

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Imrich Staríček

Matematika vo fyzikálnom myslení na stredovekých univerzitách

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 35 (1990), No. 2, 66--75

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139267>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1990

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>

Matematika vo fyzikálnom myslení na stredovekých univerzitách

Imrich Staríček, Bratislava

1. Úvod

Medzi fyzikmi sa často stretávame s názorom, že dejiny fyziky sa začínajú Newtonom [1], prípadne Galileim [2]. Keď však sledujeme fyzikálne myslenie ďalej do minulosti, zisťujeme, že Galileiho i Newtonova fyzika sú výsledkom stáročia trvajúcich snáh o pochopenie prírodných javov a zákonitostí. Ich fyzika je nemysliteľná bez použitia matematiky. Úloha matematiky vo fyzikálnom myslení bola jasne formulovaná už v trinástom a štrnástom storočí, v dobe prvého rozkvetu európskych univerzít. Už vtedy sa na univerzitách v Paríži a v Oxforde formulovala požiadavka nepostrádateľnosti matematiky pri zdôvodňovaní prírodných javov a zákonitostí.

Predmetom tejto štúdie nie sú len matematické a fyzikálne poznatky stredoveku, ale aj rozbor tých predchádzajúcich snažení, ktoré tento rozkvet matematiky a fyziky pripravili; boli to najmä príspevky gréckych a arabských filozofov. Dôraz sa pritom kladie najmä na tie stránky vývoja matematiky a fyziky, ktoré navzájom súviseli, a nie na vývoj „čistej“ matematiky a geometrie, ani na praktické využívanie fyzikálnych poznatkov.

V stredoveku sa fyzika chápala v zmysle Aristotelovej fyziky, ktorá obsahovala aj náuku o živej prírode. Fyzika dneška sa zaoberá iba neživou prírodou. Ak hovoríme v ďalšom o fyzike v stredoveku, myslíme pritom iba na tú tematiku, ktorá zapadá do rámca dnešnej fyziky. Ešte v 17. storočí nazval Isaac Newton svoje slávne dielo: *Matematické základy prírodnej filozofie (Philosophiae naturalis principia mathematica)*. Toto dielo patrí dnes medzi základné fyzikálne diela.

Fyzika i matematika boli na stredovekých univerzitách iba okrajovými predmetmi, lebo prvoradou náplňou týchto škôl (ak odhliadneme od štúdia práv a medicíny) bolo štúdium teológie a štúdium filozofie ako prípravy na teologické štúdium. Štúdium fyziky sa opieralo viacej o čítanie a komentovanie textov gréckych a arabských autorít ako o výsledky vlastných pozorovaní a experimentov. Fyzikálne obsahy vyučovanej látky boli často premiešané s teologickými, prípadne filozofickými argumentmi, ktoré sú dnes pre fyzika neúnosné, ba až nepochopiteľné. V tejto štúdií sa mienim zamerať na fyzikálne jadro tohto myšlienkového kvasu v svetle dnes zaužívaných fyzikálnych a matematických koncepcií.

*) RNDr. IMRICH STARÍČEK, CSc. (1919), Topoľová 9, 811 04 Bratislava, pôsobil do roku 1951 na Prírodovedeckej fakulte SU v Bratislave a od r. 1968 do r. 1984 na Ústave merania a meracej techniky SAV v Bratislave.

2. Arabské a grécke pramene

Dnešný rozbor arabských a gréckych prameňov používaných na stredovekých univerzitách je sťažený tým, že mnohé arabské pramene boli na nich spočiatku nedostupné, a až neskôr, najmä po objavení kníhtlače, boli v latinských prekladoch vo väčšej miere prístupňované. Nemožno sa preto diviť, že v dobe zakladania univerzít boli matematika a fyzika na islamských vysokých učilištiach na vyššej úrovni ako na stredovekých univerzitách.

Po zatvorení aténskej Akadémie r. 529 n. l. sa grécki učenci rozišli a ich diela sa prekladali najprv do sýrčiny a až neskôr do arabčiny. Po zriadení bagdadskeho kalifátu sa Bagdad stal r. 762 nielen centrom osmanskej ríše, ale aj ohniskom islamskej kultúry. V Bagdade sa udomácnili kultúrne vplyvy grécke, byzantské, perzské a indické [3, 4]. Za kalifa al- Mámúna (813–833) bolo v Bagdade zriadené vedecké centrum, nazvané Dom múdrosti, v ktorom sa pestovali okrem filozofie aj iné oblasti, ktoré sa vtedy zahrňovali do vedy, ako astronómia, astrológia, alchýmia, medicína, farmacia, zemepis, matematika a fyzika. Indické vplyvy sa uplatňovali najmä v astronómii a v matematike, perzské nadväzovali na babylonskú vedeckú tradíciu. Byzancia sprostredkovala diela filozofov a učencov starého Grécka, najmä Platóna (filozofia), Aristotela (filozofia a fyzika), Archimeda (mechanika), Euklida (geometria a optika) a Ptolemaia (trigonometria a astronómia). Arabi spočiatku iba komentovali diela gréckych klasikov, ale neskôr prikröčili aj k ich samostatnému rozvíjaniu [5]. Prvým samostatne orientovaným arabským filozofom bol al- Fárábí (asi 870–950).

Islamská mechanika sa v Bagdade i na ďalších vedeckých strediskách a učilištiach (v Káhire, Damašku, Samarkande, Feze, Córdoba, Seville a inde) sústreďovala na riešenie praktických problémov, najmä statických, hydrostatických a hydromechanických (dvíhanie a prenášanie bremien, váženie, zavlažovanie) [6]. Vzorom im bol Archimedes (asi 287–212 pr. n. l.) so svojimi štúdiami o rovnováhe na páke a na jednoduchých strojoch, o vážení a určovaní mernej hmotnosti (podľa Archimedovho zákona). Podrobne sa študovali aj práce Herona Alexandrijskeho (asi 1. stor. n. l.) o tekutinách a pneumatike, ako aj dynamika pohybu podľa Aristotela. Z kinematických problémov sa riešili predovšetkým tie, ktoré sa týkali pohybov zložitejších strojov a pohybov nebeských telies, pričom sa spresňovali pozorovania, výpočty i geometrické modely najmä Ptolemaiovho *Almagestu* [6].

Z arabských mechanikov si najväčšiu pozornosť zasluhujú práce al-Cháziniho (1. pol. 12. stor. n. l.) ako *Knihy váh múdrosti*, v ktorej sa rozoberá nielen váženie, ale aj určovanie mernej hmotnosti zliatín, drahokamov i kvapalín [7]. Al-Bírúni (973–? 1050) riešil problémy zavlažovania a mernej hmotnosti minerálov, najmä drahokamov [8]. Al-Kindí († 873) [9] sa zaoberal riešením jednoduchých strojov a zložitejších mechanizmov. Encyklopedický charakter má *Knihy poznania* od Ibn Sina (980–1037), známeho v Európe pod menom Avicenna, ktorá bola neskôr v latinskom preklade rozšírenou príručkou na univerzitách [4].

Najznámejším arabským optikom v Európe bol al-Hajsam (asi 965–1038), známy ako Alhazen, ktorý robil experimenty v tmavej komore s odrazom a lomom svetla,

so zrkadlami aj šošovkami [4]. Alhazen prevzal úvodné optické úvahy od gréckych učencov, najmä od Euklida a Ptolemaia (asi 85–165 n. l.). Arabskí matematici poznali aritmetiku, algebru, riešenie rovníc aj druhého stupňa, geometriu podľa Euklida, kuželosečky, trigonometriu, aj sférickú trigonometriu a trojčlenku. Usilovne premýšľali aj o čisto teoretických problémoch, ako bola trisekcia uhla alebo kvadratura kruhu. K najznámejším matematikom patria al-Chwarizmi (asi 780–859) a Omar Chajjám (1048–1131).

Zvláštnu pozornosť si zasluhuje arabská kritika Aristotela, najmä jeho dynamiky. Tá nadväzuje na kritiku gréckeho filozofa Jána Philopona (5. stor. n. l.), ktorý pôsobil v Alexandrii. Philoponus učil proti Aristotelovi, že teleso sa neudrzuje v pohybe tlakom prostredia, ale tlačnou silou, ktorú dostalo pohybujúce sa teleso (napr. vrhnutý kameň) od svojho hýbateľa. Ibn Sina odmietol Aristotelovu predstavu o udržiavaní telesa v pohybe, ale tvrdil, že vrhnuté teleso dostalo od hýbateľa tendenciu (náklonnosť) k ďalšiemu pohybu, a tá zostáva v ňom počas celého pohybu. Táto tendencia je spôsobená silou, ktorá teleso vrhla. Pohybujúce sa teleso má vždy jednu z tendencií: prirodzenú, keď ide o prirodzený pohyb podľa Aristotela, a vynútenú, ktorú dostáva od hýbateľa. Vynútená tendencia sa pri pohybe stráca, až sa teleso (vo výške) zastaví. Potom sa začne uplatňovať prirodzená tendencia, pri ktorej pôsobí tiaž, a tá spôsobuje pád telesa [6]. Al-Baghdádi († asi 1164) tvrdil, že vo vrhnutom telese jestvujú obe tendencie súčasne. Miera prirodzenej tendencie je určená veľkosťou (objemom) a tiažou telesa. Teleso pri páde naberá novú tendenciu, ktorej zdrojom je tiaž, a preto padá stále rýchlejšie. Ibn Bajja (Badžži) (1070–1139) tvrdil, že teleso ktoré odovzdáva pohyb druhému telesu je samo týmto telesom ovplyvňované. Pohyb je možný iba vtedy, keď nastáva toto vzájomné pôsobenie [6].

R. 929 sa utvoril nezávislý a samostatný kalifát v Córdobe na Pyrenejskom polostrove. Tamojší kalif založil vedecké študijné strediská v Córdobe a v Seville. Na týchto učenských strediskách sa v arabčine komentovali aj diela gréckych filozofov, najmä Aristotelove. Sem prichádzali aj kresťanskí študenti z Európy ešte pred založením univerzít. Prostredníctvom ich prekladov arabských diel do latinčiny sa Európa začala oboznamovať najmä s Aristotelovou filozofiou, ktorá sa neskôr stala základom filozofickej výuky na európskych univerzitách.

Najväšňivejším stúpencom Aristotelovej filozofie v islamskom svete bol Averroes, vlastným menom Ibn Rušd (1126–1198) [5], ktorý pôsobil v Córdobe i v Seville. Jeho komentáre k Aristotelovi sa od r. 1230 horlivo prekladali do latinčiny a študovali na európskych univerzitách. Boli však v rozpore nielen s učením Avicennovým, ale aj s ortodoxnými zastáncami Koránu, a preto bol Averroes ako heretik odsúdený, jeho spisy boli spálené a sám bol z Córdoby vypovedaný.

Európske univerzity vznikali z pôvodných katedrálnych a kláštorných škôl, na ktorých sa predvážne pestovala novoplatónska filozofia. Averroesove komentáre neboli zlučiteľné s kresťanskou filozofiou. Averroes pripúšťal nekonečný vesmír a hovoril o všeludskom rozume. O zosúladenie Aristotelovej filozofie s kresťanskou filozofiou sa postaral filozof a teológ Tomáš Akvinský (1225–1274) [11]. Jeho filozofia bola vrcholom scholastiky [12]; ešte v dobe Galilea Galileiho (1564–1642) a Isaaca Newtona (1642–1727) bola vedúcim a cirkevne schváleným filozofickým smerom so všetkými dôsledkami, ku kto-

rým patrili aj konflikty medzi scholastickým myslením a novými vedeckými myšlienkami.

Štúdiom prác Platóna (427–348 pr. n. l.) a Aristotela (384–322 pr. n. l.) sa uplatňoval vplyv gréckej filozofie na prírodnú filozofiu pestovanú v Paríži a v Oxforde. Platón bol vo svojej filozofii ovplyvnený Pytagorom (asi 560–480 pr. n. l.) a jeho školou, ktorí učili, že základom vzťahov reálneho sveta sú čísla. Na vstupe do Platónovej Akadémie bol nápis: „Nevstupuj, kto nepoznáš matematiku.“ Skutočné objekty sa podľa Platóna skladajú z geometricky dokonalých objektov. Preto dráhy planét musia byť kruhové. Štyri pozemské živly, z ktorých sa skladajú všetky látky na Zemi, sú vytvárané štyrmi z pravidelných mnohostenov: oheň štvorstenom, vzduch osmistenom, voda dvadsaťstenom a zem šesťstenom (kockou). Zmeny v prírode vysvetľoval Platón (v *Timaios*) preskupovaním trojuholníkov skladajúcich tieto mnohosteny. Stenu kocky pokladal za zloženú z dvoch rovnoramenných pravoúhlych trojuholníkov. Piaty pravidelný mnohosten – dvanásťsten, ktorého steny sú pravidelné päťuholníky – vytvárajú nadzemský éter. Aristoteles, ktorý bol žiakom Platóna, sa odklonil od svojho učiteľa: nekládol dôraz na štruktúru sveta z pravidelných mnohostenov, ale viacej si všímal kvalitatívnych rozdielov a zmien na telesách skladajúcich sa z matérie a formy.

Aristotelova vedecká argumentácia vyžadovala pre svoju zložitú vhodnú systematizáciu, ktorou sa stala jeho logika [13]. Aristotelovo dielo *Druhé analytiky* [14] môžeme charakterizovať ako Aristotelovu teóriu vedy. V Aristotelovej vedeckej argumentácii treba príčiny javov vysvetľovať indukčnou cestou pomocou logických argumentov. Matematické argumenty majú absolútnu presvedčivosť. Zhruba možno povedať, že logická štruktúra Aristotelovej teórie vedy sa zachovala aj v dnešnom vedeckom myslení, hoci v nej niet zmienky o fyzikálnom experimente.

3. K začiatkom európskych univerzít

Koncom 11. storočia existovali v kresťanskej Európe iba katedrálne a kláštorné školy [15]. Čulé styky s mohamedánskymi učilišťami v Córdobe a v Seville vyvolali zvýšené požiadavky na logiku a systematiku učiva. V tom vynikali v 12. storočí najmä parížske školy, v ktorých sa okolo r. 1150 začali vytvárať samostatné združenia učiteľov a žiakov (pod názvom *universitas magistrorum et scholarum*). Týmto združeniam („univerzitám“) sa udeľovali kráľovské a neskôr aj pápežské privilégia (napr. r. 1208 od pápeža Inocenta III. a r. 1231 od pápeža Gregora IX.), ktoré im dávali štatút vysokých škôl (tzv. *studium generale*) podľa vzoru už jestvujúcich podobných učilišť, ako bola právnická škola v Bologni a lekárska škola v Salerne. Pre všetky tieto učilišťa sa neskôr zaužívalo pomenovanie univerzita.

R. 1167 odvolal anglický kráľ Henrich II. učiteľov a žiakov z Paríža do Oxfordu, kde si založili vlastnú univerzitu. Obe univerzity boli v rukách rehoľníkov, najmä dominikánov a františkánov. Zatiaľ čo sa spočiatku v Paríži kládol dôraz na teologické disciplíny, v Oxforde sa venovala väčšia pozornosť prírodnej filozofii.

Na parížskej univerzite, ktorej sa neskôr dostalo meno Sorbonna, boli štyri fakulty: teologická, právnická, lekárska a fakulta artistická, ktorá mala nižšie postavenie.

Prijatie na vyššie fakulty bolo podmienené absolvovaním artistickej fakulty. Učilo sa na nej trivium (gramatika, rétorika a dialektika) a kvadrívium (aritmetika, geometria, astronómia a hudba). Univerzita udeľovala akademické tituly, najvyšší bol doktorát. Do matematických prednášok zaradovali aj astronómiu, optiku a mechanické stroje.

Základy pre štúdium prírodnej filozofie v Oxforde položil františkán Robert Grosseteste (1168–1253). Narodil sa v Lincolne, v hlavnom meste toho kraja, v ktorom sa o 474 rokov neskôr narodil Isaac Newton. R. 1214 sa Grosseteste stal kancelárom univerzity a od r. 1215 bol biskupom v Lincolne [15].

Grosseteste prevzal Aristotelovu koncepciu logiky a vedy. Okrem toho bol pod vplyvom novoplatónskej filozofie. Z jeho prírodofilozofických prác možno uviesť: *O priamkach, uhloch a obrazoch* (geometrických), *O dúhe*, *O svetle*, *O sfére* (vesmíre), *O pohybe telies a svetle*, *O vzniku hviezd*, *O kométach a ich príčinách*. Grosseteste vychádzal nielen z Aristotelových a novoplatónskych štúdií, ale opieral sa aj o ďalšie grécke a arabské pramene. Týmito prácami založil oxfordskú školu prírodnej filozofie, ktorej najvýznamnejšími reprezentantmi boli Roger Bacon (1219–1292), William Ockham (asi 1285–1349) a Thomas Bradwardinus (1290–1349). Táto škola úzko spolupracovala s prírodnými filozofmi na Sorbonne, najmä s Jordanom Nemorariusom († 1237), Albertom Magnusom (1193–1280), Jeanom Buridanom (asi 1297–1358) a Nicolom Oresmom (asi 1323–1382), ktorí neskôr našli spolupracovníkov v Itálii a v Nemecku.

Zámerom Grossetestových štúdií bolo poukázať na použiteľnosť matematiky pri vysvetľovaní a riešení jednotlivých fyzikálnych problémov. Pre neho bola matematika nepostrádateľným nástrojom fyzikálneho opisu a fyzikálnej argumentácie. V tejto dôslednosti prekonal nielen svojich gréckych, ale aj arabských predchodcov.

4. Stredoveká matematika a fyzika

Grosseteste uvádza vo svojich komentároch k Aristotelovým *Druhým analytikám*, že všetky vedecké poznatky sa získavajú zo známych poznatkov cestou logických dôkazov alebo indukciou [15]. Vzorovým príkladom logickej argumentácie boli pre neho Euklidove *Základy geometrie*. Predmetom vedy je podľa neho hľadanie reality a pravdy, teda hľadanie princípu. Vysvetľujúce princípy dostáva fyzika od matematiky, prípadne od filozofie (v Grossetesteho terminológii od metafyziky). Veda spočíva v zistení pravdy tých vecí, ktoré sa vždy alebo aspoň veľmi často správajú rovnakým spôsobom. Toto posledné tvrdenie je základným predpokladom pre zavedenie experimentálnej metódy, čo si však naplno uvedomili až Grossetesteho žiaci. Grosseteste experimenty nerobil. Pri hľadaní príčin sa Grosseteste opieral o dva princípy: 1. princíp uniformity prírody, ktorého obsahom je, že tá istá príčina vyvoláva za tých istých okolností rovnaké účinky; 2. princíp ekonomie, ktorý hovorí, že dianie v prírode prebieha najkratšou cestou (napríklad dráha svetelného lúča je priamka). S oboma týmito myšlienkami sa stretávame aj u Newtona.

Grosseteste prevzal od Aristotela aj hierarchiu vied. Podľa nej je matematika nadvrchnou vedou fyzike. Matematik často pozná dôvod pre závery nižšej vedy, ale nepozná jednotlivé fakty, čo súvisí s abstraktným charakterom matematiky. Na úrovni dnešnej

klasifikácie vied by sme mohli povedať, že fyzika používa na vysvetľovanie fyzikálnych javov matematicky formulované teórie.

O vzťahu istej nadradenosti možno podľa Grossetesta hovoriť aj medzi fyzikou a astronómiou. Astronóm pozoruje, že Mesiac je okrúhly, ale fyzik tvrdí, že táto okrúhlosť prislúcha prírodnému objektu ([15], s. 94). Podľa toho by sme dnes mohli povedať, že astronóm (vtedajší) pozoruje jednotlivé javy, ale až fyzik si všíma skutočnosti, ktoré sa za týmito javmi skrývajú. Ptolemaios si napríklad všímal kruhové dráhy planét s ich excentrami, epicyklami a deferentmi, ale nezaujímal sa o fyzikálne vlastnosti ich nositeľov. Keď Aristoteles hovorí o nebeských telesách a sférach, hovorí ako fyzik. Grosseteste si bol vedomý toho, že Aristotelov obraz nebeských sfér nemožno zosúladiť s množstvom epicyklov Ptolemaiovho modelu. Podľa toho by sme dnes mohli povedať, že Kopernik (1473–1543) upravil Ptolemaiov model, kdežto Kepler (1571–1630) zaujal ku Kopernikovej sústave „fyzikálny“ postoj.

Podľa Grossetesta sa svetelný lúč skladá z priamky a zo žiarenia ([15, s. 94]). Môžeme mu teda pripisovať aj geometrické, aj fyzikálne vlastnosti. Odraz svetla vysvetľuje Grosseteste regeneráciou lúča v mieste dopadu. Pretože cesta regenerovaného lúča musí byť podobná ceste dopadajúceho lúča, regenerácia sa robí pod uhlom rovným uhlu dopadu. Túto fyzikálnu argumentáciu opisuje Grosseteste geometricky a tým prechádza od fyzikálneho argumentu ku geometrickému, ktorý použije ako princíp aj v ďalších úvahách so zrkadlami. Tento geometrický argument však nevysvetľuje príčinu odrazu svetla, iba odraz správne opisuje. Takýto prístup je typický aj pre Newtonov gravitačný zákon. Newton vo svojich *Princípiách* tvrdí, že jeho gravitačný zákon matematicky správne opisuje astronomické pozorovania, ale keď má vysvetliť jeho príčinu hovorí: „Hypotézy nevymýšľam.“

Grossetestov výklad vzniku vesmíru je v jadre novoplatónsky, aj keď obsahuje prvky aristotelovské a scholastické. Podľa neho boli najprv stvorené beztvárna prvotná hmota a prvotné nevnímateľné svetlo (lux). Prvotná hmota nemala žiadne vlastnosti, lebo nebolo ani priestoru ani času. Táto predstava zodpovedá Platónovmu líčeniu počiatočného chaosu. Prvotné svetlo malo vlastnosť spontánneho sebamnoženia. Sebamnožením sa začalo rozširovať a tak vytvárať čas a priestor. Čas a priestor zdieľalo prvotnej hmoty, ktorá tým získala pozorovateľné vlastnosti a stala sa hmotou bežných fyzikálnych vlastností. Tomuto procesu by v Platónovej predstave zodpovedal vznik poriadku z chaosu. V určitom okamihu dosiahla táto druhotná hmota tvar gule, čím vznikla podľa Grossetesta prvá (vonkajšia) sféra Aristotelovho guľového vesmíru. Táto sféra začala vyžarovať do svojho vnútra druhotné svetlo, ktoré už bolo viditeľné (lumen) a vytvárať druhú sféru Aristotelovho vesmíru. Takto vznikli aj ďalšie sféry ([15], s. 104): sféra stálic, päť sfér planét, sféra Slnka, Mesiaca a nakoniec štyri sublunárne sféry Zeme: horná sféra ohňa, pod ňou sféra vzduchu, ďalej sféra vody a nakoniec najťažšia sféra – sféra tuhej zeme. Tento obraz vzniku vesmíru nám trochu pripomína dnešnú fyzikálnu predstavu vzniku vesmíru veľkým výbuchom (big bangom), v ktorom sa pôvodné žiarenie kondenzuje v chemické prvky a tie v nebeské telesá. Lenže Grossetestov výklad nemá fyzikálne opodstatnenie.

Grossetestov výklad vzniku vesmíru pomocou žiarenia súvisel so zvýšeným záujmom Grossetesta a jeho školy o optiku. Optika vyžadovala geometriu, a preto sa už na začiat-

ku európskeho fyzikálneho myslenia venuje mimoriadna pozornosť syntéze geometrie a optiky, s ktorou sa stretávame už u Euklida a Ptolemaia a ktorá neskôr vyvrcholila v Newtonových *Princípiách* a v jeho *Optike*.

Grosseteste a jeho oxfordská škola odvodzovali aj pohyb od pôsobenia prvotného svetla (lux) na prvotnú hmotu. Táto predstava má svoj pôvod v novoplatonizme, v jeho predstave emanácie (vyžarovania). S podobnou predstavou pohybu sa stretávame neskôr u Keplera pri výklade pohybu planét pomocou zvláštnych lúčov vychádzajúcich zo Slnka, ktorým pripisoval „magnetické“ vlastnosti. Túto predstavu nahradil neskôr Newton pôsobením gravitácie.

Na základe vlastného štúdia dospel Grosseteste ku konštatovaniu, že racionálne vysvetlenie sveta skúsenosti, empirie, možno podať iba prostredníctvom matematiky. Podľa neho musia byť všetky príčiny prírodných javov zdôvodňované pomocou čiar, uhlov a obrazcov ([3], s. 313). Tento Grossetestov postoj nemá obdobu u Aristotela a je blízky Platónovmu. Aristoteles sa zaujímal predovšetkým o kvalitatívne vlastnosti jednotlivých prírodných objektov a nestretávame sa u neho s matematickými modelmi skutočnosti. Nezaoberal sa ani fyzikálnymi experimentmi ako reprezentantmi fyzikálnej zákonitosti. Aristoteles chápal skutočnosť skôr očami biológa než dnešného fyzika. Preto v stredovekej fyzike možno hovoriť o podstatnom pokroku vo fyzikálnom myslení v porovnaní s Aristotelovou fyzikou, ktoré sa zakladalo na novom význame matematiky vo fyzikálnom opise sveta.

5. Oxfordská a parížska škola

K prvým známejším reprezentantom oxfordskej školy prírodnej filozofie patrí spomínaný Roger Bacon, ktorý študoval a pôsobil v Oxforde aj v Paríži. Proti abstraktným úvahám a špekuláciám scholastických vedcov zdôrazňoval význam skúsenosti vo vedec-kom poznaní. Jeho experimentálne práce sa týkajú hlavne optiky [16] a nadväzuje v nich najmä na Alhazenove experimenty.

William Ockham, ktorý pôsobil v Oxforde, je známejší ako filozof, stúpenec nominalizmu, neuznáva existenciu všeobecných pojmov a tým zdôrazňuje konkrétne vlastnosti jednotlivých objektov ([15], s. 169). Podľa neho skúsenosťou poznávame iba následnosti pozorovaných javov a v tomto slede jednotlivých udalostí nemôžeme zisťovať ich príčiny. Pohyb je iba sled jednotlivých udalostí, pri ktorom sa mení priestorový vzťah telesa k iným telesám. Nemá reálne zdôvodnenie mimo samého pohybujúceho sa telesa. Ockham odmieta Aristotelovu predstavu udržiavania pohybu letiacej strely pôsobením okolného prostredia, ale aj predstavu Buridanovho impetusu, o ktorej ešte bude reč ([2], s. 59). S podobným prístupom k pohybu sa stretávame aj u Galileiho, ktorý opisuje časový priebeh pohybov a geometrický tvar ich dráhy, ale neskúma ich príčiny.

Matematickým opisom priebehu pohybu sa začal prvý zaoberať Thomas Bradwardinus, zakladateľ vedeckej školy v Merton College v Oxforde [3]. Keďže bol – tak ako Grosseteste – presvedčený, že všetky príčiny prírodných dejov musia byť vyjadrené matematicky (t. j. pomocou čiar, uhlov a obrazcov), položil si otázku ako možno vyjadriť zmenu kvality alebo kvantity matematicky. Jeho najvýznamnejším dielom je

Traktát o pomeroch (Tractatus proportionum) z r. 1328, v ktorom píše o porovnávaní veličín (kvantít), ich meraní a počítaní s nameranými výsledkami. Pri vyšetrowaní zmien používal pojem funkcie. Hodnoty funkcie označoval písmenami abecedy a nie číslicami a operácie s nimi vypisoval slovne a nie pomocou matematických symbolov, čím jasne odlišil počítanie s kvantitami od matematických výpočtov s číslicami.

Osobitnú pozornosť venoval Bradwardinus rýchlosti pohybu ([3], s. 385), ktorá je podľa Aristotela priamo úmerná pôsobiacej sile a nepriamo úmerná odporu prostredia. Podľa Aristotela by už najmenšia sila musela vyvolať pohyb, čo odporuje každodennej skúsenosti. Bradwardinus preto hľadal vhodnejší tvar závislosti rýchlosti v na pôsobiacej sile P a na odpore prostredia R . Špekulatívnou cestou došiel k záveru, že túto závislosť možno vyjadriť funkciou, ktorá by v dnešnom prepise mala tvar $v = \log(P/R)$ [17]. Bradwardinus nebol experimentátorom a nesprávnosť tohto vzorca nepremeriaval. Nastolil však nový problém, problém rýchlosti. Napríklad jeden z jeho nasledovníkov v Itálii, Giovanni Marliani, robil v 15. storočí experimenty s kyvadlami aj so spúšťaním guľ po naklonenej rovine ([15], s. 180), experimenty, ktoré urobili o dvesto rokov Galileiho takým slávnym. Marlianiho úvahy sú však plné nevedeckých protirečení, ktoré problém iba skomolili, takže pre vedu neznamenali žiadny prínos.

Bradwardinov vrstovník John of Dumbleton začal používať grafickú metódu skúmania zmien kvalít, ktorú neskôr v Paríži zdokonalil Nicolas Oresme. Z hľadiska ďalšieho vývoja fyzikálneho myslenia stojí za zmienku Oresmova veta o „strednom bode“, ktorá na základe závislosti rýchlosti od času porovnáva pomocou diagramu pohyb rovnomerný s pohybom rovnomerne zrýchleným. Oresmov diagram znázorňuje závislosť rýchlosti pohybu od času. Táto závislosť má pre rovnomerný pohyb priebeh priamky rovnobežný s osou času, pre pohyb rovnomerne zrýchlený priebeh stúpajúcej priamky. Oresme vedel, že plošný element v jeho diagrame má význam dráhy ako súčinu rýchlosti a času. Jeho vetu o strednom bode môžeme vysloviť takto: Teleso prejde v danom čase pohybom rovnomerne zrýchleným tú istú dráhu, ktorú prejde v tom istom čase teleso pohybujúce sa rovnomerne rýchlosťou rovnou rýchlosti prvého telesa v strednom bode jeho dráhy. Dôkaz urobil geometricky na základe rovnosti príslušných plôch. Tú istú myšlienku použil neskôr Galilei pri dôkaze vety, že dráha pri voľnom páde je kvadratickou funkciou času ([2], s. 60), [18]. Oresme pripúšťal možnosť otáčenia sa Zeme, lebo z hľadiska relativnosti pohybov nič nedokazuje, že by sa sféra stálic musela otáčať.

Prvým veľkým filozofom, ktorý sa na parížskej univerzite na základe Aristotelových spisov zaoberal prírodnou filozofiou, bol Albertus Magnus, ktorý študoval v Padove a v Bologni v Itálii a v r. 1245 – 1260 pôsobil v Paríži. Venoval sa najmä zoológii, alchýmii a astronómii. Poznal Grossetestove práce a odmietol jeho výklad vzniku vesmíru, podľa ktorého prvou príčinou pohybu bolo svetlo.

Jordanus Nemorarius ([3], s. 377, [19], s. 16), ktorý pôsobil na Sorbonne, patrila k najvýznamnejším mechanikom a matematikom svojej doby. Správne určil podmienky rovnováhy na páke i na naklonenej rovine, čím pripravil pôdu Galileiho predchodcom [20] pri riešení najmä statických problémov.

Aristotelovu dynamiku najprenikavejšie kritizoval Jean Buridan, ktorý bol r. 1327 rektorom parížskej univerzity. Vo svojich komentároch k Aristotelovi odmietol jeho predstavu, že letiaca strela sa po vymrštení udržuje v pohybe iba pôsobením okolného

prostredia. Tvrdil, že prostredie sa uplatňuje iba odporom proti pohybu, a nie jeho podporovaním. Podľa Buridana sa strela udržuje v pohybe náporom, ktorý dostala od vrhača v okamihu vymrštenia. Tento nápor, ktorý Buridan nazýva impetus, „zápasí“ počas pohybu s odporom prostredia, kým ho tento odpor nepremôže. Impetus pritom stratí účinnosť a strela padne na zem [21]. S podobnými myšlienkami o vrhu telesa sa stretávame aj u arabov Ibn Sinu a al-Baghdádiho. Niektorí historici vidia v Buridanovom impetuse prvé náznaky zotrvačnej sily, ktorú po prvý raz experimentálne pozoroval Galilei.

Na základe zovšeobecnenia Galileiho experimentov vyslovil neskôr filozof René Descartes (1596–1650) princíp zotrvačnosti v tej forme, v ktorej ho Isaac Newton urobil prvým zákonom svojej mechaniky a v ktorej sa s ním stretávame aj v dnešných učebniciach fyziky. Druhým pozoruhodným konštatovaním J. Buridana je „zápas“ impetusu s odporom prostredia, v ktorom je skrytá myšlienka skladania síl. Buridan, ako aj neskôr Leonardo da Vinci, ba ani Descartes neuvažovali pri skladaní síl úlohu smeru sily, a preto robili chyby. Až Newton správnym vektorovým skladaním sily zotrvačnosti a sily dostredivej mohol úspešne vykonať dôkaz svojho gravitačného zákona.

6. Záver

Uvedené ukážky fyzikálneho myslenia v stredoveku dokazujú, že fyzika v trinástom a štrnástom storočí prežívala veľký rozmach. Už vtedy bola pripravená pôda pre dozrievanie novej epochy fyziky, fyziky Galileiho a Newtona. Začalo sa so systematickým používaním matematiky vo fyzike a začala sa aplikovať aj experimentálna metóda; začalo sa s riešením kinematických a štatických problémov. Kritika Aristotelovej dynamiky pripravovala postupne cestu k Newtonovým pohybovým rovniciam. Pokračovalo sa v štúdiu optických javov. Úvahy o pohybe Zeme pripravovali cestu pre Kopernika.

Nedotknuté však zostali aristotelovské predstavy o sférickej štruktúre vesmíru, v ktorej pre pozemské sféry platia iné zákony ako pre sféry nebeské. Preto sa nedalo hovoriť o fyzikálnej jednote sveta. Zato boli v prúde matematické riešenia fyzikálnych problémov, najmä v optike a v mechanike. Úloha matematiky pri riešení fyzikálnych problémov bola skôr preceňovaná ako nedocenená. Experimentálna kontrola matematických výpočtov bola veľmi nedôsledná. Mnoho cenných výsledkov sa však získalo v „čistej“ matematike.

Fyzika a matematika boli na stredovekých univerzitách iba podružnými predmetmi. Pestovali sa najmä na základe komentárov k starším gréckym a arabským autoritám. Univerzitné študijné programy boli odtrhnuté od praktických potrieb spoločenského, najmä technického života. Preto v pätnástom storočí pozorujeme v ďalšom vývoji fyziky istú stagnáciu. Až doba renesancie so svojimi zvýšenými nárokmi na výrobu a obchod priniesla isté oživenie. Známe sú napríklad zo šestnásteho storočia veľkorysé technické projekty Leonarda da Vinciho (1452–1519) [23], ktoré však neboli realizovateľné. Boli to práce, ktoré nesúviseli priamo s univerzitným štúdiom. Oživenie záujmu o fyziku prinieslo v dobe renesancie aj zakladanie učených spoločností, ktoré boli spravidla v opozícii proti univerzitám.

Prelom vo fyzikálnom obraze sveta sa začína Kopernikovou svetovou sústavou (1543), pokračuje Keplerovými zákonmi (1609), filozoficky sa motivoval Descartom (1644). Rýchly spád dostáva Galileiho systematickým experimentovaním (1632) a vrcholí Newtonovými *Matematickými základmi prírodnej filozofie* (1687) [1], [25]. Popri nich dnes už zabúdame na neodškriepiteľný prínos stredovekého fyzikálneho myslenia.

Literatúra

- [1] STARÍČEK I.: *Mechanika Newtonových Principii*. PMFA 32 (1987), 113.
- [2] STARÍČEK I.: *Prednewtonovská mechanika*. PMFA 32 (1987), 57
- [3] JUŠKEVIČ: *Dějiny matematiky ve středověku*. Academia, Praha 1977, str. 179.
- [4] SUTER H.: *Geschichte der mathematischen Wissenschaften. I. Teil*. Füssli, Zürich 1873.
- [5] STROHMAIER G.: *Denken im Reich der Kalifen*. Unia Verlag, Leipzig 1979.
- [6] ROŽANSKAJA M.: *Mechanika na srednevekovom vostoce*. Nauka, Moskva 1976.
- [7] AL-CHÁZINÍ: *Kniga vesov mudrosti*. In: *Naučnoe nasledstvo Tom šestoj. Iz istorii fizikomatematičeskich nauk na srednevekovom vostoce*. Nauka, Moskva 1983. str. 15.
- [8] Pozri [7], str. 141.
- [9] Pozri [6], str. 105.
- [10] SAMBURSKY S.: *Conceptual Developments and Modes of Explanation in later Greek Scientific Thought*. In: *Scientific Change*. Historical Studies ... Ed. CROMBIE A. Heinemann, London 1963. str. 61.
- [11] ČECHÁK V. a kol.: *Co víte o starověké a středověké filozofii*. Horizont, Praha 1983, str. 193, 259.
- [12] KUZNECOV B.: *Istoria filozofii dlja fizikov i matematikov*. Nauka, Moskva 1974, str. 156.
- [13] ARISTOTELES: *První analytiky*. ČSAV, Praha 1971.
- [14] ARISTOTELES: *Druhé analytiky*. ČSAV, Praha 1972.
- [15] CROMBIE A.: *Robert Grosseteste and the origins of experimental science 1100—1700*. Clarendon Press, Oxford 1962.
- [16] MALÍŠEK V.: *Co víte o dějinách fyziky*. Horizont, Praha 1986, str. 23.
- [17] SIMONYI K.: *A fizika kultúrtörténete*. II. vydanie. Gondolat kiadó, Budapest 1981, str. 125.
- [18] ZAJAC R., CHRAPAN J.: *Dejiny fyziky*. Skriptá MFF UK Bratislava 1986, str. 23.
- [19] SHIMANK H.: *Epochen der Naturforschung*. VDB, Berlin 1930.
- [20] STARÍČEK I.: *Dejiny mechaniky do polovice XIX. storočia*. II. Zborník letnej školy dejín fyziky. VVTŠ, Liptovský Mikuláš 1965, str. 58.
- [21] DUGAS R.: *A history of mechanics*. Griffon, Neuchâtel, 1955, str. 49.
- [22] STARÍČEK I.: *Newtonova prírodná filozofia a dnešná fyzika*. V. Zborník letnej školy fyziky. VVTŠ, Liptovský Mikuláš 1968.
- [23] DJAGILEV F.: *Iz istorii fiziki i žizni jej tvorcov*. Prosveščenie, Moskva 1986, str. 18.
- [24] SOKOLOV V.: *Evropejskaja filozofia XV—XVII vekov*. Vyššaja škola, Moskva 1984.
- [25] STARÍČEK I.: *Model a skutočnosť u Newtona*. Čs. čas. fyz. A37 (1987), 614.