

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Vladimír Vanýsek

A. S. Eddington a astrofyzika našeho století

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 27 (1982), No. 6, 308--317

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138150>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1982

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*.



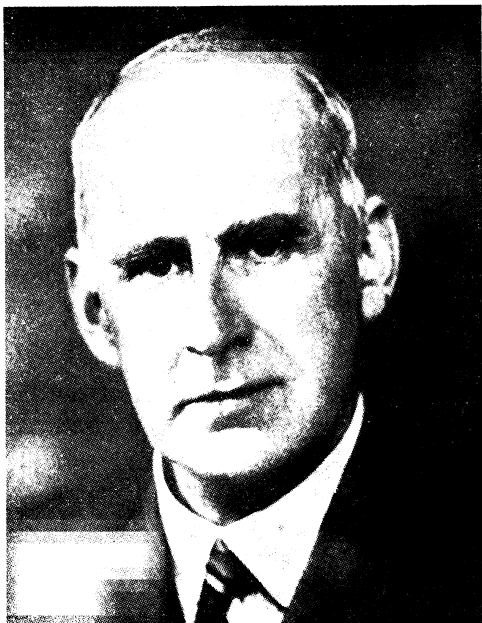
This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

A. S. Eddington a astrofyzika našeho století

Vladimír Vanýsek, Praha

Za jeden z perspektivních směrů současného základního výzkumu ve fyzice je považována astrofyzika. K tomuto postavení se mladší odnož astronomie probojovala pozvolna, ale jistě již od počátku našeho století, kdy K. Schwarzschild položil základy k teorii hvězdných atmosfér, a E. Hertzsprung našel závislost mezi typem spektra hvězd a jejich zářivostí.

Rozvoj astrofyziky ve dvacátých a třicátých letech však nejvíce ovlivnil A. S. Eddington, od jehož narození uplyne koncem roku 1982 sto let. Jeho přínos k poznatkům o vnitřní stavbě hvězd, hvězdných atmosfér a kosmologických aspektech obecné relativity je natolik výrazný, že první polovinu dvacátého století je možno v dějinách astrofyziky bez nadsázky označit jako éru Eddingtonovu.



Arthur Stanley Eddington se narodil 28. 12. 1882 v Kendalu v severní Anglii. Oba rodiče pocházeli z rodin s kvakerskou tradicí. Otec Arthur Henry Eddington, řídící učitel soukromé školy v Kendalu, záhy zemřel. Ovdovělá matka s dvouletým synem Arthurem a šestiletou dcerkou Winifred se odstěhovala k příbuzným do Weston super Mare pod Bristolem. Malý Arthur projevil záhy značné nadání v matematice a zájem o přírodní vědy. V šestnácti letech byl přijat na Owen's College v Manchesteru (z této koleje vznikla koncem 19. století univerzita). Jeho zájem o astronomii s astrofyzikálními aspekty byl podněten jeho profesorem fyziky Arthurem Schusterem. Schuster (1851 až 1934) byl nejen dobrým fyzikem, ale i aktivním astronomem. Rodák z Frankfurtu n. M. se po studiích v Heidelbergu natrvalo usídlil v Anglii. V roce 1875 se účastnil britské expedice za zatměním Slunce do Siamu a 1882 do Egypta. Pracoval v Cavendishových laboratořích u Maxwella a Rayleigha a potom v r. 1881 získal profesuru v Manchesteru. Jeho příspěvek k interpretaci hvězdných spekter (přesněji řečeno – slunečního spektra) je tak významný, že při elementárním výkladu vzniku hvězdných spektrálních čar se ještě dnes někdy užívá tzv. Schusterova-Schwarzschildova modelu pro jeho názornost. Na jeho paměť nové budovy fyzikálních kateder Viktoriiny univerzity v Manchesteru nesou název Schuster Laboratory.

Eddington se Schusterem zřejmě velmi intenzívně diskutovali o velmi různorodých otázkách astronomie, jak o tom svědčí poznámka v Eddingtonově knize o hvězdných pohybech a struktuře vesmíru z roku 1914 [1].

V roce 1902 odchází Eddington do Cambridge na Trinity College, kolej s velkou matematickou a fyzikální tradicí; působil zde například I. Newton a studoval J. C. Maxwell. Zde pod vedením R. A. Hermana studuje matematiku a již v roce 1904 úspěšně zvládá předepsané zkoušky (tripos), ve kterých obstál první v pořadí (Senior Wrangler). Bylo to vůbec poprvé, kdy student dosáhl tohoto ohodnocení po dvouletém studiu. O jeho nadání v matematice svědčí i to, že získává Smithovu cenu*). Po dalším pobytu na Trinity College se stává jejím členem 1905 a vyučuje zde základy matematiky. V roce 1906 Cambridge opouští a přijímá místo na Královské observatoři v Greenwichi, kde ve funkci Chief Asistent (tj. asi jako dnes u nás vedoucí vědecký pracovník) působil až do roku 1913.

Roku 1912 se úmrtím George Howarda Darwina (1845–1912, syn Ch. Darwina) uvolnila profesura astronomie v Cambridge a Eddington se o ni uchází. Na podzim roku 1913 se vrací do Cambridge jako Plumian Professor of Astronomy and Practical Philosophy, jak zní oficiální označení této profesorské stolice. V následujícím roce, tedy 1914, je jmenován ředitelem univerzitní observatoře. V Cambridge působí až do své smrti.

Již ve svých 32 letech se stává členem Royal Society, a během života se mu dostává řady poct. Nejvýznamnější jsou Poutécoulautova cena francouzské Akademie věd (1918) a zlatá medaile Královské astronomické společnosti v Londýně (1924), jejímž předsedou byl v letech 1921–1923. V roce 1930 je povýšen do rytířského stavu. V roce 1938 byl zvolen prezidentem Mezinárodní astronomické unie (IAU).

Podle vzpomínek přátel byl Eddington klidné povahy se smyslem pro suchý humor. Dokázal vtípkovat i sám o sobě. Neliboval si v okázalostech, jak o tom svědčí jedna z historek. Na sjezdu IAU roku 1938 ve Stockholmu byl nucen – jak to tehdejší velmi formální společenská etiketa vyžadovala – dostavit se na banket ve večerním úboru se všemi řády. Když se delegáti shromáždili v hale hotelu, Eddington dlouho otálel odložit mírně obnošený plášť upnutý až ke krku, který skrýval jedno z vysokých britských vyznamenání Order of Merit. Nikdy se neoženil. Málokdy opouštěl dům na pozemku univerzitní observatoře, kde žil obklopen péčí své matky a sestry. Zdá se, že ani s administrativou observatoře se příliš nevzrušoval – ostatně na anglických univerzitách se byrokracie nikdy příliš neuplatňovala. Někteří pamětníci tvrdí, že řadu úředních písemností vyřizoval velmi stručně vlastnoručně psanými dopisy.

Na podzim roku 1944 se u něho projevil příznak zákeřné choroby, jejíž závažnost si ani neuvědomoval, a které podlehl 21. listopadu téhož roku. Na jeho paměť je Královskou astronomickou společností udělována Eddingtonova medaile. První, kdo jí byl vyznamenán, byl G. Lemaître, známý svými pracemi v kosmologii.

*) Je to cena založená na paměť ROBERTA SMITHA (1689–1768, Plum. prof. mat. na Trinity Coll. 1716–1768). Je udělována absolventům Cambridge za nejlepší řešení zadaných problémů. Tuto cenu např. získal J. C. Maxwell.

Eddington byl především astrofyzikem a fyzikem, v jeho díle jsou však práce, zejména z pozdějšího období jeho života, zasahující do oblasti filozofie [3] [4] [5]. Jeho názory nevycházejí z materialistického pojetí světa. To nijak nepřekvapuje, neboť Eddington vyrůstal sice ve skromných poměrech, ale jako příslušník vyšších sociálních vrstev v pozdním období viktoriánské Anglie, kdy britské impérium bylo na politickém a ekonomickém vrcholu. Jeho postoje ke společenským a světonázorovým otázkám byly formovány nejen kvakerskou tradicí rodiny, ale i prostředím anglických univerzit. V něm prožil prakticky celý svůj život, ušetřen hrůz první i druhé světové války a běžných starostí každodenního života. Jeho filozofické názory byly oprávněně kritizovány nejen marxistickými, ale i nemarxistickými filozofy. Kritikové však velmi často zcela neoprávněně předpokládají, že Eddingtonovy filozofické názory se bezprostředně promítají v jeho metodickém postupu řešení jednotlivých problémů, ale Eddington filozof má jen málo společného s Eddingtonem astronomem a fyzikem. Z tohoto hlediska nutno hodnotit jeho dílo.

Observační astronomie, kinematika a dynamika hvězdných systémů

Eddington byl především teoretikem, ale v jeho vědecké činnosti, kterou možno rozdělit na několik časově se prolínajících etap, se projevují i jeho schopnosti observátora. Je to období do roku 1920, kdy se věnuje též observační astronomii. Je velmi málo známo, že jeden z prvních fotografických zenitteleskopů nejen v Greenwichi, ale na světě vůbec, přístroj k měření rotace Země a kolísání pólů – byl úspěšně uveden do provozu teprve jeho zásluhou. Metoda, kterou pro tento přístroj vypracoval, byla zde používána po třicet let až do začátku druhé světové války. Po návratu do Cambridge se observační astronomii věnuje v období první světové války, kdy dokončuje poziční katalog rovníkových hvězd. V roce 1919–1920 společně s Frankem Dysonem a E. Davidsonem proměřením snímků hvězdného pole v blízkosti Slunce, pořízených při zatmění v květnu 1919, dokazuje ohyb světla v gravitačním poli [2]. Že toto pozorování bylo jedním z rozhodujících důkazů platnosti teorie obecné relativity, je všeobecně známo, avšak ve vědecké činnosti Eddingtonově to byla jen krátká epizoda. Nicméně okolnost, že si obecnou relativitu ověřil jaksi „hmatatelně“ nepochybně ovlivnila jeho neutuchající zájem o tuto disciplínu.

V počátečním období v Cambridgi po roce 1913 se zabývá nejdříve rekapitulací prací, které publikoval během svého působení v Greenwichi. Jde především o interpretaci pohybů hvězd z hlediska tzv. Kapteynových dvou proudů (tehdy ještě nebylo nic známo o rotaci Galaxie) a o prostorovém rozložení hvězd různých spektrálních typů. Správně hodnotí efekt dvou proudů hvězd jako zdánlivý jev nevhodný k popisu reálných pohybů hvězd v prostoru. Eddington dosavadní výsledky shrnuje v první své knižní publikaci z roku 1914 výše citované. Druhá část názvu tohoto díla (... *and Structure of the Universe*) je z dnešního hlediska nepřipadná. Nutno však vzít v úvahu, že pojem Mléčné dráhy, tj. Galaxie, jako systému hvězd, byl v té době dost nejasný a dovoľoval

ztotožnění s pozorovatelným vesmírem. Není bez zajímavosti, že se Eddington zcela zřetelně vyslovuje ve prospěch myšlenky, že spirální mlhoviny jsou soustavy podobné naší Mléčné dráze, tj. Galaxii. Na základě kinematických vlastností hvězd ukázal na slabiny tehdejších představ vývoje hvězd. Ten měl probíhat podle teorie Lockyera a Russella od červených obrů k hlavní posloupnosti HR diagramu (tedy právě naopak, než tomu skutečně je) a potom podél hlavní posloupnosti k chladným hvězdám. Právě tento problém přivádí Eddingtona k otázkám vnitřní stavby hvězd.

V závěru knihy diskutuje dynamiku hvězdných systémů, ale v tomto směru byl záhy překonán pracemi J. Oorta a B. Lindblada. Nicméně jeho poznatek o stabilitě izotermického systému měl význam jak pro další práce o vnitřní stavbě hvězd, tak v kosmologii.

Vnitřní stavba hvězd

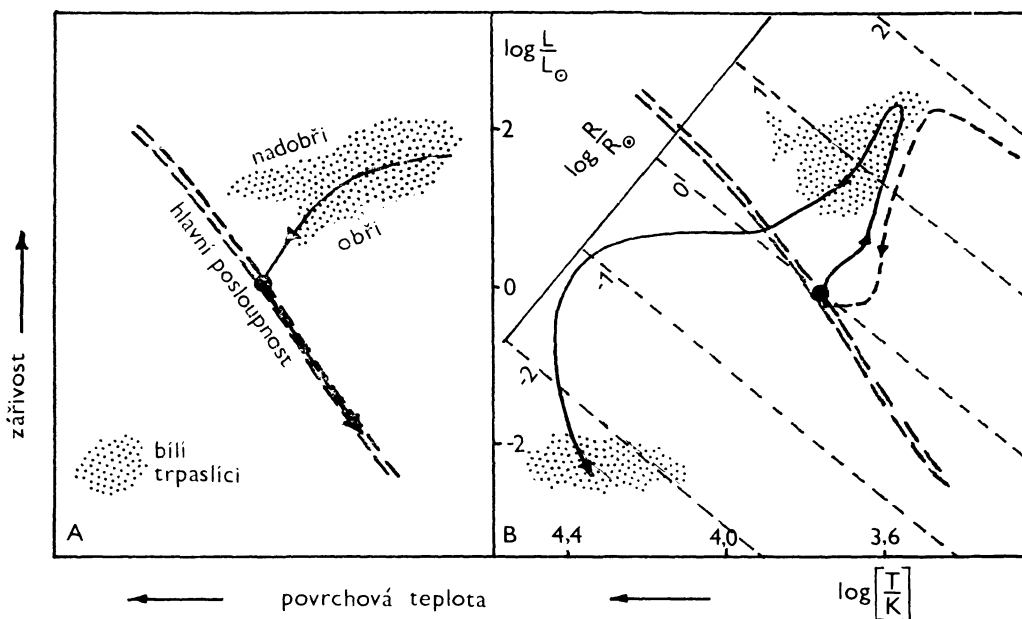
Kolem roku 1915 obrací Eddington svou pozornost k otázkám vnitřní stavby hvězd. Tehdejší představy o zdroji hvězdné energie byly založeny na Kelvinově-Helmholtzově kontrakční hypotéze. V roce 1870 H. Lane [7] teoreticky dokázal, že kolabující hvězda zvyšuje vnitřní energii na úkor energie potenciální v dostatečné míře, jen dokud hustota hvězdné látky je nízká a chová se jako dokonalý plyn. V opačném případě vzrůst vnitřní energie nestačí krýt úbytek vyzařováním a hvězda chladne. Poněvadž průměrná hustota, např. Slunce, je řádově 10^3 kg m^{-3} , soudilo se, že hvězdy začínají život jako kolabující obří a končí jako pomalu chladnoucí hvězdy podobné Slunci (viz obr. 1).

Stav v nitru hvězdy lze popsat čtyřmi základními rovnicemi vnitřní stavby hvězd, které vycházejí z předpokladu mechanické a zářivé rovnováhy. V těchto rovnicích, vedle hmotnosti M a poloměru r hvězdy, vystupuje hustota $\rho(r)$, množství energie $\epsilon(r)$ vyrobené na jednotku hmoty a opacita $\kappa(r)$ hvězdné látky. Tyto veličiny vstupují do výpočtu modelu hvězdy, jejíž zářivost $L(r)$ musí odpovídat pozorovaným zářivostem reálných hvězd.

Eddington vyšel z předpokladu, že $\kappa(r) L(r)/M(r) = \text{konst.}$ Jinými slovy řečeno součin opacity v určitém místě ve vzdálenosti r od středu hvězdy a průměrného množství energie vyrobené jednotkou hmoty uvnitř tohoto poloměru je konstantní, což současně vystihuje skutečnost, že směrem k povrchu hvězdy, v důsledku ubývajících teplot, ubývá množství vyrobené energie a přibývá opacity. Pro vztah mezi tlakem (tj. implicitně teplotou) a hustotou použil Eddington polytropních modelů plynných koulí vypočtených 1907 Emdenem [6]. Pro tyto koule platí vztah, že tlak $P = \text{konst.} \rho^k$, kde $k = 1 + n^{-1}$. Volbou n dostáváme tzv. polytropní koule třídy n . Pro adiabatické rozdělení hustoty se k rovná poměru specifických tepel. Výše naznačený model vede k polytropní třídě $n = 3$ a obvykle se označuje jako Eddingtonův model. Jiný model je tzv. bodový model, kdy veškerý zdroj energie je jen ve středu hvězdy. V té době ovšem není nic známo o zdrojích hvězdné energie. Středové teploty, které obdržel, vycházely téměř pro všechny modely více méně stejné, kolem 10^7 a 10^8 K. Eddington

soudil, že tato teplota podmiňuje nějaký vnitroatomický proces, který je zdrojem energie. Naznačuje tři možné způsoby, kterými ji hvězda získává: 1. přeměnu velmi těžkých prvků v lehké; 2. anihilaci; 3. přeměnu lehkých prvků v těžké. Kolem této otázky bylo dost sporů, neboť se zdála středová teplota poměrně nízká. Dalším problémem byla opacita hvězdné látky závisející na chemickém složení a stupni ionizace. Eddington pro její výpočet korigoval Kramerův zákon absorpce tzv. gillotinovým faktorem, který postihuje alespoň přibližně změnu absorpčního koeficientu při vysoké ionizaci.

Eddingtonovy výsledky nebyly přijímány bez výhrad. Např. Jeans tvrdil, že nelze dospět k rozumným modelům hvězd bez znalosti mechanismu zdroje hvězdné energie. Eddington proti těmto názorům argumentoval velmi jednoduchými přírovnáními. Chceme-li například vypočítat množství vody, které vodovod je schopen dodat do nějaké sítě, stačí znát výšku hladiny ve vodojemu a technická data vodovodního potrubí. Přitom nás vůbec nemusí zajímat, jak pracuje čerpadlo, které vodu do vodojemu čerpá. Je to vlastně bodový model, kdy průřez potrubí je „opacitou“.



Obr. 1. Vývojová stopa hvězdy o hmotnosti Slunce

A — Schematické znázornění diagramu teplota—zářivost hvězd (tj. upravený Hertzsprungův-Russellův diagram) s vyznačenou vývojovou stopou podle představ o vývoji hvězd kolem roku 1910. Hvězda vzniká jako červený obr a po dosažení hlavní posloupnosti klesá její zářivost i povrchová (efektivní) teplota.

B — Zjednodušená vývojová stopa hvězd o hmotnosti Slunce podle současných představ. Přerušovaná část stopy se vztahuje k relativně velmi krátkému období, kdy z protohvězdy vzniká hvězda na hlavní posloupnosti. Hvězda setrvává na hlavní posloupnosti až do doby, kdy v jejím nitru je spotřebováno asi 12% vodíku. (U Slunce asi 7×10^9 let.) Pak se přesouvá do oblasti červených obrů a pravděpodobně končí jako bílý trpaslík. V grafu znamená L zářivost (zářivost Slunce L_{\odot}), R poloměr (poloměr Slunce R_{\odot}) a efektivní teplota T .

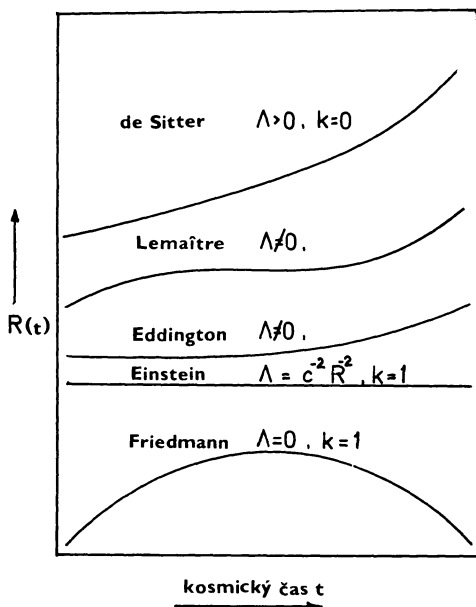
Jedním z podstatných výsledků je odvození vztahu mezi hmotností a zářivostí hvězd. Lockyerova-Russellova teorie vývoje hvězd se tím stala neudržitelná, neboť postup hvězdy podél hlavní posloupnosti k chladným hvězdám by znamenal nepřijatelně vysoký úbytek hmoty. Vztah zářivost-hmotnost byl prokázán i empiricky u dvojhvězd a pro hlavní posloupnost platí $L \sim M^3$. V roce 1926 Eddington dosavadní poznatky shrnuje v díle *The Internal Constitution of the Stars* [8], které je nesporně významným mezníkem ve vývoji astrofyziky vůbec. Je to klasický popis stavu hvězd v zářivé rovnováze. Numerické výsledky jsou ovšem z dnešního hlediska nepřijatelné, neboť zanedbávají poměr vodíku a hélia. Také okolnost, že Eddington ve výkladu poněkud přeceňuje úlohu členu vyjadřujícího tlak záření, činí celkový výklad poněkud nepřehledný. Druhé doplněné vydání této knihy, která otevřela novou etapu ve výzkumu vývoje hvězd, vyšlo o čtyři roky později. Kolem roku 1933 zjišťují nezávisle na sobě B. Strömgren a Eddington dvojnásobnost hvězdných modelů. Zářivost je silně závislá na relativním zastoupení vodíku k ostatním prvkům, ale pro modely s 1/3 H vycházely stejné zářivosti jako pro téměř čisté vodíkové hvězdy. Příčinou bylo zanedbání přítomnosti hélia. Eddington se přiklonil k názoru, že hvězdy obsahují jen 33% vodíku (dnes víme, že je to přibližně 80%).

S vnitřní stavbou hvězd souvisí i otázka pulsací, tzv. pulsujících proměnných (Cefeid). Eddingtonovou zásluhou víme, že bezprostřední příčina pulsací nemůže být v nitru hvězdy, ale poblíž povrchu. Soudil, že zde existuje jakýsi „ventil“ regulující průchod záření (tj. změnu opacity), avšak konkrétní výklad byl podán o třicet let později. Problém opacity přivádí Eddingtona k otázkám souvisejícím s kvantovou fyzikou, kterým věnuje, zejména v třicátých letech, řadu prací, ve kterých se snaží skloubit obecnou relativitu a kvantovou fyziku (viz např. [9]). Z dnešního hlediska se ovšem jeho přístup v tomto směru jeví jako zastaralý a snad i poněkud neobratný. Týká se to zejména prací z let 1926–30, kdy Eddingtonovy konkrétní znalosti z kvantové mechaniky nezahrnovaly o mnoho více než Diracovo odvození hladin vodíku. Nicméně zavedl tím kvantově mechanické přístupy do astrofyzikálních problémů. Nutno připomenout, že odvození konstanty jemné struktury souvisí přímo s jeho pracemi.

Obecná relativita a kosmologie

V roce 1916 získal Eddington prostřednictvím de Sittera z Nizozemí Einsteinovu práci o relativitě z roku 1915. Na žádost fyzikální společnosti v Londýně připravil referát o této práci, který později vyšel pod názvem *Report on the Relativity Theory*. Byla to vůbec první soubornější informace o teorii relativity v anglickém jazyce. V té době také vznikl záměr ověřit ohyb světla v gravitačním poli při slunečním zatmění, což se stalo těsně po první světové válce. Od té doby obecná relativita a s ní související otázky zaujímají stále výraznější podíl v Eddingtonových pracích. Je však mnohem obtížnější výstižně charakterizovat jeho přínos v tomto směru, než tomu je v astrofyzikální oblasti. Jde o širokou tematiku od úvodu do obecné relativity přes kosmologii a kvantovou fyziku až k otázkám filozofickým. Nesporné však je, že jeho kniha *The*

Mathematical Theory of the Relativity vydaná v roce 1922 [10] je první srozumitelně napsanou monografií o relativitě. Některé partie je možno studovat i dnes. Obsahuje mnoho původních myšlenek jako např. modifikace Weylovy geometrie. Do současné doby se např. používá souřadný systém Eddingtona-Finkelsteina v souvislosti se schwarzschildovskou metrikou, který předcházeli Kruskalovým diagramům. Eddington také do jisté míry teorii relativity i popularizoval [11].



Obr. 2. Schematické znázornění závislosti expanzního faktoru $R(t)$ na kosmickém čase t pro různé modely vesmíru, Λ značí kosmologickou konstantu. Křivost prostoru je vyjádřena parametrem k ($-1 =$ záporná křivost prostoru; $0 =$ „plochý“ prostor; $+1 =$ kladná křivost prostoru).

Kosmologické práce Eddingtonovy jsou jen logickým důsledkem jeho zájmu o relativitu. Jeho příspěvek k poznatku, že Einsteinův vesmír je nestabilní, je všeobecně znám. Sám vytváří vlastní modely vesmíru, a to po roce 1930 [12]. Tehdy se mu dostala do rukou do té doby téměř neznámá práce Lemaîtreova, který již v roce 1927 publikoval hypotézu, že expandující vesmír vznikl z jakéhosi praatomu obsahujícího veškerou hmotu vesmíru. Tím položil základy teorii velkého třesku (část upravené verze původní práce nalezne čtenář v Lemaîtreově knize z roku 1950 [13]). Lemaître předpokládá, že se vesmír po počáteční expanzi dostává do statického stavu Einsteinova vesmíru, ve kterém se formují galaxie. Po této době vesmír dále expanduje. Eddingtonova modifikace předpokládá, že vesmír začíná jako vesmír statický. Vznik galaxií je příčinou poruch vedoucích k pozdější expanzi. Určitá syntéza obou modelů (někdy označována jako model Eddingtona-Lemaîtrea) předpokládá expandující vesmír, který v konečném čase přechází na vesmír Einsteinův. Všechny tyto modely vyžadují však nenulovou hodnotu kosmologické konstanty a byly později odsunuty do pozadí především tzv. standardními modely s nulovou kosmologickou konstantou.

Fundamentální teorie

Závěrečné období Eddingtonovy vědecké činnosti, zejména od roku 1938, je charakterizováno úsilovnou snahou podat jakousi teorii, která by přemostila problémy kvantové fyziky, relativity a kosmologie. Těmito problémy se zabýval již dříve, nyní však jej zaujaly úplně. Výsledkem této činnosti je jeho *Fundamental Theory* vydaná posmrtně [14]. Je to dílo nedokončené a sporné především z hlediska filozofického. Je zřejmý autorův nematerialistický postoj k filozofickým otázkám, který hraničí do jisté míry až s mysticismem. Bylo by však chybné paušálně odsoudit veškeré výsledky z pozdního Eddingtonova období. Má některé nepochybně pozitivní stránky. Eddington byl přímo fascinován problémem smyslu základních fyzikálních konstant. Myšlenka, že číselné hodnoty fyzikálních konstant, přesněji řečeno jejich poměry, mají hlubší význam a nejsou náhodné, pochází od Diraca. Eddington byl touto myšlenkou takřka posedlý. Sám si z toho dokonce tropil žerty. Na sjezdu Mezinárodní astronomické unie ve Stockholmu v roce 1938 říkal při odkládání klobouku v šatně svým kolegům „Vždy používám věšáku číslo 137“. (Byla to narážka na to, že převratná hodnota konstanty jemné struktury je 137.) Snahy o vysvětlení hlubšího smyslu konstant nutno však chápat i jinak. Nelze pominout fakt, že např. poměr elektromagnetických sil mezi protonem a elektronem ke gravitačním silám mezi těmito částicemi a poloměrem vesmíru a klasickým poloměrem elektronu je řádově tentýž. Podobných relací lze nalézt celou řadu. (V polopopulární kosmologické literatuře se někdy označují jako Eddingtonova magická čísla.) Určitým vyvrcholením hledání těchto souvislostí je antropický princip pocházející od R. H. Dickeho a rozpracovaný v poslední době B. Carterem. Ten soudí, že kdyby se změnila hodnota konstanty jemné struktury jen o jedno procento, změnily by se zásadně zářivosti hvězd, a to tak, že by byly všechny buď mnohem teplejší, nebo mnohem chladnější, než je Slunce. Podstatně by to snížilo pravděpodobnost vzniku biologického života. Znamenalo by to, že naše existence je závislá na hodnotách fyzikálních konstant. Poněvadž existujeme, hodnoty konstant jsou právě takové, jaké jsou, a ne jiné. Ať už je antropický princip opodstatněný či nikoli, jistě zaslouží jistou pozornost. Nutno jej však zkoumat z hlediska materiální podstaty světa a v tomto smyslu je nutno i posuzovat Eddingtonovo dílo z pozdního období jeho vědecké činnosti.

Klady a záporné eddingtonovské období

V první polovině našeho století nalezneme sotva výraznější osobnost v astrofyzice, než byla osobnost Eddingtonova. Ale protože se nevracel příliš často k některým dříve studovaným problémům, které v důsledku nových objevů nabyly nové aktuálnosti, začíná se jeho skutečné postavení těsně před druhou světovou válkou měnit. Jako příklad lze připomenout vnitřní stavbu hvězd. Po objevu slabé interakce, který umožnil nalézt konkrétní termojaderné reakce ve hvězdách, nazrála doba k revizi a upřesnění teorie vnitřní stavby hvězd. Avšak Eddington je již příliš v zajetí své fundamentální teorie a další vývoj astrofyziky ovlivňuje spíše svou vědeckou autoritou než konkrétní účastí na řešení znovu nazrálých problémů. To charakterizuje jakési posteddingtonovské období,

kteře mělo jak pozitivní, tak negativní stránky. O jedné negativní stránce se zmínil nestor posteddingtonovských astrofyziků S. Chandrasekhar, který spolu s R. H. Flowerem v roce 1931 rozšířil teorii vnitřní stavby hvězd na degenerovaný stav v nitrech bílých trpaslíků. Chandrasekhar byl požádán, aby přednesl veřejnou přednášku o relativistické astrofyzice při příležitosti generálního shromáždění IAU v Montrealu 1979. V té vyslovil kritiku vztahující se k některým Eddingtonovým postojům. Například Schwarzschildova metrika byla již ve dvacátých letech zralá k tomu, aby se v třicátých letech umožnil nástup relativistické astrofyziky. Ostatně myšlenku vzniku neutronových hvězd ze supernov publikují E. Baade a F. Zwicky již v roce 1934 a práce Oppenheimerovy a Volkoffovy, publikované těsně před válkou, se staly základem teorie superhustých kosmických těles. Eddington však pro tyto směry prý neprojevoval náležitě pochopení a věnoval se v pozdějších letech tematice méně perspektivní.*) Tuto kritiku lze přijmout jen s určitými výhradami, avšak přinejmenším ukazuje, že i nepřímý vliv silné vědecké osobnosti nemusí vždy přát směrům výzkumu, které nabývají aktuálnosti. To je třeba si uvědomit především dnes, kdy vědeckou práci plánujeme a určujeme nejen, co je perspektivní, ale i co je tzv. „útlumový“ směr výzkumu. Bouřlivý rozvoj fyziky a astronomie toto „zpoždění“ velmi rychle odstranil, nicméně relativistická astrofyzika přišla ke slovu až v šedesátých a sedmdesátých letech.

Ovšem nedocenitelným a rozhodujícím Eddingtonovým příspěvkem k rozvoji vědy je, že dnes jsou astronomie a astrofyzika obory, bez nichž je rozvoj moderní fyziky nemyslitelný. Podílel se na zásadní změně přístupu fyziků k astronomickým problémům a astronomů k fyzice. Nesmíme zapomínat, že názory na postavení astronomie byly velmi dlouho pod vlivem pojetí této vědy v 19. století. Velmi silný byl tento vliv zejména v našich zemích. Vycházel z tradic rakousko-uherské astronomie, která se mnohdy redukovala na vyšší geodézii a výpočet drah planet a komet. Na pražské hvězdárně byla dokonce kombinována s geofyzikou a meteorologií.***) Tím spíše oceňujeme eddingtonovskou éru jako počátek moderního výzkumu vesmíru a rehabilitaci astronomie jako vědy obohacující poznatky o fyzikální podstatě světa.

Literatura

- [1] EDDINGTON, A. S.: *Stellar Movements and the Structure of the Universe*. Macmillan, Londýn, 1914.
- [2] EDDINGTON, A. S., DYSON, F., DAVIDSON, E.: *Royal Soc. Proc.* 220, A, 291, 1920.
- [3] EDDINGTON, A. S.: *The Nature of the Physical World*. Cambridge Univ. Press, 1928.
- [4] EDDINGTON, A. S.: *New Pathways in Science*. Cambridge Univ. Press, 1935.
- [5] EDDINGTON, A. S.: *Philosophy of the Physical Science*. Cambridge Univ. Press, 1939.

*) Tuto pasáž nutno chápat nikoli doslovně, ale jako shrnutí smyslu Chandrasekharovy poznámky. Autor tohoto článku ji stylizoval na základě vlastních poznámek z Montrealu.

**) Tento vliv je, žel, u nás patrný ještě dnes v postoji jak veřejnosti, tak jednotlivců, ba i institucí k těmto vědám. Je téměř neuvěřitelně, že ještě v letech 1951–53 bylo na Univerzitě Karlově zřízeno společné studium astronomie, geofyziky a meteorologie. Naštěstí tato kuriózní studijní kombinace zanikla dříve, než mohla napáchat vážné škody.

- [6] EMDEN, R.: *Gaskugeln*. Joh. Ambrosius Barth. Leipzig, 1907.
- [7] LANE, J. H.: *Amer. Jour. of Science and Arts* (2), 4, 57, 1870.
- [8] EDDINGTON, A. S.: *The Internal Constitution of the Stars*. Cambridge Univ. Press, 1. vyd. 1926, 2. vyd. 1930.
- [9] EDDINGTON, A. S.: *Relativity Theory of Protons and Electrons*. Cambridge Univ. Press 1936.
- [10] EDDINGTON, A. S.: *The Math. Theory of Relativity*. Cambridge Univ. Press, 1922.
- [11] EDDINGTON, A. S.: *Space, Time and Gravitation*. Cambridge Univ. Press, 1920.
- [12] EDDINGTON, A. S.: *The Expanding Universe*. Cambridge 1933.
- [13] LEMAITRE, G.: *The Primeval Atom*. Van Nostrand, Princeton, 1950.
- [14] EDDINGTON, A. S.: *Fundamental Theory*. Cambridge Univ. Press, 1946.

Max Born a vznik kvantovej mechaniky

Rudolf Zajac, Bratislava

Pred sto rokmi, 11. decembra 1882 narodil sa vo Wroclavi Max Born, ktorý prežil ako jeden z jej spolutvorcov celú históriu kvantovej fyziky: rozvoj „starej“ alebo „poloklasickej“ kvantovej teórie a vznik kvantovej mechaniky. Prvá vznikla ako nechcené dieťa klasickej elektrodynamiky a štatistickej fyziky*), druhá bola výsledkom plánuvitej prípravy jej tvorcov. Ba v prípade druhej, dieťa sa ešte nenarodilo a už bolo preň pripravené meno: kvantová mechanika. Toto pomenovanie jej dal Max Born. W. Heisenberg spomína [3], že v rokoch 1924–1925 sa na seminároch v Göttingene, ktoré viedol Max Born, už hovorilo o novej kvantovej mechanike, hoci sa ešte nevedelo, akú bude mať matematickú a fyzikálnu podobu. Názov „kvantová mechanika“ objavil sa prvý raz v nadpise Bornovho článku v časopise *Zeitschrift für Physik* 26 (1924) 379–395 [4].

Max Born bol teda akýmsi krstným otcom kvantovej mechaniky. Patril medzi tých málo fyzikov „staršej generácie“, ktorí boli pri zrode teórie relativity a starej kvantovej teórie, ale čoskoro pochopili, že neprotirečivý opis zákonitostí mikrosвета nevznikne jej zdokonaľovaním (zavádzanie eliptických dráh, relativistické korekcie), ale vybudovaním úplne novej teórie. V tejto otázke se názorove približoval Nielsovi Bohrovi,

*) Max Planck 19. októbra 1900 vylepšil Wienov zákon spektrálneho rozdelenia energie absolútne čierneho telesa [1], aby vyhovoval aj experimentálnym hodnotám, nameraným v červenej časti spektra. 14. decembra 1900 potom nekonvenčným využitím Boltzmannovej štatistiky a Maxwellovej elektrodynamiky predniesol teoretické zdôvodnenie svojho rozdeľovacieho zákona a určil dve univerzálne konštanty $k = 1,346 \cdot 10^{-16}$ erg/grad, $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ erg s [2]. (Súčasnú hodnotu Boltzmannovej a Planckovej konštanty sú $k = 1,38062 \cdot 10^{-23}$ J/K, $h = 6,62620 \cdot 10^{-34}$ Js.) Akokoľvek sám Planck považoval kvantovanie energie žiarenia vo svojom vzťahu $\epsilon = h\nu$, kde ϵ je energia a ν frekvencia žiarenia, za „neprirodzený“ zásah do fyziky, nemohol ho nijako zo svojich úvah eliminovať.