

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Ivan Úlehla

Problém poznání ve fyzice

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 19 (1974), No. 1, 1--10

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139117>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1974

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>

Problém poznání ve fyzice

Ivan Úlehla, Praha

Přírodní vědy a matematika představují jeden z velmi významných prostředků poznání okolního světa. Důležitou úlohu v tomto směru mezi přírodovědeckými obory má v celém novověku fyzika. Ona totiž se zabývá ve srovnání s ostatními výzkumnými disciplínami relativně velmi jednoduchými formami hmoty, jejího pohybu a změn. Právě pro tuto elementárnost jsou mnohé z jevů a projevů světa, jimiž se zabývá, společné pro veliký soubor objektů, z nichž některé mohou být kvalitativně i značně odlišné. Vezměme jako zcela prostý případ mechanický pohyb, přemístování objektů v prostoru a čase. Zákony tohoto pohybu jsou zcela stejné pro neživá tělesa jako pro živé organismy, pro žhavé hvězdy i pro mikroskopická zrníčka chladného prachu.

Tato univerzalita na jedné straně umožňuje fyzice, aby v procesu poznávání šla do velké hloubky, na druhé straně ji však také nutí problémy gnoseologické přímo vyhmatávat, střetát se s nimi a řešit je. I když se s těmito efekty setkávají všechny vědní obory, zaujímá přece jen fyzika v otázkách poznávání místo v těsné blízkosti filosofie.

Vývoj fyzikálního poznání přírody sdílí obecné rysy jakéhokoliv vědeckého poznávání, v kterém můžeme nalézt tři základní stadia nebo formy zvládnutí dílčích specifických poznatků plynoucích ze zkušeností.

Nejnižší formou je utřídění individuálních informací do celků a skupin podle několika vybraných znaků. Již pochopení, že v různých specifických informacích se může nebo nemusí vyskytnout nějaký znak, je důležitým krokem v tomto prvním stadiu. Umožňuje totiž vytvořit základní kategorii pojmů, jimiž dané znaky zobrazujeme a podle těchto znaků vytvořit systém, na němž a nad nímž vědecky pracujeme.

V tomto stadiu byla mechanika před objevy I. NEWTONA. V době před ním rozlišovala již látky tuhé a kapalné, měla vytvořeny základní pojmy prostorové a časové, měřila rozměry těles a jejich vzdálenosti i změny vzdálenosti s časem, znala pojem rychlosti i zrychlení jako změnu rychlosti, používala pojem váhy a mohla tak měřit množství hmoty, s níž pracovala. V tomto období již také znala na základě přímého pozorování řadu zákonů, které můžeme označit jako empirické (plynouce přímo ze zkušenosti). Mezi ně patří zákon rovnoměrného pohybu známý již arabským cestovatelům, zákon volného pádu objevený G. GALILEIM.

V podobném stadiu byla nauka o teple před objevem I. věty termodynamické. Znala

již pojem teploty, tlaku, objemu, nalezla zákony popisující závislost roztažnosti látek na teplotě, **Boyl-Marriotův zákon**. Analogickou situaci najdeme v předmaxwellovském období v oblasti zabývající se zkoumáním elektrických a magnetických jevů.

V současné době je v tomto stadiu fyzika elementárních částic a fyzika materiálních útvarů složených z částic nemajících atomární nebo molekulární strukturu jako např. fyzika plazmy a fyzika atomového jádra.

Vyšší formou poznání je objevení obecných korelací mezi jednotlivými znaky studovaného systému. Tyto korelace mají ve fyzice formu obecných zákonů, a to buď pohybových, charakterizujících možné změny v daném systému, nebo strukturálních, uvádějících do pevného vztahu některé znaky, které se původně považovaly za nezávislé. Tyto obecné zákony, jak ukazuje historie fyziky, byly vždy odvozeny cestou neúplné indukce. Podrobným rozbořením – analýzou daného systému – nebo naopak syntetisujícím způsobem, upuštěním od nepodstatných znaků nebo oběma metodami zároveň, se vytvořila základna známých poznatků, k nimž se přidal – a to je podstatné – vhodný předpoklad, který v nich není předem obsažen. Tento krok umožnil indukci provést do konce a nalézt obecný zákon. Vzhledem k tomu, že zákon byl nalezen s přibráním něčeho dříve neznámého, musela z něho vyplynout vedle popisu a výkladu známých skutečností i řada skutečností nových. Pokud důsledky – *dedukce* – z tohoto zákona nebyly ve vzájemném sporu a ve sporu se skutečností, byl zákon přijat jako zákon obecný. Newtonovi např. bylo známo, že bezprostřední účinek jednoho tělesa na druhé závisí na jejich hmotách a relativní rychlosti. Vezměme na ukázkou srážku dvou shodných objektů. Účinky srážky na tyto objekty budou při dané rychlosti tím větší, čím větší budou jejich hmoty a podobně, budeme-li mít objekty o daných pevných hmotách, potom účinky srážky budou tím rozsáhlejší, čím bude jejich vzájemná rychlost větší. Zjistíme, že při srážce dochází obecně ke změně rychlosti. Je proto zcela přirozené zavést veličinu hmota krát rychlost, charakterizující dynamický stav tělesa, měřit mechanický účinek jednoho tělesa na druhé při srážce její změnou v čase a tuto změnu nazvat silou. Stejným způsobem bychom mohli studovat tření a došli bychom k možnosti analogického popisu. Podstatný a nový předpoklad, který činí Newton, je, že tento vztah považujeme za platný i pro případ, kdy se objekty bezprostředně nedotýkají. Newtonovi se podařilo najít výraz pro gravitační sílu – což je empirický zákon – a ukázat, že řešením pohybových rovnic dostává, použije-li ji, Keplerovy zákony pro pohyb planet v sluneční soustavě, tj. popis skutečností považovaných dříve za zcela nezávislé na pozemských. Současně zjistil, že třetí zákon Keplerův je nepřesný a pozorování dalo této zcela nové dedukci za pravdu. I když tento Newtonův předpoklad byl mnohokrát kritizován, protivníci nebyli schopni ve stejném rozsahu jako Newton vysvětlit jednotně známá fakta. Na druhé straně veškeré dedukce plynoucí z Newtonova pohybového zákona potvrzovaly, že jde o zákon obecný, univerzálně platný pro všechny mechanické změny známé v klasickém období novověké fyziky. Po objevu **COULOMBOVA** zákona pro sílu působící mezi dvěma kladnými elektricky nabitými tělesy a později po objevu **LORENTZOVY** síly popisující vzájemné působení klidných i pohybujících se nabitých těles přibyly další síly do souboru sil působících na dálku. Ukázalo se, že pohybový zákon je použitelný i v tomto případě.

Vysvětlit opodstatněnost Newtonova předpokladu a ukázat na jeho správnost se

podánilo fyzice až o několik století později po odkrytí obecného pohybového zákona klasické mechaniky.

Do druhého stadia poznání se dostala rovněž nauka o teple formulací I. věty termodynamické, při níž se používá předpokladu, že teplo je energie. V I. větě termodynamické se vlastně setkáváme s elementární formou obecného zákona zachování energie, jehož správnost se postupně prověřuje v jednotlivých fyzikálních disciplínách a jenž ukazuje, že energie je jedna z významných měř pohybu jak mechanického, tak nemechanického.

V tomto stadiu poznání je také nauka o elektromagnetických jevech, jejichž výklad je podán v MAXWELLOVÝCH zákonech pro elektromagnetické pole. K jejich odvození použil Maxwell předpoklad o existenci „posuvného proudu“.

S pomocí těchto zákonů je nejen možné popsat a vyložit všechny jevy elektrické a magnetické známé v období před Maxwellem, ale i vysvětlit zákony optiky, které byly objeveny jako zákony nezávislé na jevech elektrických a magnetických, a dále je z nich možné vyvodit, že existují dříve neznámé elektromagnetické procesy jako např. šíření elektromagnetických vln o jiných vlnových délkách než vlastních viditelnému světlu.

Další disciplína, která dospěla k této formě poznání, k tomuto typu zobrazení skutečnosti, je statistická fyzika. Jejím podstatným předpokladem je představa, že látky se skládají z molekul a atomů. Tato představa nebyla fyzice vlastní, spíše naopak, fyzika až do poloviny minulého století pokládala hmotu za spojitou. Podobně jako Maxwellův předpoklad byl i tento předpoklad četnými fyziky kritizován, a to natolik důrazně, že prakticky až do konce 19. století fyzika pokládala představu o atomární struktuře hmoty za nedostatečně podloženou hypotézu. Nicméně se statistické fyzice podařilo vysvětlit na mikroskopickém základě I. a II. větu termodynamiky a ukázat, kdy platí III. věta termodynamická, podat výklad závislosti specifických tepel na teplotě a vyložit řadu dalších jevů.

Soubor obecných zákonů nad daným systémem, které jsou vnitřně logicky spjaté základní kategorií znaků – pojmů specifických pro tento systém, nazýváme obyčejně fyzikální teorií. Tato teorie je jedním z obrazů jistého výseku skutečnosti, jeho skladby a změn, které v něm mohou probíhat. Vybudování teorie je typickým dovršením druhého stupně poznání.

Počátkem tohoto století se začaly formovat dvě významné fyzikální koncepce, z nichž vyrostla teorie relativity a teorie kvantová. Teorii relativity, která je fyzikální teorií prostoru a času a která obsahuje jak relativistickou mechaniku, tak relativistickou teorii elektromagnetického pole a teorii pole gravitačního, vytvořil A. EINSTEIN. Po kritické analýze známých teorií, zejména klasické mechaniky a teorie elektromagnetického pole a po jejich konfrontaci jako „univerzálně platných“ se skutečností a zvláště s jevy, které nebyly schopny vysvětlit, dospěl k závěru, že základní pojmový aparát, na němž stává klasická fyzika, nezobrazuje dostatečně přesně skutečnost. Je to zejména pojem prostoru a času zavedený Newtonem, který je třeba revidovat. A. Einstein našel v sobě sílu tento krok provést.

Podstatným předpokladem, který učinil, je předpoklad, že forma obecných zákonů fyziky nesmí být závislá na pohybovém stavu systémů, uvnitř nichž mají tyto zákony platit. Tuto vlastnost nazýváme invariancí.

Teorie relativity se skládá ze dvou částí, speciální a obecné. Speciální teorie relativity je omezena na zkoumání invariance fyzikálních zákonů pouze vůči pohybům rovnoměrným a přímočarým. K odvození jejich zákonů je použit ještě předpoklad o tom, že tomuto požadavku vyhovují Maxwellovy zákony pro elektromagnetické pole. Tento druhý předpoklad je spíše znám jako předpoklad o konstantní rychlosti světla. S jejich pomocí potom Einstein odvozuje základní strukturální zákon o vzájemném vztahu prostoru a času, který je znám jako Lorentzova transformace, která zobrazuje vzájemnou závislost prostorových a časových forem našeho světa. Současně získává také základní pohybový zákon nové relativistické mechaniky a ukazuje, že pohybový zákon Newtonův je dobrým přiblížením k novému a obecnějšímu při vzájemných rychlostech materiálních objektů mnohem menších, než je rychlost světla. Při rychlostech větších, tj. srovnatelných s rychlostí světla, je však již nutné použít zákon nový. Jeho správnost byla bezprostředně experimentálně prověřena, podobně jako mnoho dalších důsledků této teorie.

Maxwellovy rovnice popisující pohybový stav elektromagnetického pole Einstein upravil a přepsal do takové formy, z které je přímo patrné, že platí v jakýchkoliv systémech navzájem rovnoměrně a přímočaře se pohybujících. Tím ukázal, že teorie elektromagnetického pole je vlastně od počátku teorií relativistickou. To je jeden z důvodů, pro který nebylo možno odvodit rovnice elektromagnetického pole v rámci Newtonovy mechaniky. O takové odvození se snažila bezúspěšně řada fyziků a mezi nimi i sám Maxwell. Podstatným důvodem, pro který dedukci tohoto typu není možné provést, je však to, že formy pohybu mechanického a pohybu elektromagnetického jsou z klasického hlediska diametrálně odlišné a neslučitelné.

Jedním z významných důsledků speciální teorie relativity je zjištění, že každému materiálnímu objektu je třeba připsat jeho vlastní čas, zrovna tak jako mu připisujeme jeho vlastní rozměry, které ho charakterizují. Změny časového charakteru nemusí být u různých materiálních objektů synchronní zrovna tak, jako nemusí být ekvivalentní změny týkající se jejich prostorových rozměrů. V běžném životě jsou časové změny téměř totožné, a proto rozdílů v nich nepozorujeme a používáme např. na Zemi jeden čas – tj. příslušné časové intervaly, den, hodinu atd., máme stejně dlouhé. Setkáme-li se však s objekty, které se vůči nám pohybují rychlostmi blízkými rychlosti světla, obraz se podstatně změní. Zjistíme totiž, že ve srovnání s námi jejich čas plyne pomaleji než náš. S velmi názorným a velmi konkrétním příkladem se setkáváme ve fyzice elementárních částic, kde se tohoto jevu prakticky používá i při výzkumu. Víme, že některé elementární částice jsou podobně jako některá atomová jádra nestabilní. Známe také v mnoha případech dobu jejich života. Tyto doby života u některých elementárních částic jsou mnohem menší než 10^{-6} vteřiny v systému, v kterém je částice v relativním klidu. Pohybuje-li se však vůči nám velmi rychle, žije vůči nám mnohem delší dobu a dostatečnou k tomu, abychom s ní provedli příslušný experiment.

Druhým z takových důležitých důsledků speciální teorie relativity je zákon o ekvivalenci hmoty a energie. Je to typický strukturální zákon, podle něhož je každému materiálnímu objektu o relativistické hmotě m přiřazena energie $E = m \cdot c^2$ a naopak. Jeho výpověď má neobyčejně významný fyzikální obsah. Tento zákon totiž říká, že energie

jako míra pohybu, aktivních stránek daného objektu, je zcela ekvivalentní jeho setrvačné hmotě, míře inerciality, inertnosti, pasivní stránky daného objektu. To však také znamená, že v každém běžném objektu je ukryta enormní energie, kterou je principiálně možné vhodnou proměnou uvolnit a využít. O existenci takových proměn se už dávno ví. Na jejich základě pracují reaktory jaderných elektráren a vybuchují jaderné nálože.

Obecná teorie relativity používá kromě předpokladu o nezávislosti fyzikálních zákonů na obecném pohybovém stavu systémů, v nichž tyto zákony platí, ještě předpoklad o naprosté ekvivalenci tíhové a setrvačné hmoty, která se v Newtonově fyzice zdá být spíše náhodná a konvenční než fyzikální. Z těchto požadavků odvozuje Einstein velmi důmyslnou konstrukci rovnice gravitačního pole a dokazuje, že prostorové a časové vlastnosti světa jsou nejen závislé na sobě navzájem, ale i na rozložení hmoty. Gravitační vlivy na chod času lze dnes měřit nejen u astronomických objektů, ale i v pozemských laboratořích přímo. Tento jev je znám jako gravitační rudý posuv spektrálních čar. Z rovnic pro gravitační pole se dá odvodit výraz pro gravitační sílu působící mezi dvěma objekty a zjistit, že je velmi blízká Newtonově gravitační síle. Odchyšky v gravitačním působení pocházející z tohoto rozdílu lze pozorovat při pohybech planet a umělých družic Země a tím je možné se přesvědčit, že nový zákon pro gravitační pole a jeho pohyb je správný. Z Einsteinových gravitačních rovnic plyne také, že dráha světla v gravitačním poli hvězd není přímá, ale zakřivená a příslušné odchyšky je možné měřit a tak tyto zákony verifikovat. Mezi důsledky obecné teorie relativity patří i to, že gravitační pole podobně jako elektromagnetické může existovat samostatně, tj. ve formě záření. V posledních letech byla existence gravitačních vln experimentálně prokázána.

Jak ukázal Einstein, sovětský fyzik A. FRIDMAN a další autoři, obecná teorie relativity je také první fyzikální teorií vesmíru jako celku, hodí se pro popis galaktických soustav, metagalaxií i pro celý nám známý vesmír. Vyplývá z ní, že vesmír může být konečný i nekonečný, uzavřený i otevřený, a to jak v prostoru tak i v čase. O tom, jaký skutečně je, rozhoduje rozložení hmoty ve vesmíru, které dosti dobře neznáme. Víme o něm však, že je velmi blízké hranici, v které přechází otevřený vesmír v uzavřený a naopak. Současná astronomická data svědčí o tom, že vesmír nám známý se vytvořil asi před 10 miliardami let. O tom hovoří mimo jiné jeho rozpínající se struktura, která je zcela v souladu se zákony obecné teorie relativity. Na to, jakým způsobem mohl vzniknout, nedává však obecná teorie relativity žádnou odpověď.

Podobně jako teorie relativity vyrostla také kvantová teorie z kritiky klasické fyziky, z její neschopnosti vyložit v rámci uznávaných fyzikálních zákonů jevy, které dnes označujeme souborně jako kvantové. Průkopníkem této teorie byl MAX PLANCK, který se neobával vystoupit proti klasikům a jejich pojmovému aparátu a který s pomocí fundamentálního předpokladu o existenci fotonů překlenul propast mezi dvěma základními fyzikálními pohledy na strukturu hmoty.

Od starověku totiž ti, kteří se zabývali obecnými stránkami hmoty jako základu tohoto světa, se dělili na dvě skupiny. Jedna z nich zastávala koncepci atomistickou, druhá kontinuitní. Podle starověkých atomistů existuje konečná hranice, po kterou lze látku dělit a tou je nebo jsou atomy. Podle jiných antických filosofů je každá látka či substance neomezeně dělitelná. K oběma závěrům vedlo zobecnění našich zkušeností

a pro oba uváděli naši předchůdci mnoho důvodů. Ve středověku byla atomistická myšlenka zatlačena, protože byla spojována s materialistickým světovým názorem. Proto není divu, že novověká fyzika se spíše přiklonila ke kontinuálnímu pohledu na hmotu. Newtonova korpuskulární hypotéza o světle, která má svou povahou velmi blízko k atomismu, přes jeho autoritu nezvítězila a zůstala dlouho ojedinelým pokusem. Podlehla mnohem přesvědčivější undulační nauce o světle. Undulační výklad je svou povahou i podstatou založen na kontinuálním chápání média, v němž vlnový proces probíhá. Rozruch v médiu se šíří z jednoho bodu do libovolně blízkého, předává se od místa k místu, spojitě, jakákoliv mezera, diskontinuita by narušila chod vlnového procesu. A proto všude tam, kde se setkáváme s vlnovými efekty, mezi něž patří superpozice, ohyb a interference, považujeme je za nesporný projev kontinuálních vlastností hmoty.

Vybudování pojmu pole FARADAYEM a Maxwellem při studiu elektromagnetických jevů vedlo k dalšímu posílení představy o kontinuitě. Maxwellova teorie skvěle vyložila zákony vlnové optiky, vysvětlila polarizaci, ohyb a interferenci světla.

Nicméně atomistická a molekulová teorie nabývala vrchu v novověké chemii. Pod jejím vlivem se začala rozvíjet statistická fyzika, která jako první z fyzikálních disciplín přijala tuto ideu. Přes její zřejmé úspěchy představa o kontinuální struktuře hmoty byla však až do konce 19. století dominující.

V této situaci, kdy již myšlenka atomismu pomalu infiltruje do fyziky, přichází Planck s revolučním předpokladem: světlo, tj. elektromagnetické pole, tedy kontinuum se může chovat jako soubor kvant – fotonů, částic, které mají korpuskulární, tj. diskontinuitní stránku a kterým je možné připsat tak jako mechanickým kuličkám „mechanickou energii.“ S pomocí tohoto předpokladu je Planck schopen vysvětlit charakter záření černého tělesa, který nemohla vyložit Maxwellova teorie. Záhy potom Einstein při výkladu Comptonova jevu ukazuje, že fotonům je třeba vedle energie připsat i hybnost, tj. na fotony je nutno nahlížet jako na korpuskule, kvanta, atomy světla, chovající se jako mechanické částice s danou energií, ale také s danou hybností. Jediný, zato však podstatný rozdíl je v tom, že zatímco pro skutečnou mechanickou částici je hybnost p dána součinem hmoty m a rychlosti v

$$p = mv$$

a kinetická energie E výrazem

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m},$$

je hybnost fotonu v absolutní hodnotě dána výrazem

$$p = \frac{h}{\lambda}, \quad \lambda v = c$$

a kinetická energie

$$E = hv = cp.$$

Zde λ je vlnová délka, v frekvence, c rychlost světla a h je univerzální Planckova konstanta. Velmi zvláštní z hlediska klasické fyziky je na těchto rovnicích to, že pod p a E

rozumíme mechanickou hybnost a mechanickou kinetickou energii, která se projevuje při srážce fotonu zrovna tak jako u mechanické částičky a že tyto mechanické veličiny charakteristické pro částici (tj. izolovaný objekt) jsou určeny vlnovou délkou a frekvencí, tj. veličinami, které mají smysl pouze pro kontinuum.

Závěrečným krokem tohoto počátečního stadia kvantové koncepce je DE BROGLIEHO předpoklad, že elektronu a podobně i jiným částicím, zdánlivě korpuskulárního typu, které tvoří atomy a molekuly, je třeba přisoudit vlnové vlastnosti s pomocí rovnic stejného typu jako u fotonů. Tyto rovnice čteme nyní obráceně. Známe-li mechanickou hybnost a mechanickou energii částice, určíme z nich vlnovou délku a frekvenci příslušného pole. Tato na první pohled fantastická představa byla experimentálně prověřena a zjistilo se, že plně odpovídá skutečnosti. Elektrony a i jiné a mnohem těžší částice (jak se později ukázalo) vykazují ohybové a interferenční efekty zcela v souladu se zákony optiky a s de Broglieho rovnicemi.

Po tomto primárním stadiu poznání nastupuje i u kvantové teorie druhé stadium, v němž jsou formulovány nejdříve pohybové zákony, nerelativistická kvantová teorie a později i relativistická kvantová teorie.

Nerelativistická kvantová teorie, kterou označujeme obvykle jako kvantovou mechaniku, tvoří neobyčejně důležitý stupeň poznání mikrosvěta, přestože nestaví na důsledném spojení obou pohledů na hmotu, korpuskulárního — „atomistického“ a kontinuálního.

Vychází se tu z podstatného předpokladu, že je možné definovat stav systému a že je možné fyzikální veličiny zobrazit s pomocí operátorů, které na tento stav působí a obecně ho mění, tj. vytvářejí z něho stav jiný. Základní pohybový zákon je známá SCHRÖDINGEROVA rovnice a mezi strukturální zákony patří zákon, podle něhož se přiřazují fyzikálním veličinám operátory.

Zrovna tak, jako nebylo možné vysvětlit zákony elektromagnetického pole ze zákonů Newtonových, není možné ani pochopit kvantovou mechaniku v rámci teorie elektromagnetického pole nebo v rámci klasické mechaniky. Nicméně pokusy o to byly četné a často jsme slyšeli, že kvantová mechanika klade meze poznání, protože tyto pokusy selhaly.

Velmi snadno se dá ukázat, že kvantová mechanika přechází v klasickou tehdy, když její výpověď nezávisí na Planckově konstantě. To znamená, že Newtonova mechanika je jedním z limitních případů mechaniky kvantové. Je proto zcela pochopitelné, že to poznání, které poskytuje kvantová mechanika, nemůže být vtěsnáno do rámce klasické teorie.

Kvantová mechanika vyložila charakter spekter atomů, Mendělejevův zákon pro chemické elementy, podstatu obou základních typů chemických vazeb, která není žádnou jinou teorií vysvětlitelná, strukturu molekul a molekulárních spekter, podala výklad makroskopických vlastností látek, jako paramagnetismu a diamagnetismu, vysvětlila mikroskopickou cestou vůbec poprvé feromagnetismus, rozdíl mezi vodiči, polovodiči a dielektriky. Podobně posloužila při výkladu supravodivých a supratekutých jevů.

Tato disciplína je uzavřena zrovna tak jako je dovršena klasická teorie elektromagnetického pole. Známe meze její platnosti a aplikovatelnosti.

Na ni navazuje relativistická kvantová teorie, která důsledně přijala atomisticko-

kontinuitní obraz o struktuře materie a s jeho pomocí vytvořila jednotný popis procesů pro všechny známé formy hmoty. Díky tomuto přístupu je schopna vysvětlit i tak pronikavé a převratné změny jako je vznik a zánik elementárních částic. Z jejich pohybových zákonů jasně plyne, že mechanická stránka pohybu elementárních částic je určena a podmíněna nejen jejich energií a hybností, ale i další veličinou – spinem – vlastním momentem hybnosti. Přitom všechny tyto částice se chovají jako kvanta jim příslušných polí.

Zákony zachování mechanické energie, hybnosti, momentu hybnosti a elektrického náboje patří k jejím fundamentálním zákonům. Plyne z ní však i řada dalších zákonů strukturálních, které jsou neobyčejně důležité. Na prvním místě je to zákon o vztahu mezi spinem elementárních částic a statistikou, které podléhají. Částice s polovičním spinem tvoří statistické soubory DIRACOVY, zatímco částice s celistvým spinem skládají statistické soubory BOSEHO. Vlastnosti takových statistických souborů se značně odlišují a mají silný vliv na makroskopické chování látek. Na druhém místě to jsou různé zákony symetrie, která zobrazují skutečné symetrie našeho světa. Z poměrně dobře známých je to zákon, že ke každé elementární částici existuje antičástice, která pouze ve zvláštních případech může být totožná s původní, obecně se však od ní liší alespoň v jedné charakteristice. Tak k protonu, částici se spinem $1/2$, s pozitivním elementárním nábojem a s hmotou rovnou 1836násobku hmoty elektronu, existuje antiproton se stejnou hmotou se stejným spinem, avšak s elementárním nábojem opačného znaménka. Podobně k neutronu, částici 1839krát těžší než elektron nesoucí spin $1/2$, nemající náboj, ale vlastní magnetický moment, existuje antineutron se stejnou hmotou, neutrální a s magnetickým momentem stejným co do hodnoty, ale opačného znaménka.

Donedávna jsme měli za to, že všechny fyzikální zákony, a tedy i reálné procesy, jež zobrazují, jsou invariantní vůči zrcadlení. To znamená, že chod daného procesu a jeho zrcadlový obraz se měl řídit tímž zákonem. Zrovna tak jeho průběh neměl záviset na tom, jakým způsobem se odečítá čas, zda v pozitivním či v negativním smyslu. Takováto symetrie reálných procesů není však obecná. Obecně budou probíhat stejně, tj. podle stejných zákonů, pouze ty procesy, pro které vytvoříme současně: zrcadlový obraz s opačným odečítáním času a se záměnou všech částic za antičástice. Tento významný a ještě zdaleka nedoceněný strukturální zákon, označovaný zkráceně CPT teorém, ukazuje na to, že prostorové a časové vlastnosti hmoty nejsou vázány jen na rozložení setrvačné hmoty, jak to ukázala teorie relativity, ale také na její elektromagnetickou skladbu.

To jsou prakticky všechny fyzikální disciplíny, které prošly i druhým stupněm poznání. Moderní obory, jako je fyzika elementárních částic, jaderná fyzika nebo fyzika plazmy, zůstávají všechny ještě na prvním stupni. I když jejich vývoj je hluboce ovlivňován celkovou situací ve fyzice a v matematice na jedné straně a technickými možnostmi na druhé straně, nedospěly ještě do stadia formulace obecných pohybových a strukturálních zákonů. Jejich poznatky jsou dílčí, vzájemně neskloubené a patrně nedostačují ani s přibráním nových předpokladů k vybudování obecné teorie. Nelze se divit, že k přechodu na vyšší stupeň dosud nedošlo. Zabývají se totiž oblastmi přírody, které jsou relativně velmi vzdáleny od našeho denního světa a do nichž nelze pronikat přímo, ale jen zprostředkovaně s pomocí nákladných experimentálních zařízení.

Za nejvyšší formu vědeckého poznání považujeme takovou jeho podobu, která nedovoluje daný soubor jevů, procesů a pochodů z tohoto světa pouze popsat a vysvětlit, ale poskytuje také možnost systému nalezených zákonů prakticky použít při cílevědomém zásahu do chodu přírody nebo do společenského vývoje. Jakmile dosáhneme toho, že umíme navodit příslušné podmínky, které podníti daný proces, a jestliže tento proces probíhá právě tím směrem, který jsme předvíдали, potom říkáme, že tento proces (tj. podmínky jeho vzniku, jeho průběh i závěr a výsledek) skutečně známe. Nedílnou součástí vědeckého poznání přitom samozřejmě zůstává jeho popisná i vysvětlující část.

Z lidské historie známe ohromnou spoustu příkladů, kdy se člověk naučil přírodní procesy zvládat a usměřňovat žádoucím směrem. Použití ohně k výrobě a zpracování kovů je jedním z typických případů, kdy se mu podařilo skloubit dohromady řadu pochodů a vhodným způsobem je regulovat. Takové zvládnutí a osvojení výrobních postupů označujeme rovněž jako poznání. Tato forma poznání není však obecně poznáním vědeckým, protože postrádá pohled do podstaty věci.

Cena vědeckého poznání je v tom, že dovede nejen procesy reprodukovat, tak jako při výrobě reprodukuje postup podle určitého předpisu nebo schématu, ale jednotlivé prvky nebo části tohoto procesu používat i v oblastech zcela jiných, cestou prosté zkušenosti zatím neodkrytých.

Historie vědy a velmi význačně i historie fyziky ukázala, že cesta vědeckého poznávání od počáteční do konečné fáze může být kratší než cesta prosté zkušenosti.

Zákony mechaniky se okamžitě uplatnily ve strojnictví i stavebnictví a ve vojenské technice a dodnes tvoří nezbytný základ technických disciplín, v poslední době se mimořádně osvědčily v kosmonautice. Zákony termodynamiky rovněž tvoří nezbytnou základnu řady technických oborů a jejich činnosti. Zákony elektrodynamiky patří také do této kategorie, objev elektromagnetického záření, elektromagnetické indukce a řada dalších daly podklad k netušenému využití elektrické energie, bez níž si již ani neumíme život moderní společnosti představit. V posledních desetiletích jsou to zákony kvantové mechaniky a statistické fyziky, které začínají zcela převracet stavbu moderní společnosti. Polovodiče, hmoty a materiály předem předepsaných vlastností jsou postupně získávány. Miniaturní počítačové stroje s ohromnou pamětí a bleskovými výkony na jedné straně a supravodivé magnety na straně druhé jsou jen nepatrným výčtem z tohoto spektra přístrojů, strojů a materiálů poskytovaných fyzikou a přispívajících k vědeckotechnické revoluci.

Moderní vědecké fyzikální poznávání mohlo začít teprve tehdy – pomíneme-li společenské faktory – když technická zručnost a výrobní dovednost lidí dosáhly určitého stupně. Jakmile se však na této materiální základně dospělo k novým a dříve neznámým poznatkům, mohly zpětně působit na rozvoj výroby a techniky a přivést je na vyšší stupeň. Nové v tomto zpětném působení je, že vědní obor v něm nahrazuje bezprostřední způsob získávání zkušenosti při výrobě.

Tento moment se s časem stává stále významnější, a proto jsme dnes svědky toho, že i zcela nové fyzikální obory mohou často výrazně zasáhnout do struktury a způsobu výroby, přesto, že dosud netvoří uzavřené a hotové celky. Skutečnost, že starší vědní disciplíny zrovna tak jako relativně vysoká úroveň technických znalostí, existují a jsou

použitelné, umožňuje přenést do výroby i dílčí poznatky nebo zkušenosti, kterým z vědeckého hlediska v plném rozsahu ještě nerozumíme. Ve speciálních případech můžeme např. využívat již zcela prakticky jadernou energii, ačkoliv nevíme obecně v jakém rozsahu ji lze v přírodě získávat.

Tři základní formy nebo stupně vědeckého poznání, s nimiž jsme se seznámili, tvoří, vzhledem k omezenosti časové i prostorové, v které svá zkoumání provádíme, etapy poznání relativního. Vždy jsme a budeme omezeni ve svých možnostech prověřit experimentálně nebo prakticky platnost odvozených a nalezených zákonů. Vrátime-li se ještě na chvíli do minulosti fyziky, zjistíme, že všechny ty disciplíny, kterým byla přisuzována anebo které si přisuzovaly schopnost popsat a vysvětlit univerzálním způsobem jevy tohoto světa, mají jen omezenou sféru působnosti. Zákony klasické mechaniky platí při malých relativních rychlostech a pro objekty, v nichž je potlačen vliv kvantových jevů. Každý ze zákonů, o nichž jsme hovořili, má omezenou sféru působnosti, a tedy naše poznání je – byť by bylo sebe dokonalejší – vždy jen relativní a odpovídá výseku skutečnosti, do něhož jsme pronikli. Tento fakt fyzikové v podstatě přijali jako samozřejmost a jsou dnes nakloněni kriticky pohlížet na výsledky, jichž dosáhli. V jejich praktické činnosti zaujímá mnoho místa zkoumání, zda základní předpoklady, z kterých vycházejí, jsou přijatelné a v jakém rozsahu jich lze používat.

V průběhu dosavadního fyzikálního poznávání skutečnosti jsme se naučili, že je nutné neustále revidovat, doplňovat a zobecňovat základní pojmy, jimiž zobrazujeme skutečnost, poznali jsme to u pojmu prostoru a času, u pojmu elementární částice, u různých forem pohybu a měř, jimiž ho kvalitativně popisujeme, a jinde.

Mnohokrát se zdálo, že stojíme před překážkami omezujícími naše poznání, ale vždy se ukázalo, že jsme se vlastně setkali s něčím novým, co se nedalo stěsnat do starých kategorií, že však skutečnost se dá vyhmátávat, popsat a vysvětlit a že nové zákony lze v praxi použít. To je velká škola, kterou fyzika prošla; zkušenosti z ní jsou natolik poučné, že je třeba mít je neustále na paměti.

Mezníkem, kde dochází k rozdělení geometrie jako empirické nauky a jako matematické teorie, byl objev nesouměřitelnosti strany a úhlopříčky ve čtverci. Tento objev byl logickým důsledkem Pythagorovy věty, a přestože sama tato věta byla původně empiricky stanoveným „fyzikálním zákonem“, zmíněný logický důsledek již postrádal jakéhokoliv přímého empirického obsahu. Jestliže předtím bylo možno se domnívat, že veškerá nepřesnost souvisí s omezeností našich možností měření, ukázalo se nyní, že reálná tělesa nemohou mít přesné rozměry a máme všechny důvody k předpokladu, že každá fyzikální veličina ztrácí za určitými hranicemi přesnosti svůj smysl – kvantitativní zpřesnění způsobuje přechod v jinou kvalitu.

Objevení se zdánlivé geometrie (Lobačevského, pozn. překl.) vytyčilo otázku její bezespornosti, která v případě geometrie Euklidovy se přirozeně vůbec nekladla, protože její základy byly považovány za očividné a hodné bezpodmínečného uznání. Odtud a z jiných vnitřních otázek matematiky vzešel rozvoj axiomatické metody, která neprošla žádnými změnami od dob jejího vytvoření starými Řeky. Spolu s touto metodou volně operování s libovolnými množinami dalo obecné principy zavádění matematických pojmů, dovolující obsáhnout naráz všechny její již vzniklé a nově vznikající objekty.

A. D. Alexandrov