

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

František Jáchim

I nejlepšího teoretika potěší, když měření potvrdí, že má pravdu

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 80 (2005), No. 2, 1–4

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146097>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2005

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



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

## I nejlepšího teoretika potěší, když měření potvrdí, že má pravdu

*František Jáchim, VOŠ a SPŠ Volyně*

I v roce 2005 – Světovém roce fyziky – se příznivci tohoto krásného oboru snaží přesvědčit další potenciální zájemce, že fyzika je mocný nástroj k poznávání zákonitostí světa. A že je to také potenciální pole k prožití objevného dobrodružství – to když se na konci procesu poznávání a tvoření objeví něco nového, úžasného, převratného, na první pohled třeba nemožného.



Dospěje-li k takovému objevu teoretik, jistě ho potěší, jsou-li jeho závěry potvrzeny pokusem nebo pozorováním. I tak významný teoretik, jakým byl Albert Einstein, měl jistě radost, když jeho teorie – o jejichž správnosti nepochyboval – byly postupně potvrzovány pozorovatelnými jevy.

Rozhodne-li se některý čtenář, že zrovna ve Světovém roce fyziky se vydá na profesionální dráhu fyzika, necht' mu následující řádky připomenou, že úspěch nemusí vždy přicházet hned. Ovšem radost z něj to nijak nezmenší.

### **Odchylka světla v silném gravitačním poli**

Také změření odchylky světla v silném gravitačním poli si vyžádalo určitý čas. Jestliže Isaac Newton považoval světlo za proud částic, pak tyto částice musely být gravitačním polem ovlivňovány stejně jako každé jiné těleso. Projde-li světelný paprsek např. kolem Slunce, bude vlivem jeho gravitačního pole od přímočaré trajektorie odchýlen (obr. 1). Nabízela se otázka, o jak velký úhel se odchýlí od původního směru. Obecně se soudilo, že tato odchylka bude velmi malá.

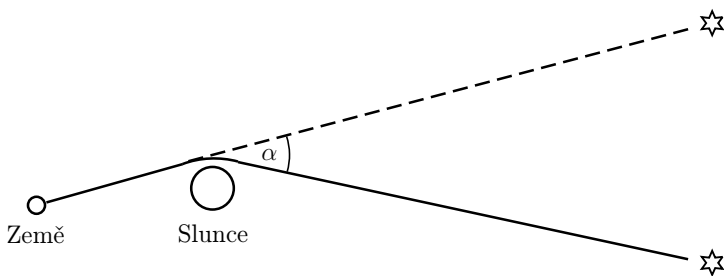
Podle Newtonovy teorie je úhel odchýlení paprsku  $\alpha$  určen vztahem

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{Gm}{c^2 r},$$

kde  $G$  je gravitační konstanta,  $m$  hmotnost tělesa, jehož působením je paprsek zakřivován,  $c$  rychlost světla a  $r$  nejmenší vzdálenost světelného paprsku od středu tělesa (Slunce). Protože úhel  $\alpha$  je velmi malý, lze jeho tangentu nahradit přímo jeho velikostí (v radiánech) a velikost úhlu  $\alpha$  počítat podle vztahu

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{Gm}{c^2 r}. \quad (1)$$

Tento vztah poprvé odvodil J. Soldner v roce 1804 a uveřejnil ho v práci *O odchylce světelného paprsku od jeho přímočarého pohybu v důsledku přitažlivosti tělesa, kolem něhož blízko prochází*. Stejný vztah bez znalosti Soldnerovy práce odvodil A. Einstein v roce 1911 za svého pobytu v Praze.



Obr. 1

Abychom vypočetli, o jaký úhel  $\alpha$  se podle Newtonovy teorie odchýlí paprsek procházející v těsné blízkosti Slunce, dosadíme do vztahu (1)

$$\begin{aligned} G &= 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}, \\ c &= 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \\ r &= 6,955 \cdot 10^8 \text{ m} \quad (\text{poloměr Slunce}), \\ m &= 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg} \quad (\text{hmotnost Slunce}) \end{aligned}$$

a dostaneme

$$\alpha = 4,246 \cdot 10^{-6} \text{ rad} = 0,876''.$$

Pro pozemského pozorovatele by to znamenalo, že by se poloha hvězdy na obloze vlivem gravitačního pole Slunce posunula o  $0,876''$ . Albert Einstein ovšem v roce 1911 vypočítal ve své práci *Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes* nepatrně jinou hodnotu  $\alpha = 0,83''$ , protože měl k dispozici jiné, tehdy známé hodnoty konstant  $G$  a  $c$  i veličin  $r$  a  $m$ .

Už od roku 1911 považoval Einstein za samozřejmé, že odchylka musí být nějakým způsobem změřena. V závěru jednoho svého článku z roku 1911 píše: „Bylo by velmi žádoucí, kdyby se zde předložené otázky ujali astronomové, i kdyby se výše rozvíjené úvahy ukázaly třeba nedostatečně podloženými nebo zcela fantastickými. Neboť nezávisle na jakékoliv teorii se musíme ptát, zda lze současnými prostředky stanovit vliv gravitačních polí na šíření světla.“

Měřit ohyb světelných paprsků procházejících blízko Slunce je věc velice obtížná. Protože hvězdy v úhlové blízkosti Slunce jsou jím přezářeny a tudíž neviditelné, jedinou příležitostí pro mimořádně přesné měření poskytuje úplné zatmění Slunce. Jeho výskyt pro dané místo na Zemi je velice vzácný, proto muselo být využito zatmění Slunce, které mělo nastat v poměrně dalekých krajích. Těsně před první světovou válkou byla připravena německá expedice za zatměním na Krym, po vypuknutí války však nemohla svůj cíl splnit.

Během války Einstein dokončil svou obecnou teorii relativity, publikoval ji v roce 1915. Podle této teorie není prostor, v kterém je gravitační pole, plochý, ale zakřivený, a Einstein vypočítal, že díky křivosti prostoru se odchylka paprsku zvětší na dvojnásobek, že tedy místo vztahu (1) platí

$$\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot \frac{Gm}{c^2 r}. \quad (2)$$

Po dosazení do tohoto vztahu dostal hodnotu  $\alpha = 1,74''$ . To, že tato relativistická hodnota odchylky se liší od hodnoty vypočítané podle klasické Newtonovy teorie, bylo velmi významné – mezi oběma teoriemi mohlo rozhodnout pozorování.

Anglický *Stálý výbor pro sluneční zatmění* na návrh ředitele observatoře v Greenwichi sira F. Dysona rozhodl v listopadu 1917 o vyslání dvou výprav do oblasti, kde mělo být viditelné úplné zatmění Slunce v roce 1919. Cílem bylo zjistit, zda se světlo v blízkosti Slunce skutečně odchyluje a o kolik.

Vedoucím expedice byl anglický astrofyzik A. S. Eddington, nejen Einsteinův zastánce, ale také popularizátor jeho myšlenek. Ve snaze předejít obloze zatažené v ten nejméně vhodný okamžik, rozdělili Angličané expedici na dvě – jednu část vedl Eddington, druhou Crommelin. Vybrali místa Roca Sundy na Princově ostrově v Guinejském zálivu a Sobral v Brazílii. Obě části expedice vypluly 8. března 1919 z Liverpoolu na Madeiru, kde se rozdělily. Eddington spolu se svým asistentem E. T. Cottinghamem odjel na Princův ostrov v Guinejském zálivu, druhá část výpravy – A. Crommelin a Ch. Davidson – pokračovala do Brazílie. Fotografování v době úplného zatmění se zdařilo oběma výpravám. Ke zjištění zdánlivého posunu hvězd bylo také třeba srovnávacích fotografií takových jejich poloh, kdy světlo hvězd již nebylo ovlivňováno gravitačním polem Slunce. Pro tento účel byly nakonec použity pouze fotografie sobralské, zhotovené s odstupem šesti týdnů, kdy už Slunce na trajektorie světla zvolených hvězd nemělo vliv. Na Princově ostrově nemohl A. S. Eddington z důvodu hrozící stávký námořníků tak dlouho pobývat.

Výsledkem dalekých cest a několikaměsíčního zpracovávání fotografického materiálu bylo jediné číslo: Podle měření z Roca Sundy odchylka světla hvězd činí při povrchu Slunce  $1,61'' \pm 0,30''$ , sobralská měření ukázala hodnotu  $1,98'' \pm 0,30''$ . I když je tu relativní chyba asi 19 %, výsledek zcela jednoznačně potvrdil Einsteinovu teorii.

Ačkoliv výsledky expedic byly A. S. Eddingtonem oficiálně zveřejněny na slavnostní schůzi anglické Královské astronomické společnosti 6. listopadu 1919, k Einsteinovi se dostaly přece jen o něco dříve. Již 22. září 1919 mu H. Lorentz poslal vzkaz tohoto znění: „Eddington našel odchylku poloh hvězd na okraji slunečního disku předběžně o velikosti mezi  $0,9''$  a dvojnásobkem této hodnoty.“ A. Einstein měl z tohoto zjištění obrovskou radost, s níž se záhy svěřil matce. Na pohlednici jí napsal: „Milá matko! Dnes radostná zpráva! H. A. Lorentz mi telegrafoval, že anglické expedice opravdu potvrdily ohyb světla v blízkosti Slunce.“

Jen mezi lety 1919 a 1973 byly úhlové posuvy měřeny při čtrnácti úplných zatměních Slunce. Jedno z nejnovějších měření je z roku 1995 pomocí radioteleskopů asi 5 000 km od sebe vzdálených; při tomto měření byla einsteinovská odchylka potvrzena s přesností 0,17 %.

Pokud se vám zdá, že nezodpovězených otázek ve fyzice s časem ubývá, nenechte se mýlit. I ve Světovém roce fyziky 2005 se to dosud nezodpovězenými otázkami jen hemží. Není to inspirace?