

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Zdeněk Horský
Johannes Kepler

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 16 (1971), No. 6, 281--285

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137641>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1971

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>

JOHANNES KEPLER

ZDENĚK HORSKÝ, Praha

V letošním roce vzpomíná snad celá vědecká veřejnost 400. výročí narození německého astronoma a matematika Johanna Keplera (*27. 12. 1571 ve Weil der Stadt u Stuttgartu, †15. 11. 1630 v Řezně). V českém prostředí nelze při té příležitosti opomenout, že plných dvanáct let, neplodnější období svého života, strávil Kepler v Praze, a že bez tohoto tvůrčího období, bez součinnosti s pražským vědeckým prostředím a především bez Keplerovy sice velmi krátkodobé, avšak velmi hluboce zasahující spolupráce s TYCHONEM BRAHE, by Keplerova cesta k jeho objevům byla mnohem složitější a strastiplnější.

Z dlouhé řady jmen pracovníků, kteří postupem vytvářeli základy novodobých fyzikálních a matematických věd, patří Keplerovo jméno k těm šťastným, jež není a nebude zapomenuto. Každá učebnice fyziky uvádí jmenovitě Keplerovy zákony pohybu planet, jeho jméno nese konstrukce astronomického dalekohledu, který vynalezl, jeho jménem je označována rovnice vystihující nerovnoměrný pohyb planety po dráze. Nechybělo mnoho a Keplerovým jménem by bylo možno označovat zákon lomu světla, jen o málo mu unikl tento výsledek, kde konečnou zásluhu má W. SNELL.

Již z těchto náznaků je zřejmé, kde leželo těžiště Keplerova přírodovědeckého zájmu: v astronomii, v matematice a optice. Zejména dnešní astronomie a optika uvádějí s takovou samozřejmostí Keplerovy výsledky, že jejich začlenění do soudobých znalostí a do zcela moderních kontextů se zdá zcela přirozená, jako by již od počátku Keplerovy výzkumy směřovaly k tomuto cíli, k tomuto způsobu využití.

Ve skutečnosti však se Keplerovo dílo rodilo v souvislostech značně odlišných, s účelem v řadě aspektů různým od dnešního chápání. Zdá se, že má smysl všimnout si aspoň ve zkratce této Keplerovy životní cesty; je totiž zároveň průhledem do dějin fyzikálních věd. Ukazuje se zde, jak mnoho se za necelá čtyři století od Keplerova působení v základech měnil a změnil fyzikální obraz světa. Ukáže se ovšem zároveň také, že Keplerův přínos této proměně byl jedním z nejvýznamnějších.

Když Johannes Kepler přišel jako osmnáctiletý na universitu v Tübingen s úmyslem stát se protestantským knězem, byly názory o utváření vesmíru značně neuzavřené a nejisté. Lépe by však snad bylo napsat, že neuzavřené a nejisté byly jen pro určitou, velmi nepočetnou skupinu vědců, totiž pro ty, kdo byli seznámeni s dílem MIKULÁŠE

KOPERNÍKA. Pro drtivou většinu vědců, počítaje v to i přední profesory fyziky a astronomie na tehdejších universitách, byly názory na vesmír zcela fixovány a zdály se naprosto neproblematické: zeměkoule byla nehybným středem vesmíru, kolem ní se otáčelo jednou za den celé nebe, tedy celá sféra stálic, jakož i všechny planety včetně Slunce a Měsíce, přitom ovšem planety měly mít ještě svůj zvláštní pohyb, vysvětlovaný na základě soustavy kruhů, tzv. deferentu, ekvantu a epicyklu (či více epicyklů) tak, jak to stanovil v 2. st. n. l. řecký astronom KLAUDIOS PTOLEMAIOS.

Keplerův učitel na universitě v Tübingen, astronom MICHAEL MAESTLIN, byl však dobře obeznámen s Koperníkovým heliocentrickým názorem a sympatizoval s ním. Někdy bývá tradována chybná představa, jako by Koperníkův výklad, v podstatě ovšem správný a ve vývoji astronomie zcela revoluční, byl rázem vyřešil a odstranil všechny obtíže tehdejší astronomie. Ve skutečnosti tomu tak zdaleka nebylo. Koperník (jak vložil ve svém hlavním spise *De revolutionibus orbium coelestium*, publikovaném r. 1543) správně umístil Slunce jako nehybné ve středu planetární soustavy. Zemi zařadil mezi planety, Měsíc přiřadil k Zemi jako její družici a denním a ročním pohybem Země, jakož i dlouhodobým pohybem zemské osy, vysvětlil všechny pohyby, které tehdejší astronomie připisovala celému ostatnímu vesmíru. Bylo však stále málo argumentů ve prospěch heliocentrického názoru a především zbývalo mnoho problémů, jež nebyly dořešeny: byl rozpor mezi heliocentrickým názorem, který požadoval rotační pohyb Země a její oběh kolem Slunce, a mezi tehdejší naukou o pohybu těles, jež ještě neznala princip setrvačnosti. Nehybnost Země pro ni byla nezbytným a neodmyslitelným předpokladem (tento rozpor později řešil GALILEI a jeho následovníci). Co horšího, Koperníkův systém nedosahoval vyhovující shody mezi teoreticky vypočtenými a skutečně pozorovanými pohyby planet a tento nedostatek Koperník nedostranil ani tím, že (vycházeje z předpokladu, že při výkladu pohybu planet je nutno vystačit jen s rovnoměrným kruhovým pohybem) doplnil do svého systému též prvky, které užíval již Ptolemaios: epicykly. Přesto, že takto byl heliocentrický systém velmi komplikovaný a těžkopádný (a tím i málo pravděpodobný), Koperník nedosahoval v podstatě zásadně přesnějších výpočtů skutečného pohybu planet, než jak vycházely z tehdejších geocentrických představ.

Právě na Kepleru čekal úkol řešit tento rozpor. Kepler se u Maestlina seznámil s Koperníkovým dílem a stal se záhy horlivějším zastáncem heliocentrismu než jeho učitel. Obrovský matematický talent na jedné straně a nepokryté kritické výhrady k náboženským názorům na universitě na straně druhé vyústily nakonec v to řešení, že Kepler opustil Tübingen a přijal místo profesora matematiky na stavovském protestantském gymnasiu ve Štýrském Hradci. Zde začíná vlastní svébytná Keplerova vědecká práce, zde je velmi mlád — je mu 24 let — postaven před možnost a sám vůči sobě před povinnost samostatně tvořit. Tato léta počátku vědecké dráhy jsou rozhodující pro všechen další čas; zaměření práce, které zde Kepler nastolil, se stalo pro celý jeho život závazným.

Kepler chce dokázat správnost Koperníkova názoru. Jeho východisko je od počátku jasné: věří v přesný matematický řád, který je třeba ve stavbě vesmíru

odhalit. Zdroje jeho názorů jsou ve staré filosofické tradici PLATÓNOVĚ a PYTHAGOROVĚ. Kepler soudí, že Koperníkův systém je proto nepravděpodobný, že nedává odpověď na otázky, proč jsou planety rozvrstveny kolem Slunce tak, jak jsou, tedy zdánlivě tak nahodile, proč je mezi Marsem a Jupiterem tak neobvykle velká mezera, ač mezi jinými planetami není, zda je, a je-li, jaká je souvislost mezi rozměry drah planet a jejich oběžnými dobami.*) Výsledkem mnoha spekulativních pokusů, při nichž např. Kepler po určitou dobu uvažoval i o hypotetické planetě mezi Marsem a Jupiterem, je konečně názor, který Kepler r. 1596 s velkou hrdostí publikuje pod názvem *Mysterium cosmographicum*. Tehdy Kepler ještě uvažuje o sférách planet a stanoví tuto zákonitost:

Šest sfér planet je uspořádáno právě tak, že je mezi ně možno vložit právě pět pravidelných mnohostěnů (tzv. platónských těles), a to tak, že vždy sféra vnitřní je právě jednomu z těles vepsána, následující sféra vnější je tomuto tělesu právě opsána. Tak mezi sféru Saturnu (tehdy poslední známé planety) a Jupiteru klade Kepler krychli, mezi Jupitera a Mars čtyřstěn, mezi Mars a Zemi dvanáctistěn, mezi Zemi a Venuší dvacetistěn; konečně nejvnitřnější sféra Merkuru má být vepsána do osmistěnu, který je vepsán do sféry Venuše. Kepler je svým objevem nadšen: tajemství vesmíru je konečně odhaleno. Proto je právě jen šest planet (Měsíc není již počítán za planetu, je pouhou družicí), protože mezi jejich šest sfér je možno vložit právě jen oněch jediných pět existujících pravidelných mnohostěnů, o nichž již Platón uvažoval (v dialogu *Timaios*) jako o pravzorech pro utváření prvků i stavbu vesmíru.

Tento Keplerův názor, obsahující v sobě nemálo matematizující mystiky, sotva může být blízký a sympatický dnešnímu fyzikovi. Kepler nedosáhl vyhovující shody ani s tehdejšími znalostmi,**) přesto však byl pevně přesvědčen o své pravdě, a i když ji ve svém vlastním dalším vědeckém vývoji odvolal a především dalekosáhle pře-

*) Vzdálenosti planet od Slunce, i když ještě ne v absolutních velikostech, ale pouze poměrně, řešil jako první (a v podstatě správně) Koperník; v geocentrickém systému Ptolemaiově nemělo smyslu klást tuto otázku a nebylo podkladu pro řešení, neboť pořadí planet bylo stanoveno v podstatě náhodně.

**) Kepler tímto řešením nedosáhl zcela vyhovující shody, přesto však jeho pokus — historicky posuzováno — zdaleka nebyl neodůvodněný. Míru přiblížení skutečným hodnotám vystihuje následující tabulka vzdáleností planet od Slunce, v níž je ve všech případech volena střední vzdálenost Země od Slunce rovna 1,000. Keplerovy hodnoty je ovšem třeba posuzovat v relaci k hodnotám, jež udával Koperník; jiné hodnoty zatím Kepler znát nemohl.

	Merkur	Venuše	Země	Mars	Jupiter	Saturn
Koperník	0,395	0,719	1,000	1,512	5,219	9,321
Kepler v <i>Myster. cosmogr.</i>	0,429	0,762	1,000	1,440	5,261	9,163
dnešní astronomie	0,387	0,723	1,000	1,524	5,203	9,539

kročil formulací tří zákonů pohybu planet, nikdy se s ní zcela nerozešel a opakovaně zkoušel, zda snad pro ni nenajde aspoň modifikovaná uplatnění. Zejména se Kepler nikdy nevzdal přesvědčení, že do přírody byl a priori vložen dokonalý a jednoznačný matematický řád — úkolem vědce je podle něho tento řád odkrýt a tak zvládnout tajemství přírody.

Přes všechny možné výhrady však skutečně z Keplerova počátečního názoru v *Mysteriu* se odvíjely výzkumy vedoucí přímo k hlavním a dodnes platným Keplerovým objevům. Musel však přistoupit nový impuls. Ten zdánlivě (a tak to i Kepler pociťoval) mladého astronoma postihl velmi bolestivě, fakticky však dal Keplerovi velkou tvůrčí svobodu a umožnil mu další růst: Kepler byl jako protestant vypovězen ze Štýrského Hradce a uchytil se v Praze jako (moderní terminologií řečeno) asistent Tycho Brahe. Tycho, král astronomů své doby, o generaci starší než Kepler, opustil Dánsko, kde na ostrově Hvenu měl vybudovánu na tehdejší dobu jedinečnou observatoř, a sám hledal útočiště v Praze na dvoře císaře Rudolfa II. Vzájemná spolupráce obou vědců nebyla příliš dlouhodobá: Kepler se trvale usadil v Praze na podzim r. 1600, 24. října 1601 již Tycho Brahe zemřel, přesto měla pro další vývoj astronomie rozhodující význam. Setkali se nejlepší astronom-pozorovatel (Brahe) s nejlepším teoretikem (Keplerem) této doby; srazily se dvě vyhraněné vědecké osobnosti, z nichž Brahe opustil heliocentrismus a trval na geocentrickém názoru a vyžadoval totéž i od Keplera, avšak na druhé straně Brahe důsledně trval na tom, že skutečně platné teorie je třeba odvozovat jedině na základě pozorování a že pozorování, nikoli apriorní spekulace, musí mít ve vědě rozhodující hlas. Jestliže v prvním bodě Kepler se nedal Tychonem ovlivnit a zůstal přesvědčeným heliocentristou, na druhé straně mnohem více než dříve nahlédl a uznal váhu i nezbytnost přesného pozorování jako jediného reálného východiska teoretických úvah. Sám k astronomickému pozorování mnohostranně přispěl: nikoli jen tím, že řadu úkazů na obloze sám zaznamenal a proměřil, ať již to byla zatmění, komety, nová hvězda v Hadonoši v r. 1604 či opozice planet, skutečné pozorování slunečních skvrn či domnělé pozorování průchodu Merkuru před Sluncem, ale především jednak návrhem na konstrukci dalekohledu, který nese jeho jméno a který umožnil nebývalý rozmach znalosti hvězdného světa, jednak teoretickým výkladem řady optických jevů, které ovlivňují pozorování (jako např. atmosférická refrakce) a jež je třeba znát, zvládnout a vyloučit, aby pozorování získalo exaktní platnost.

Přesto však Kepler zůstal věrný svým počátečním představám o matematickém řádu ve vesmíru. Opustil-li je v detailech, neopustil je nikdy jako celkovou obecnou koncepci přírody. Proto od jeho *Mysteria* vede v podstatě přímá cesta k jeho objevům zákonů pohybu planet. Je možno bez nadsázky říci, že Kepler tyto zákony našel jenom proto, že je hledal a byl přesvědčen, že musí existovat a že mohou být nalezeny. Jenom toto přesvědčení mu umožňovalo vytrvat a dále zkoušet nová řešení tam, kde by se jiný již dávno vzdal. A jeho úsilí končilo nemalým úspěchem. V r. 1609 mohl ve spise *Astronomia nova* publikovat první dva zákony, o deset let později v knize *Harmonice mundi* třetí, tzv. harmonický zákon. Zákony jsou mezi fyziky všeobecně

známé. Za zmínku snad přece jen stojí některé detaily. Zákon ploch, vystihující proměnnou rychlost planety na dráze, který Kepler zařadil jako první, má vlastně všeobecnější platnost než pouze na dráhy, které Kepler sám stanovil v následujícím zákoně: na eliptické dráhy. Kepler však sám si nejvíce cenil třetího zákona, protože ten nejvíce odpovídal na otázky, jak si je původně stanovil: jaká je souvislost mezi rozměrem dráhy a oběžnou dobou. Jednoduchý vztah, který tu našel, tj. konstantní poměr třetí mocniny velké poloosy dráhy ke druhé mocnině oběžné doby u všech planet, mu byl vzorem matematického, tj. v jeho označení „harmonického“ vztahu, jaký předpokládal všude v přírodě.

Keplerovy zákony měly (a mají stále) základní význam nejen pro planetární astronomii, ale i pro všechny fyzikální vědy vůbec. V astronomii jimi byl — v rámci tehdejší možné přesnosti pozorování — uveden v naprostý soulad skutečně pozorovaný a teoreticky propočtený pohyb planet, v nich bylo završeno tisícileté úsilí o poznání skutečné podoby planetárních drah. Současně Keplerova astronomie byla posledním předstupněm poznání nejen pohybu, ale i příčin pohybu planet; vycházejí z Keplerových zákonů, mohl NEWTON ještě v témže století dojít k všeobecné gravitační teorii a aplikovat ji na pohyb planet.

I sám pojem dráhy planety, jak jej Kepler vytvořil, je pojem ve vývoji astronomie tehdy zcela nový a svým způsobem převratný. Až do Keplerovy doby stále trvala představa, že planety jsou upevněny na sférách z pevného materiálu, a že vlastně celý vesmír je těmito sférami vyplněn. Závažná trhlinka v této představě vznikla, když Tycho Brahe pozorováním komet zjistil, že komety by těmito sférami musely procházet, takže sféry nemohou být reálné. Přesto však ještě Keplerovi, jak jsme viděli, představa aspoň pomyslných sfér byla základní oporou pro vytvoření jeho prvního systému, v němž užíval pravidelných mnohostěnů. Nyní však, jakmile má planeta nerovnoměrným pohybem opisovat v prostoru elipsu, nemůže být o pevných sférách ani řeči. Naopak, otevírá se problém, jakými silami se planety udržují v pohybu, tedy problematika, která přímo směřuje ke vzniku gravitační teorie. Je třeba připomenout, že sám Kepler několika pozoruhodnými názory cestu k takové teorii aspoň naznačil.

Význam Keplerových zákonů však značně přesahuje hranice astronomie. Pro fyzikální vědy měly ve své době základní význam metodologický. Ve vývoji fyziky vznikly podobně pregnantně matematicky formulované zákony sice již jednou, jsou to statické zákony ARCHIMEDOVY. Ale jednak jejich vznik dělila od Keplerovy doby celá dvě tisíciletí, jednak Archimedes dokázal zvládnout pouze klid, nikoli pohyb. Je třeba skutečně považovat za novou etapu vývoje fyziky, když současně Galileo Galilei uzavřel v matematické zákony pohyb pozemských těles a Kepler pohyb planet. Poprvé byl zvládnut pohyb těles přesným a jednoznačným matematickým zákonem, poprvé od Archimedových dob byla zcela výrazně prokázána užitečnost a nutnost postavit fyzikální bádání na matematické základy. V tom smyslu je třeba chápat skutečný Keplerův přínos k vývoji fyzikálních věd: nepřispěl jen detailními objevy, i když velmi významnými a zcela osobitými, ale jeho celé dílo je jedním ze základních pilířů novověké koncepce fyzikálních věd.