dat zprostředkovaných přístroji; a končí se molekulami, atomy a atomovými jádry — tedy objekty, o jejichž existenci a vlastnostech se dozvídáme již jen zprostředkovaně, na základě údajů přístrojů, často dosti komplikovaných a technicky náročných.

Reprodukování historické cesty, zcela zákonitě začínající u smyslové denní zkušenosti a končící u syntézy dat složitých přístrojů, má při vyučování fyzice přednost v tom, že znalosti se budují na bezprostřední smyslové zkušenosti. Nevýhodou je velký rozsah informací, které se zpočátku předvádějí jako nezávislé, a teprve na konci se naznačuje jejich mikrofyzikální podstata a tím i odvoditelnost z nemnoha informací elementárních. Takový způsob klade velké nároky na mechanickou paměť, provází jej nutně i budování pojmů, které se později ukáží jako nepotřebné a zpravidla — ať už z praktických důvodů nebo záměrně — se při tom nepodává dostatečný přehled právě o těch základních zákonitostech, z nichž ostatní zákonitosti vyplývají.

Maximálně úsporný co do množství informace a zatížení mechanické paměti je právě opačný způsob než historický, tj. *úplný popis vlastností elementárních částic a jejich interakcí* s popisem experimentů, z kterých se tyto vlastnosti určily, *a pak postupná syntéza* jevů v složitějších fyzikálních systémech na základě vlastností elementárních částic. Z odvoditelných informací je pak již možno vybrat jen malou část informací nejdůležitějších, avšak současně předvést obecnou metodu, jak se jakékoli další informace získávají ze základních zákonů.

Pedagogicky optimální není zřejmě ani jeden z obou extrémů, dá se však soudit, že optimem by mohlo být spojení obou způsobů ve vhodných proporcích a pro různý věk žáků. Zatímco způsob výkladu, který začíná mechanikou a končí atomistikou, má dlouhou tradici a jsou s ním bohaté pedagogické zkušenosti, je způsob opačný ve fyzice málo prozkoumán, ačkoli v chemii je běžnější. Skutečnost, že tento způsob výkladu je vysoce úsporný co do počtu informací vkládaných do mechanické paměti, podtrhuje jeho lákavost i nutnost hlubšího zkoumání pedagogických možností v tomto směru.

MOŽNÝ POSTUP VÝKLADU

Námět, který zde předkládáme, je koncipován takto:

A. Co nejvíce urychlit cestu od smyslové zkušenosti k mikrofyzičce — tj. k atomům a elementárním částicím. Z makroskopických jevů a zákonů probrat jen to, co je nezbytně nutné jako příprava pro pochopení zákonů a jevů v mikrofyzičce. Zvláštní důraz přitom klást na zákony zachování a vlastnosti vln — vždyť pohyb jakékoli mikroskopické částice je spojen právě s vlnovými jevy.

Minimálním, avšak z hlediska potřebných informací reprezentativním a úplným počtem experimentů dojít k atomové a subatomové struktuře hmoty.

B. Probrat důkladně vlastnosti submikroskopických částic, zákony zachování, dualismus částice — vlna (s popisem experimentů), typy působících sil a charakter interakcí, foton jako kvantum elektromagnetického pole.

C. Postupně skládat složitější celky, odvozovat jejich vlastnosti deduktivně a ověřovat je srovnáním s experimenty. Současně vést k aktivnímu vysvětlování již předvedených experimentů i makroskopických jevů známých ze zkušenosti na základě znalostí elementárních zákonů mikrofyzičce. Dojít tak postupně zpět až ke klasickým oborům fyziky a jako příklady deduktivních vysvětlení vybrat několik vhodných jevů.

V dalším uvedeme několik příkladů našich námětů, které si však ani zdaleka nekladou nárok na úplnost či optimálnost.

OD SMYSLOVÉ ZKUŠENOSTI K ELEMENTÁRNÍM ČÁSTICÍM

A. Bezprostřední zkušenost a zákony mechaniky

Mnohých zákonů mechaniky dovedeme dobře používat, aniž se jim učíme. Náš mozek si pamatuje tisíce pozorovaných jevů, z kterých najde obecně platné zákony, aniž si to vůbec uvědomujeme. Velmi názorně se to dá předvést na schopnosti *předpovědět* průběh jevu mechaniky z podmínek, v nichž je vyvolán (doba pádu z určité výšky; přibližná dráha při šikmém vrhu; pohyb koule po nakloněné rovině; velikost závaží na páce v rovnováze atd.). Neuvědomělou znalost zákonů mechaniky — v té konkrétní a speciální podobě, jak se projevují v podmínkách zemského povrchu, dokazuje i naše každodenní činnost — chůze, práce rukou, házení, skákání atd. Schopnost takto neuvědoměle zobecnit smyslovou zkušenost a používat jí při vlastní činnosti má nejen lidský mozek, ale i mozek zvířat. Tak např. kamzík ovládá tak dokonale běh a skoky v nesmírně obtížném skalnatém terénu, že to vzbuzuje náš obdiv.

Rozpor, který je mezi naivním zobecněním smyslové zkušenosti a exaktní formulací zákonů mechaniky, je možno využít pozitivně: mysl nezatížená znalostí Newtonových zákonů dojde při pokusech o formulaci zákonů, kterými se řídí pohyb těles, k výsledku podstatně odlišnému od zákonů Newtonových, které jsou vlastně na

první pohled v rozporu s denní zkušeností: těleso přece padá, jestliže ho nedržíme (třeba podložkou), a při pohybu po vodorovné rovině se vždy dříve či později zastaví. Při srážce se většina běžných předmětů (počítaje v to automobily) zdeformuje a zastaví — sotva nás bezprostřední zkušenost daná pouhým pozorováním přivede k závěru, že stejně hmotná tělesa od sebe po srážce odskočí a pohybují se opačnými směry než původně.

Skutečně obecné a přesné zákony pohybu se zjišťují měřením a pozorováním v uměle vytvořených co nejjednodušších podmínkách — experimentem.

Detailní rozbor měření — s případnou aktivní účastí žáka při měření samotném — se dá dobře využít jako demonstrace vědeckého přístupu k získávání informací. Pro podrobné probrání je však možné vybrat vždy jen jediný jev z mnoha.

Příkladem může být pád tělesa: přímým měřením času zjišťujeme dobu pádu různých předmětů v závislosti na výšce, z které je těleso pouštěno, a na druhu tělesa. Dvě těžká závaží (třeba 200 g a 1 kg) padají v mezích přesnosti měření stejně — jejich pohyb je (rovnoměrně) *zrychlený*. Lehký míč padá pomaleji, jeho pohyb se brzo ustálí — je pak *rovnoměrný přímočarý* (při bezvětří) ve svislém směru. List lehkého papíru padá nepravidelně — měření je *nereprodukovatelné*, doba pádu se silně liší i při stejných (v mezích přesnosti našeho nastavení) podmínkách v okamžiku puštění. Jde o příklad nestability pohybu.

Naprostým překvapením — protože nijak nevyplývá z přímého smyslového vnímání — je pád mikroskopických částecek. Při pozorování takových částecek v mikroskopu při bočním osvětlení se pozoruje cukavý pohyb. Pád částecek je velmi pomalý, ale cukavý pohyb rychlý, občas se částecka pohybuje i nahoru.

I tak na první pohled jednoduchý jev, jako je pád, má tedy ve skutečnosti velmi složité zákony: závisí na váze tělesa, jeho tvaru a velikosti. Sledujeme-li pád v kapalině (vodě), zjistíme, že těleso může „padat“ i nahoru. To jistě nelze vysvětlit třením v hustém prostředí — ostatně i ve vzduchu se pohybuje vzhůru balóněk naplněný vodíkem.

Proti této velmi složité paletě závislostí stojí reprodukovatelný, vždy stejný výsledek experimentu v podmínkách, kdy je odstraněn vliv prostředí (vzduchu) na průběh pádu: ve vakuu padá naprosto stejně želízko, pírkó, papír, balóněk. Jejich pohyb je rovnoměrně zrychlený, zrychlení se rovná $9,81 \text{ m/sec}^2$.

Po výkladu a předvedení dalších experimentů v zjednodušených podmínkách a formulování základních pojmů a zákonů mechaniky by se měl zvláštní důraz položit na *zákony zachování* — hmoty a energie, impulsu, impulsmomentu. Na jejich základě je možné formulovat celou mechaniku. Uplatňují se — v modifikované nebo rozšířené podobě — zvláště výrazně ve fyzice elementárních částic. Zákony zachování jsou zobecněnou zkušeností — přes nesmírně velké množství pozorování nebyla nalezena dosud ani jediná výjimka v jejich platnosti.

Výhodně se dají využít — ve větší míře než dosud — i tzv. paradoxy, tj. fyzikální jevy, které *probíhají jinak, než bychom předpovídali* na základě vlastní neuvědoměle zobecněné zkušenosti. Jejich existence ukazuje, že bez hlubšího rozboru, zobecnění

a znalostí nelze správně předpovídat i některé jevy dobře pozorovatelné smysly, a podtrhuje nutnost kritického přístupu při hodnocení a zobecňování výsledků pozorování.

B. Vlastnosti vln

Vlny jsou nejen častým jevem v makroskopickém světě, ale provázejí i pohyb mikročástic. Jejich základní vlastnosti by se proto měly probrat velmi důkladně, a to v takovém prostředí, které je snadno přístupné pozorování. Někteří autoři soudí, že vlny na povrchu vody nejsou pro předvádění vlastností vln vhodné pro své složité disperzní vlastnosti. Avšak možnost přímého pozorování a měření zcela jednoduchými prostředky rozhodně mluví pro jejich využití při vyučování. Ostatně disperze se neprojeví, pozorujeme-li vlny buzené zdrojem periodickým v čase — a pak můžeme snadno demonstrovat stín za překážkou velkou ve srovnání s délkou vlny, odraz, ohyb, interferenci za několika otvory, interferenci vln dvou různých zdrojů se stejnou budicí frekvencí, i selektivní odraz vln na mřížce, umístěné daleko od zdroje, aby vlnoplochy byly dostatečně přímé. Při pozorování a měření všech těchto jevů je možná aktivní účast žáka — část pozorování i měření může dokonce uskutečnit ve volné přírodě.

Výsledky pozorování a zjištěné vlastnosti by nakonec bylo možné srovnat s vlastnostmi jiných vln — především zvukových, kde vnímáme již jen intenzitu zvuku, a nakonec i elektromagnetických, které přímo nevnímáme, ale vlnové jevy můžeme ověřit pomocí antény a přijímače.

Disperzní vlastnosti vln na vodě jsou velmi vhodným objektem studia pro žáky se sklonem k matematice a exaktním vědám. Rozdílnost grupové a fázové rychlosti, které lze přímo pozorovat, různé vlastnosti šíření krátkých (kapilárních) a dlouhých (gravitačních) vln na povrchu kapaliny, existence minimální fázové rychlosti, měření rychlosti proudu prostřednictvím délky stojících vln nebo rychlosti člunu podle délky vln, které za sebou vytváří atd. — všechny tyto jevy mohou sloužit mimořádně účinně k vytříbení schopnosti přesně pozorovat, měřit, vyhodnocovat a interpretovat. Jsou lákavé tím spíše, že i ve speciálních monografiích jsou zpravidla zachyceny jen neúplně.

Pozorování a experimenty s vlnami by měly připravit žáky k jednoznačné vlnové interpretaci lomu a interference světla (mj. selektivního odrazu nebo rozkladu světla na ryté mřížce), Braggovské reflexe rentgenového záření na monokrystalech a selektivní reflexe monochromatického svazku elektronů na krystalu (pokus Davissonův a Germerův).

Pro vyšší ročníky by možná bylo výhodné ihned připojit i popis těchto experimentů s jinými typy vln — světlem, rentgenovým zářením, γ -zářením. Znovu by zůstal otevřený problém (podobně jako u Brownova pohybu při pádu), jak vysvětlit difrakční jevy na krystalech, které vypadají jako kontinuální prostředí. To by připravilo zájem o další poznání struktury látek.

C. Elektrické a magnetické jevy

Kromě bouřky, kde se elektrické jevy projevují způsobem, který nelze přehlédnout, vyžaduje pozorování projevů elektřiny v přírodě velkou pozornost a smysl pro detail. Vznik elektrického náboje při tření se projevuje slabým jiskřením, např. při česání suchých vlasů, při chůzi po velmi kvalitním koberci, dále přitahováním nebo odpuzováním drobných částíček prachu i kousků nevodivých materiálů apod. Po poukázání na tyto jevy — projevující ovšem elektrický náboj nepřímo — by následoval velmi stručný popis základních elektrických a magnetických jevů s cílem připravit pozdější popis pohybu elektricky nabitých elementárních částic v elektrickém a magnetickém poli (působení Lorentzovy síly) a představu jednotného elektromagnetického pole a vyzařování elektromagnetických vln. Jde především o silové působení dvou elektrických nábojů, pohyb elektrického náboje v magnetickém poli, magnetické pole vyvolané elektrickým proudem — tj. pohybem elektrického náboje, elektrostatické pole jako zvláštní případ elektromagnetického pole vytvářeného nepohybujícími se elektrickými náboji.

D. Elektromagnetické vlny

Každá změna rozložení a pohybu elektrických nábojů (tj. proudů) má za následek změnu elektromagnetického pole. Tato změna nastává se zpožděním úměrným vzdálenosti — šíří se rychlostí světla. Elektromagnetické vlny kmitajícího elektrického náboje — frekvence, vlnová délka, nezávislost rychlosti na frekvenci.

Světlo jako vlnění s mikroskopickou vlnovou délkou. Rozklad bílého světla rytou mřížkou. Hypotéza o elektromagnetické povaze světelného, ultrafialového, rentgenového a γ -záření. Difrakce rentgenového záření na ryté mřížce a na krystalu. Vlnová délka.

Experimenty dokazující korpuskulární charakter světla. Foton. Korpuskulární projevy rentgenového záření a záření γ . Nemožnost mechanického modelu, který by současně zahrnul i vlnový i korpuskulární charakter světla — rozpor z hlediska běžné zkušenosti (mechaniky).

E. Nespojitá struktura látek. Části dále nedělitelné

Místo uvádění zákonů, z nichž historicky vznikla atomová teorie (zákony stálých váhových poměrů při chemických reakcích; prošlý náboj a množství vyloučené látky při elektrolyze; objem plynu při konstantním tlaku a jedné grammolekule množství), je z hlediska navrhované koncepce výhodnější uvést komplex experimentů, který existenci atomů, iontů, elektronů a atomových jader přímo dokazuje. Postup by mohl být tento:

Kapalina, pevná látka i plyn působí na první pohled dojmem kontinua. Podobně i elektrický náboj a proud lze popsat jakýmsi spojitým elektrickým fluidem. Pevná látka ukáže sice pod mikroskopem mikrokrytalickou strukturu, ale ani elektronový

mikroskop neodhalí složení látek z atomů. Experimenty, které dokazují atomové složení látek i samu strukturu atomů a atomových jader až po elementární částice, z nichž jsou všechny látky složeny, by mohly být předvedeny či popsány v tomto sledu:

1. Předvedení Brownova pohybu mikroskopických částic (např. tuše) v kapalině. To vede přímo k hypotéze o nárazech atomů či molekul. Teplu jako kinetická energie neuspořádaného pohybu.

2. Detailní popis Millikanova pokusu — důkaz existence elementárního elektrického množství. Tento „atom“ elektrického množství se dodnes nepodařilo dále rozdělit — je zatím skutečně „nedělitelný“.

3. Důkaz existence elektronu a iontů, změření jejich hmotnosti: odchýlení katodových paprsků magnetickým polem, velikost e/m . Dráha elektronu v bublinové komoře s magnetickým polem. Kanálové paprsky různých plynů, příslušné e/M . Hmotový spektrograf, izotopy. Ionty s dvěma či více kladnými náboji. Interpretace odtržením elektronu od atomu. ATOM. Výsledek: Prvky se liší počtem elektronů neutrálního atomu — atomové číslo. Nejlehčí atomy a jejich ionty: proton, deutron, jádro hélia.

4. Rozložení hmoty a nábojů v atomu. Rutherfordův rozptyl částic α na atomech hliníkové fólie — atomové jádro, jeho rozměr a hmotnost. Vzdálenost, kdy přestává platit Coulombův zákon. Nové síly neelektromagnetické povahy působící v blízkosti jádra.

5. Umělá přeměna prvků zásahem jádra — Rutherfordův pokus — $N(\alpha, p)O$ reakce. Velikost uvolněné energie. Spontánní přeměny — radioaktivita. Přeměny vyvolané uměle urychlenými částicemi.

6. Důkaz existence neutronu, změření jeho hmotnosti. Hypotéza o složení jader z protonů a neutronů — izotopy se liší počtem neutronů v jádře. Obtíž: hmotnost jader je menší než součet hmotností protonů a neutronů. Taková hypotéza je tedy v rozporu se zákonem zachování hmotnosti, jak jej známe z chemie i z klasické fyziky.

7. Další obtíž hypotézy o složení atomových jader z neutronů a protonů je existence a vlastnosti β -radioaktivity: z jader vyletují elektrony. Platí-li zákon zachování i pro elektrony, pak by měly být již přítomny v jádře. Vzniká obtíž i se zákonem zachování energie. Při β -radioaktivitě mají elektrony různou energii — od jisté maximální hodnoty, kterou nikdy nepřekročí, až k libovolně malé.

F. Shrnutí, vzniklé rozpory

Po cestě ke stále „elementárnějším“ celkům hmoty jsme se dostali ke třem zatím vskutku *nedělitelným* částicím — jsou to elektron, proton a neutron.

Avšak současně jsme již při prvních pokusech o vysvětlení složení atomových jader z protonu a neutronu narazili na obtíž: kdyby hypotéza o složení jader z neutronů a protonů byla správná, museli bychom se vzdát zákona zachování hmotnosti, jak jej známe z chemie i klasické fyziky.

Obtíž vzniká i se zákonem zachování energie — při β -radioaktivitě bychom museli připustit existenci další — neviditelné — částice, aby zákon zachování energie platil.

Dále bychom se museli vzdát i zákona zachování částic — alespoň elektronů: při β -radioaktivitě vylétují z jader, ač by tam neměly být podle uvedené hypotézy.

Zcela nepochopitelné z hlediska běžné smyslové zkušenosti je chování světla: interferenční a ohybové jevy dokazují, že má vlnovou povahu, zatímco jindy se projevuje jako částice — kvanta — letící rychlostí 300 000 km/sec a nesoucí energii $h\nu$.

Tyto rozpory se vyjasní teprve nalezením obecnějších zákonů, které jako zvláštní případy v určitých podmínkách přecházejí do zákonů klasické fyziky. Nejlépe to lze udělat studiem vlastností elementárních částic a jejich vzájemného působení.

VLASTNOSTI ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC

Po rozdělení atomů na elektrony a atomová jádra a po rozbití těchto jader jsme nakonec došli ke třem částicím, které se již nepodařilo dále rozdělit. Jsou to elektron, proton a neutron. Je-li pravda, že všechny látky se skládají jen z těchto tří druhů částic, pak by přesná znalost vlastností těchto částic a jejich vzájemného působení měla stačit k vysvětlení vzniku složitějších struktur z těchto částic a vlastností takových struktur (jader, atomů, molekul, krystalů) i vlastností jejich souborů.

Postup důkladného popisu elementárních částic by mohl být tento:

A. Individuální vlastnosti elektronu, protonu a neutronu

Hmotnost, náboj, vlastní rotační mechanický moment (spin) a s ním spojený vlastní moment magnetický. Ověření stability elektronu a protonu, nestabilita volného neutronu (β -rozpad).

Závislost hmotnosti rychle letících částic na rychlosti (zakřivení dráhy v magnetickém poli), nedosažitelnost rychlosti světla. Částice vylétující z velkých urychlovačů mají hmotu několikanásobnou ve srovnání s klidovou hmotou (příklady). Neměřitelnost přírůstku hmoty při pohybu makroskopických těles. Porušení zákona zachování hmotnosti — hmotnost vzrůstá s rostoucí kinetickou energií částice.

B. Srážky mezi dvěma částicemi při středních energiích, vznik nových částic

1. Elektromagnetická interakce. Foton — kvantum elektromagnetického pole (foton — stabilní částice pohybující se pouze rychlostí 300 000 km/sec. Jeho klidová hmota je nulová). Charakteristika velikosti elektromagnetické interakce, dálkové působení elektromagnetických sil. Rychlost fotonu nezávisí na vztažné soustavě — relativita času.

2. Silné jaderné interakce. Krátký dosah jaderných sil, nutnost bezprostřední blízkosti při srážce. Vznik nových nestabilních částic — mezonů (kvanta jaderného pole). Radioaktivní rozpad mezonu. Velikost jaderných sil. Neplatí zákon zachování

částic — částice mohou nově vznikat nebo se mohou podle jistých pravidel měnit jedna v druhou.

3. Slabé interakce a gravitační síla.

Další dva druhy sil — slabé (které se projevují jen nepřímo, např. při β -rozpadu) a gravitační — nejslabší, takže se mezi jednotlivými elementárními částicemi vůbec měřitelně neuplatní, avšak vzhledem k dálkovému působení a nemožnosti kompenzovat se mohou být velmi silné u velkých shluků částic — planet a hvězd.

Při slabých interakcích vzniká kvantum slabého pole — neutrino — stabilní částice bez elektrického náboje s nulovou klidovou hmotou, obdoba fotonu (rychlost 300 000 km/sec). Proniká vším, jeho přímý důkaz byl velmi obtížný. Odnáší část energie při β -rozpadu. Nedochází tedy ani při β -rozpadu k porušení zákona zachování energie.

Kvantum gravitačního pole — graviton — stejně jako existence gravitačních vln nebyly zatím prokázány.

C. Srážky částic při vysokých energiích. Antičástice. Rezonance

Vznik hyperonů a antičástic při vysokých energiích srážky. Positron, antiproton, antineutron. Annihilace. Doba života nových částic, stabilita antiprotonu a pozitronu. Symetrie mezi částicemi a antičásticemi.

Rezonanční stavy — částice s dobou života kratší než 10^{-23} sec. S růstem energie urychlovačů a zdokonalováním techniky vyhodnocování experimentů přibývá stále nových částic a rezonancí. Částice jsou však stále méně stabilní — nové stabilní částice se již nenacházejí. Také se dosud nepodařilo rozbít proton, neutron či elektron na jednodušší částice.

D. Zákony zachování

Pro elementární částice neplatí mnohé zákony zachování známé z mechaniky: částice mohou nově vznikat i zanikat, takže jejich počet není stálý. Mění se i jejich hmotnost — roste s rychlostí, nezachovává se klidová hmotnost (např. při anihilaci zaniká) atd. Přesto existují velmi přesné zákony zachování, avšak širší, než jak je známe z mechaniky. Zákon zachování součtu hmotnosti a energie, zachování elektrického náboje, zachování charakteristických veličin (čísel) při přeměnách a vzniku elementárních částic. Symetrie jevů, nezachování zrcadlové symetrie u slabé interakce (např. β -rozpadu). Příklady.

E. Vlnové vlastnosti částic

Difrakční jevy při průchodu či odrazu částic od mřížky krystalu. Pokus Davissonův a Germerův. Neutronová difrakce. Vlnový charakter všech částic — vlnová délka. Rozpor se smyslovou zkušeností podobně jako u fotonu. Dualismus částice — vlna jako obecná vlastnost fyzikálních jevů. Princip neurčitosti. Nemožnost vyjádřit vše-

chny vlastnosti elementárních (a vůbec submikroskopických) částic vlastnostmi makroskopických těles.

F. Oblasti působení 4 typů sil

Velikost a vlastnosti 4 typů interakcí (sil) jsou natolik rozdílné, že se zpravidla uplatňuje u konkrétního fyzikálního jevu jen jediný typ. Tak např. silné jaderné interakce působí do vzdálenosti 10^{-13} cm. Uplatňují se tedy uvnitř atomového jádra mezi jednotlivými nukleony, při srážkách nukleonů s vysokou energií nebo při interakci nukleonů s jádrem. Také dosah slabých sil je malý. Uplatňují se — pokud je dnes známo — jen při radioaktivním rozpadu a při některých pomalých jaderných reakcích. Gravitační působení je tak slabé, že se mezi elementárními částicemi a vůbec malými kusy látky neuplatní měřitelně vůbec — působí měřitelně jen součtově při velkém množství částic. Ve velkých a těžkých hvězdách může vliv gravitace dosáhnout hodnoty srovnatelné s jadernými silami — stlačí např. hmotu hvězdy tak, že se jednotlivá atomová jádra téměř dotýkají. V extrémních případech by mohla i zabránit úniku fotonů. Zatím však chybí experimentální důkazy takových jevů. Na Zemi nemá gravitace měřitelný vliv na atomové či jaderné děje, šíření světla apod.

Pro vzájemné působení částic při vzdálenostech větších než 10^{-12} cm v podmínkách, kde není extrémní gravitační síla (tedy i v podmínkách na Zemi) je proto rozhodující pro všechny jevy *elektromagnetická interakce* mezi částicemi. Jí jsou podmíněny všechny jevy v elektronové obálce atomů, chemické síly a vazby, Van der Waalsovy síly (nejde o nový typ sil — vyplývají z elektromagnetického působení), vazby atomů v krystalech, pevnost materiálů atd. O způsobu, jak se elektromagnetické interakce uplatňují a k jakým strukturám vedou, rozhodují ovšem i další vlastnosti zúčastněných částic — především jejich vlnový charakter a schopnost zaujmout určitý stav vlnění v atomu.

G. Shrnutí

Cílem popisu vlastností elementárních částic je ukázat, že i při stále rostoucím počtu objevovaných elementárních částic zůstává soubor těch, které jsou stabilní a jsou tedy oněmi stavebními kameny hmoty, již delší dobu beze změny: jsou to elektron, proton a téměř stabilní neutron.

Dále existují pouze 4 typy fyzikálních sil (interakcí), z nichž vyplývají všechna vzájemná působení, přitažlivé a odpudivé síly vedoucí ke vzniku jader, atomů, molekul, krystalů, kapalin, planet a hvězd.

Zatímco tedy fyzika vysokých energií doplňuje tabulku elementárních částic o nové částice se stále kratší dobou života, seznam stabilních elementárních částic se již nemění.

Je výhodné popsat relativistické jevy, tj. růst hmotnosti s rychlostí, nezávislost rychlosti fotonu na vztažné soustavě a z ní plynoucí transformaci času, vztah mezi hmotností a energií a přeměnu klidové hmoty v kinetickou energii — právě u elemen-

tárních částic s vysokou energií. U nich se všechny relativistické jevy projevují velmi silně a experimentálně se snadno zjišťují (počítaje v to i změnu časového měřítka v pohybující se soustavě — např. doba života rychle letícího mezonu je značně delší, než je-li mezon v klidu vůči pozorovateli).

OD ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC K SLOŽITÝM STRUKTURÁM

Při postupném skládání složitějších soustav z elementárních částic je nutné obsáhnout nejen vlastnosti jednotlivých fyzikálních „jedinců“ (jako je jádro, atom, molekula), ale i vlastnosti a jevy souborů velkého počtu navzájem volně (nebo téměř volně) pohyblivých atomů či molekul a iontů, tj. plynu, plazmatu a kapaliny. Má-li být postup od jednodušších celků ke složitějším uplatněn důsledně a má-li současně celý výklad probíhat v jednom sledu, je nutné vyložit chování souborů velkého počtu částic (například molekul) teprve po popisu složení a vlastností těchto částic. To znamená, že důkladné vysvětlení makroskopických veličin, které popisují plyn (teplota, tlak, entropie apod.) jako statistické průměry pohybu jednotlivých částic souboru se provádí později, zatímco sám pojem teploty a tlaku je nutný k pochopení např. termonukleárních reakcí, které dávají vznik těžším jádrům z elementárních částic. Nelze se proto zcela vyhnout určité nedůslednosti v tom, že tyto pojmy se použijí již dříve, než jsou podrobně odvozeny a vysvětleny kineticky. Předcházející výklad, tj. postup od denní zkušenosti k elementárním částicím, zahrnuje také kinetické — i když jen zcela základní — vysvětlení teploty, tepla atd. a vytváří tím předpoklady pro používání těchto pojmů dříve, než jsou přesně formulovány kinetickým modelem plynů.

Podobnými opěrnými body z cesty od denní zkušenosti k elementárním částicím je i znalost fenomenologie vlnových jevů, zvláště interference a difrakce, pojem síly, energie a impulsu atd. Přitom se při syntéze fyzikálních jevů a zákonů z vlastních elementárních částic dá postupovat tak, aby podobných předbíhání a předpokladů o předběžných znalostech bylo co nejméně. Od základní cesty: elementární částice → atomové jádro → atom → jednoduchá molekula → krystal → složitá molekula, odbočí výklad postupně k jevům charakterizovaným přítomností velkého počtu takových částic, a to poprvé při popisu termonukleární syntézy. Vrací se pak k jednotlivým atomům a jednoduchým molekulám, pak opět odbočuje k chování velkého počtu takových částic a podává kinetický obraz jevů v plynu, plazmatu a kapalině. Potom se přechází ke krystalickým strukturám a předvádějí se vlastnosti pevných látek.

Nakonce se proberou nejsložitější systémy — velké molekuly důležité pro funkci živé hmoty. V závěru by se uvedla rekapitulace základních jevů, vymezení významnosti a zanedbatelnosti různých mikrofyzikálních parametrů v různých podmínkách (např. De Broglieho materiální vlny se neuplatňují přímo při pohybu makroskopických těles; struktura atomu se neuplatňuje přímo v termodynamickém chování plynu;

silné jaderné interakce vůbec neovlivňují vlastnosti atomu či krystalu; relativistické jevy jsou nepodstatné v makroskopické mechanice atd.) a podal by se i celkový fyzikální obraz vesmíru a vztah fyzikálních zákonů k zákonům jiných vědních oborů — zvláště chemie a biologie.

Tento postup, který jistě není jediným možným postupem takové syntézy, uvádíme dále pouze v heslech.

A. Syntéza těžších jader z jader vodíku

Vytvoření deuteronu z protonu a neutronu (myšlený postup) a ze dvou protonů (skutečný jev). Hmotový defekt a vazbová energie, vysoká pevnost jader ze středu Mendělejevovy tabulky; příčina nestability těžkých jader. Termonukleární reakce v nitru hvězd jako zdroj těžších jader, vznik nejtěžších jader při výbuchu supernovy; neutronové hvězdy. Zastoupení prvků (izotopů) na Zemi a ve Vesmíru.

B. Některé vlastnosti jader

Radioaktivní a vzbuzená jádra. Hladiny energie, slupkový model jádra. Poločas rozpadu jádra, doba záření a vyzařovaná frekvence. Mössbauerův jev. Magnetický moment jádra. Dvě cesty k uvolnění jaderné energie.

C. Elektron v poli jádra

Atom vodíku, různé způsoby ustáleného pohybu elektronu v poli jádra (dráhy K , L , M atd.). Hladiny energie a čárové spektrum optické, ultrafialové a infračervené. Ionizace, ionizační energie. Vliv magnetických momentů elektronu a jádra na energetické hladiny. Atom vodíku jako zdroj záření rádiové frekvence (1420 MHz). Spontánní a vynucená emise.

D. Atomy s více elektrony

Problém tří a více těles. Postupné zaplňování „slupek“, Pauliho princip. Vnější elektrony a chemické vlastnosti atomu — inertní plyn, halový prvek, alkalický kov. Periodické opakování chemických vlastností a vysvětlení anomálií neúplným zaplněním vnitřních slupek. Ionizace, ionizační energie, vícemocný iont. Složitá optická spektra atomů s více elektrony. Jednoduché čárové rentgenové spektrum atomů. Velikost atomů.

E. Jednoduché molekuly

Síly působící při přibližování 2 atomů a jejich elektromagnetická podstata: Van der Waalsovy přitažlivé síly, síly vznikající sdílením elektronů, iontová vazba, odpudivá síla při malých vzdálenostech. Dvouatomová molekula. Disociace a disociační energie. Rotace a vibrace molekuly, energetické hladiny, spektra optická a infračervená. Molekula vody.

F. Plyn

Plyn jako soubor volných molekul nebo atomů. Mikrofyzikální vysvětlení teploty a tlaku, stavová rovnice. Tendence k maximální neuspořádanosti, entropie. Vzájemná přeměna tepla a mechanické práce, její omezenost. Mikrofyzikální model ideálního a reálného plynu. Silně stlačený (degenerovaný) plyn. Zkapalnění plynu. Zvukové vlny. Fluktuace a nestability.

G. Plazma

Ionizace srážkami při vysoké teplotě plynu. Částečně a úplně ionizované (vysokoteplotní) plazma. Magnetické nádoby. Vedení elektřiny v ionizovaném plynu, nízkoteplotní plazma. Nestability a vlny v plazmatu. Plazma ve vesmíru.

H. Kapaliny

Síly působící soudružnost molekul při zachování vzájemné pohyblivosti. Kapilární napětí. Malá stlačitelnost kapalin. Silně viskózní kapaliny, sklo a místní uspořádání molekul. Bod varu. Supratekutost. Zvukové vlny a vlny na povrchu kapaliny. Proudění kapaliny, turbulence. Rychlost světla v kapalině, její závislost na vlnové délce. Lom a odraz světla na rozhraní, rozklad bílého světla.

I. Krystaly

Periodické uspořádání atomů v krystalu, poruchy v periodičnosti, polykrystal. Bod tání a velikost i typ vazebních sil. Podstata mechanických vlastností krystalu.

Krystal kovu, elektronový plyn, vedení elektřiny a emise elektronů. Krystal nevodíče. Příměsový polovodič, elektronová a děrová vodivost.

Magnetické a dielektrické vlastnosti krystalů. Feromagnetika a feroelektrika.

Tepelné záření a luminiscence krystalů. Stimulovaná emise světla (laser). Jevy při velmi nízkých teplotách.

J. Složité molekuly

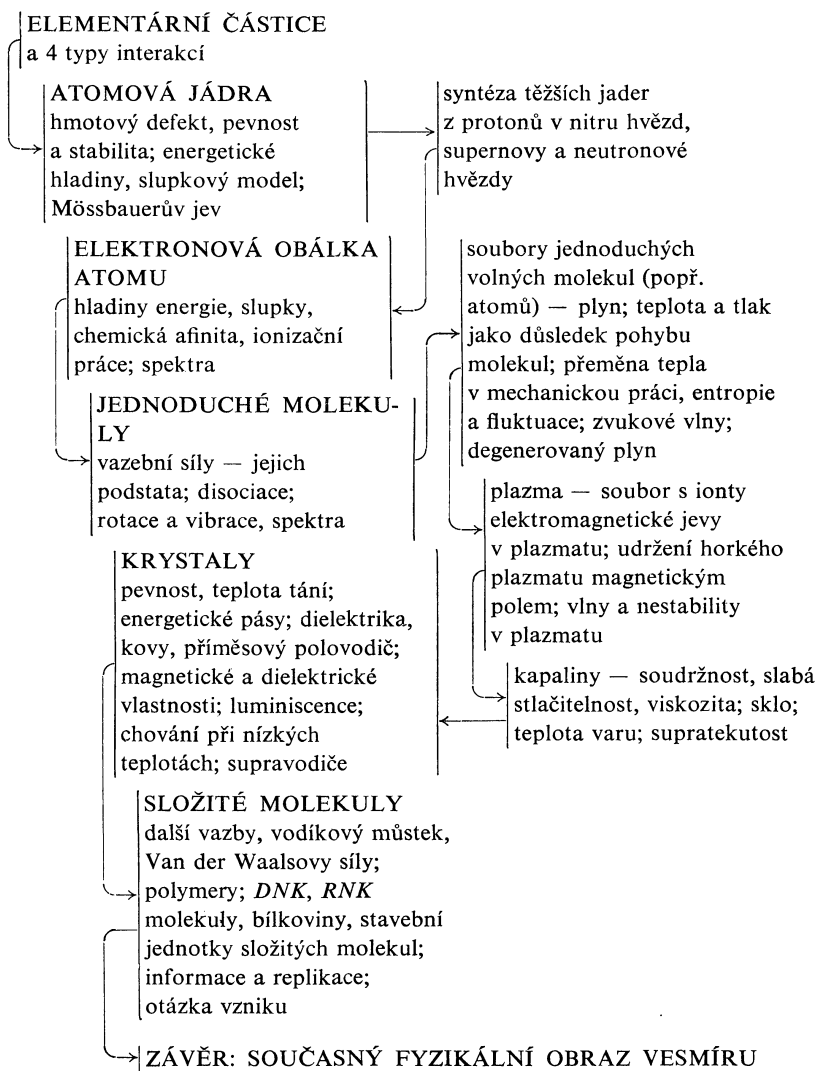
Organické molekuly, polymery — srovnání s krystalem. Molekuly DNK, RNK a bílkovin; jejich stavební jednotky. Uložení informace a rozmnožování molekul. Mutace v molekule DNK, vývoj. Možnost spontánního vzniku molekul, které umožňují život.

K. Rekapitulace a závěr

Fyzikální obraz Vesmíru. Očekávaný vývoj fyziky. Otevřené otázky a nepochopené jevy. Cesta k integraci přírodních věd.

KOMENTÁŘ A ZÁVĚR

Pro lepší přehled uvádíme na obr. 1 schéma navrhovaného postupu při výkladu fyziky.



Obr. 1

Uspořádání látky a časový sled, který zde navrhujeme, porušuje ustálený tradiční způsob dělení fyziky i hlavní směr postupu. Akustika, termika a termodynamika, geometrická a fyzikální optika a zčásti i elektřina a magnetismus jsou obsahově zmenšeny a jejich hlavní zákonitosti přiřazeny k atomovým jevům. Vlastnosti ele-

mentárních částic, složení atomových jader a způsob jejich vzniku a fyzikální vlastnosti atomu jsou probrány důkladně, zatímco dosud zpravidla tvořily přívěsek na samém konci výkladu fyziky.

Jsou rovněž zařazeny fyzikální jevy, které probíhají mimo Zemi a především termojaderné reakce v nitru hvězd, vliv gravitačních sil při udržení horké hmoty hvězdy i při vzniku hvězdy atd.

Protože se v posledních letech vyjasnila i atomová struktura a fyzikální mechanismus funkce některých molekul důležitých pro životní pochody, jsou tyto jevy a struktury rovněž zařazeny. Znamená to určitou — i když zatím omezenou — integraci některých oborů či podoborů přírodních věd a jednotný pohled na řadu jevů, jejichž vnější projevy jsou často velmi odlišné a rozmanité.

V heslech neuvádíme — až na 2—3 výjimky — aplikace fyzikálních jevů v technice. Jejich zařazení je samozřejmě možné v celém průběhu výkladu. Rozsah uváděných aplikací by byl jistě závislý i na typu školy.

Ústřední problém zřejmě je, kdy (vzhledem ke stáří žáků) je vůbec možné použít syntetického způsobu výkladu fyziky od elementárních částic k složitým strukturám. I když jistě velmi záleží na způsobu podání látky (hesla uvedená v tomto článku obsahují speciální termíny, kterých by v mnoha případech nebylo vůbec nutné při výkladu používat) vyžaduje se již dobře vyvinutý smysl pro abstrakci a značná představivost, neboť jde o postup od částic a jevů, které nelze přímo vnímat. Z toho důvodu je možné, že cesta od elementárních částic k makrofyzikálním jevům je použitelná ve věku a rozvinutí schopností, které by odpovídaly žákům z dřívějšího vyššího gymnasia. Ještě spíše by se mohla uplatnit u dospělých — ať už na vysoké škole či při mimoškolním vzdělávání. U mladých žáků by mohl naopak zůstat dosavadní způsob výkladu od denní zkušenosti, avšak s podstatnou redukcí faktického materiálu a se zvýšeným důrazem na samostatné hledání zákonitostí, měření a pozorování i jeho hodnocení. Výklad pro starší žáky by pak nebyl — jako dosud — opakováním na vyšší úrovni toho, co se probíralo v nižších třídách.

V celém námětu jsme nebrali v úvahu to, na čem často ztroskotávají i méně podstatné snahy o změny — to jest obsahové i metodické zvládnutí výkladu. Celý zde uvedený námět nechť čtenář v každém případě pokládá za velmi surový materiál k diskusi, která sleduje jeden hlavní cíl — zmenšení množství faktického materiálu předkládaného žákům k zvládnutí při současném předvedení a využití i nejnovějších poznatků moderní fyziky.

Vzdálenost Měsíce od Země je nyní známa na méně než 15 metrů. Teoretické výpočty provedené před třemi lety ve Watsonově laboratoři IBM letos doplnily údaje o hmotě Měsíce získané na základě pozorování letu kosmických sond Orbiter 1 a Orbiter 2. Pracovníci Jet Propulsion Laboratory při Kalifornském technologickém ústavu tak mohli připravit novou padesátiletou měsíční efemeridu s přesností $0,5 \cdot 10^{-4}\%$.

ju