

Jiří Langer, Dopplerův jev a rudý posuv + kom 28.03.2015

<http://casopis.vesmir.cz/clanek/kosmologicky-cervený-posuv-a-zachovani-energie>

# Kosmologický červený posuv a zachování energie

[Jiří Langer](#), [Valentin Weinzettl](#)

Publikováno: Vesmír 76, 574, [1997/10](#)

Obor: [Astronomie a kosmologie](#)

Rubrika: [Diskuse](#)

Doc. Jiří Langer shrnul v prosincovém článku (viz Vesmír [75, 695, 1996/12](#)) všechny dosud známé pozorované jevy a nepřímé důkazy svědčící ve prospěch modelu expandujícího vesmíru.

Astronomové považují za hlavní argument rudý posuv spektrálních čar ve světle vzdálených galaxií a kvazarů. Rudý posuv ve spektrech galaxií a kvazarů ovšem může mít jinou příčinu, jiné vysvětlení: světlo vychází z emitenta ( např. kvasar, galaxie ), tedy z jeho soustavy souřadné, pootočené. Emitent má pootočenou soustavu vlastní vůči soustavě pozorovatele a to z jednoho možná dvou důvodů, možná obou spolu: globální křivost časoprostoru ( křivost podle gravitace ). A nebo z důvodů relativistických rychlostí emitenta vůči pozorovateli, kdy se jeho vlastní soustava pootáčí vůči soustavě pozorovatele. Tento fakt o pootočení soustav pak vede k pozorování rudého posuvu ve spektru. Samo světlo ( spektrum ) je emitováno z kvasaru ve stavu pootočeném a v tomto pootočeném stavu je zachyceno pozorovatelem a porovnáváno s laboratorním spektrem v soustavě pozorovatele.

Dnešní všeobecně uznávané vysvětlení, že k tomuto posuvu dochází na základě Dopplerova jevu, je v rozporu se základními fyzikálními zákony a sám Edwin Hubble ve své vědecké poctivosti připouštěl, že rudý posuv může být vyvolán i jiným dodnes nepoznaným fyzikálním principem, viz <sup>1</sup> – str. 13. Dopplerův jev je zkracování respektive prodlužování vlnové délky elektromagnetického vlnění při pohybu zdroje od pozorovatele anebo k pozorovateli. To se koná po přímce. Ale v kosmologických měřících, kde se rozpíná i časoprostor a kde je globální časoprostor sám zakřiven, možná ne, může Dopplerův jev vykazovat rudý posuv „jiné posunutí“ v jiném situačním stavu.

Velikost Dopplerova posuvu čeho ?, co se „posunulo“ ? se zjistí v místě pozorovatele měřením frekvence dopadu zvukových vln nebo fotonů mikrovlnného, resp. radiového záření (např. Dopplerův radar, letecká navigace).

Při Dopplerově jevu nedochází k žádným energetickým změnám.

Prodlužování nebo zkracování vlnových délek elektromagnetického záření je relativní a není provázeno změnami hmotností fotonů. Ovšem, je-li signál v kosmologických vzdálenostech emitován „pootočený“ anebo se pohybuje v gravitačně křivém prostředí, časoprostor je „v oblouku“, pak rudý posuv vlnových délek by mohl mít jiný „stav“, jinou situační pozici v průmětně, i jinou trajektorii pohybu. Samozřejmě moje úvaha může být ještě trochu jiná, opravena v tomto směru úvahy.

U světelného záření neumíme měřit přímou metodou frekvenci dopadu fotonů a rudý posuv je zjištělý jen po rozkladu světelných paprsků na jednotlivé vlnové složky.

Vztah  $h\nu = mc^2$  přisuzuje každému fotonu hmotnost nepřímo úměrnou vlnové délce. Vzdalování hřebenů světelných vln a prodlužování jejich vlnových délek musí být doprovázeno snižováním hmotností fotonů a ztrátami energie.

Z tohoto důvodu je současné vysvětlování vzniku rudého posuvu Dopplerovým jevem v rozporu se zákony zachování energie.

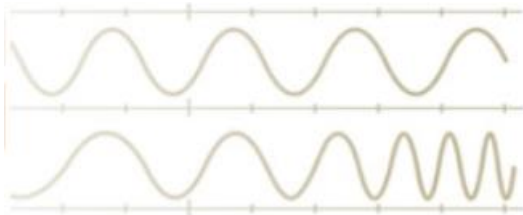
Prof. Vratislav Schreiber mne upozornil na sdělení v Science pod titulkem „Páry kvazarů: záhada rudého posuvu?“<sup>2)</sup> takže je vidět, že i rudý posuv není dešifrován jako konečný důvod, ta jak je dnes interpretován

Bylo zjištěno, že u dvanácti Seyfertových galaxií existují ve stejných vzdálenostech dvojice kvazarů s rozdílnými rudými posuvy. Halton Arp z toho vyvozuje závěr, že velikost rudého posuvu není měřítkem pro určování vzdálenosti vesmírných zdrojů. O této anomálii Seyfertových galaxií se již zmínil prof. Vanýsek<sup>3)</sup> – str. 412:

„Jistý počet Seyfertových galaxií je zároveň rádiovými galaxiemi. [...] Tím připomínají poněkud kvasary [...] značný počet těchto objektů se jeví jako podvojně rádiové zdroje [...]"

Valentin Weinzettl

Jiří Langer: Ve svém dopise Ing. V. Weinzettl tvrdí, že standardní vysvětlení posuvu spektrálních čar ve spektrech vzdálených galaxií je v rozporu se zákonem zachování energie. Stále se tu naznačuje, že rudý posuv nemusí být interpretován pouze tak, že dle rudého posuvu určíme spolehlivě rychlost vzdalování emitenta. Rudý posuv může být „zaviněn“ možná i pootočením soustavy emitenta a tím pádem je i snímána vlnová délka z k r e s l e n á, je reálně jiná. Tak tomu opravdu není, i když je pravda, že samotný koncept energie v obecné teorii relativity je komplikovaná záležitost.



← toto je vlnění, které se žákům předvádí jako Dopplerův jev změny frekvence vlnění při zrychleném/zpomaleném pohybu tělesa. Jenže se na spodní vlnu, na obrázku můžete podívat i tak, že ano, na „průmětně“ je – pozoruje se – proměňující se vlna, která ve skutečnosti vlna běží ve 3D po oblouku a nemění frekvenci. Na průmětně mění frekvenci, což je klam, ale v reálném prostoru jí nemění, pouze se pohybuje po oblouku.

Z dopisu se zdá, že jeho autor interpretuje důsledky Dopplerova jevu značně nestandardně i v jiných případech, než je kosmologická aplikace. Pokusím se naznačit nejdříve obecně, jak je to s energií elektromagnetických vln resp. fotonů, jejichž pozorovaná frekvence je změněna Dopplerovým jevem, a kosmologické aplikace ponechám na závěr.

Energie částice je relativní veličina

Autor dopisu uvádí, že energie fotonů, jejichž frekvence je posunuta Dopplerovým jevem, je relativní. S tím souhlasím, ale toto platí i pro částici s nenulovou klidovou hmotností, a to nejen v relativistické, ale i v klasické mechanice.

Uvažme následující situaci. Po hladké podlaze se pohybuje vozík, na němž je upevněn dřevěný blok. Identický blok je upevněn také k podlaze. Do bloku na podlaze vystřelíme kulku. Kulka se pohybuje vzhledem k podlaze určitou rychlostí a její pohybová energie je v soustavě spojené s podlahou podle známého školního vzorečku rovna polovině součinu její hmotnosti s druhou mocninou této rychlosti. Kulka se zaryje do bloku a její energie se přemění ve vnitřní energii soustavy blok + zarytá kulka, jinak řečeno, blok se o něco zahřeje.

Nyní pokus zopakujeme s identickou patronou, ale tentokrát střelíme do bloku na vozíku ve směru jeho pohybu. Vzhledem k vozíku se kulka pohybuje menší rychlostí a její pohybová energie je tedy relativně k vozíku menší. Zaryje se do vozíku a blok se opět o něco zahřeje. (Část energie kulky se ve skutečnosti spotřebuje i na malé urychlení vozíku, ale budeme předpokládat, že vozík a blok mají mnohem větší hmotnost než kulka a tím se vyhneme této komplikaci.) Zahřeje se méně než blok stojící pevně na podlaze při předchozím pokusu.

Nyní nás může trápit následující otázka: Energie uvolněná z prachové nálože je v obojím případě stejná. Její část, opět v obojím případě stejná, se při výstřelu předala pistoli a okolnímu prostředí, zbytek se pak přeměnil v kinetickou energii kulky. V prvním pokusu se tato energie plně spotřebovala na zahřátí bloku. V druhém případě se blok zahřál méně. Kam se zbytek energie ztratil?

Situaci bude popisovat jinak pozorovatel stojící na vozíku a jinak pozorovatel stojící na podlaze. Z hlediska pozorovatele na vozíku byla energie kulky, která dostihla jeho blok, menší – kulka se vzhledem k němu pohybovala menší rychlostí a tato energie se plně spotřebovala na zahřátí bloku.

Pozorovatel na podlaze provede jinou energetickou bilanci. V jeho soustavě je energie kulky větší. Jenže po zarytí do bloku na vozíku se kulka spolu s blokem pohybuje dále rychlostí vozíku a zachová si tedy určitou kinetickou energii. Na zahřátí bloku se spotřebuje jen její zbytek.

Oba pozorovatelé připisují kulce různou kinetickou energii; v tomto smyslu je energie relativní veličinou. Oba pozorovatelé dojdou ale ke stejnému výsledku, o kolik vzrostla teplota bloku na vozíku. Zcela se shodnou v popisu měřitelné veličiny, jakou je zahřátí bloku.

Popis je v principu stejný v klasické mechanice i ve speciální teorii relativity, rozdíl je v matematických vztazích a z nich plynoucích kvantitativních hodnotách.

Ještě než tento příklad opustíme, uvažme trochu pozměněný pokus. Na vozíku i na podlaze postavíme šibenici a bloky na ni zavěsíme. Nyní se po zarytí kulky bloky zahřejí o něco méně. Po nárazu kulky se totiž bloky na svém závěsu o něco zvednou a část energie kulky se přemění v potenciální energii bloku. Energetická bilance bude nyní vypadat opět v obou systémech různě, ale oba pozorovatelé dojdou zase k témuž, o kolik se bloky zvednou a zahřejí.

Jak to bude se světlem?

Zopakujme nyní pokus tak, že vyšleme místo kulky velmi intenzivní, ale časově omezený pulz, „blikneme baterkou“.

Na vyslání pulzu se spotřebovala určitá měřitelná energie, kterou změří elektroměr a kterou my zaplatíme Českým energetickým závodům.

V soustavě podlahy se tato energie po pohlcení v bloku (nyní „dokonale černém“, tedy pohlcujícím všechno dopadající záření) plně spotřebuje na jeho zahřátí.

Pro pozorovatele na vozíku, který se vzdaluje od zdroje, bude spektrum v důsledku Dopplerova jevu posunuto k červenému konci. Pozorovatel „utíká“ před světelnými vlnami, proto měří jejich vlnovou délku jako delší, či frekvenci, se kterou k němu docházejí hřebeny vln jako nižší. Pozorovatel na vozíku však změří i celkovou energii světelného pulzu jako menší. V našem idealizovaném pokusu to znamená, že černý blok na vozíku se ohřeje méně než blok na podlaze po zachycení identického pulzu. V enegetické bilanci je teď třeba uvážit, že pohlcením záření v bloku a následným vzrůstem jeho vnitřní energie vzrostla i celková hmotnost bloku a část „energie zaplacené energetickým závodům“ se spotřebuje na větší pohybovou energii bloku v důsledku jeho větší hmotnosti. Správné použití příslušných matematických vztahů vede opět k tomu, že kvantitativní předpovědi „zahřátí“ bloku činěné oběma pozorovateli budou stejné.

Nyní zdůrazněme následující skutečnost. Dopplerovým jevem se mění nejen frekvence, ale i intenzita světelné vlny a je fyzikálně nerozlišitelné, jestli k tomuto posuvu došlo díky relativnímu pohybu pozorovatele vzhledem ke zdroji, nebo zda taková vlna byla generována zdrojem stojícím vzhledem k pozorovateli.

Jak je to s fotony?

Úvahy o kulce v klasické mechanice bychom mohli snadno předvést v matematické podobě srozumitelné každému čtenáři, který si trochu pamatuje středoškolskou fyziku. V úvahách o vlnách by byla matematika o dost složitější, intenzity elektromagnetického pole a hustota toku energie se transformují při přechodu od jednoho inerciálního systému k jinému jako složky tzv. tenzorů. To uvádím jen jako upozornění čtenáři, který by chtěl náš náznak energetické bilance podrobněji promýšlet.

Řada úvah o energii nesené elektromagnetickými vlnami, bez ohledu na jejich vlnovou délku, vypadá názorněji v řeči fotonů. Co se týče nesené energie a hybnosti, můžeme si elektromagnetickou vlnu do jisté míry představit jako proud částic, fotonů, z nichž každá nese energii úměrnou frekvenci vlny. **Zdůrazňuji ale, že opravdu jen do jisté míry. Foton je kvantověmechanický objekt. Protože má určitou hybnost, má zcela neurčitou polohu, takže nemá např. smysl hovořit o jeho dráze.** V řadě úvah se to přesto dělá, a je to v pořádku; ale přesný smysl takového postupu je dost komplikovaný. Toto uvádím opět jen jako varování, že pokud uvažujeme o fotonu ve všem jako o klasické částici, můžeme dospět k velice nesprávným závěrům.

Nicméně konstatujme, že hustotu toku energie vlny, jejíž frekvence je posunuta Dopplerovým jevem, lze popsat tak, jako bychom sledovali proud částic, jejichž energie je úměrná frekvenci této vlny. V případě výše uvedeného pulzu můžeme říci, že z hlediska pozorovatele na podlaze je jeho energie rovna součtu energií určitého počtu fotonů a pro pozorovatele na vozíku je jeho energie menší proto, že fotonů v pulzu je sice stejný počet, ale mají menší energii.

Teorie dává v tomto ohledu jednoznačně konzistentní výsledky. Energie fotonů je ale měřitelná veličina např. pomocí fotoelektrického jevu a tak především poukází na to, že předchozí vývody jsou v plném souhlasu s experimentem.

Ještě jedna poznámka pro pozornějšího čtenáře: Tím, že jsem hovořil o pulzu světla, jsem sice situaci o něco zkomplikoval proti tomu, kdybych hovořil o rovinné monochromatické vlně, protože pulz je nutně tvořen světlem různých frekvencí. Dává však možnost mluvit o celkové vyslané či přijaté energii, což nedává monochromatická vlna.

### **Dopplerův jev v astronomii a kosmologii vesmíru**

Předně upozorněme na to, že Dopplerův jev je důležitým teoretickým i praktickým nástrojem také pro sledování pohybu blízkých hvězd vůči nám, např. v naší Galaxii, kde pochybnosti o správnosti tohoto výkladu nemá asi ani autor dopisu. Energetické poměry zde odpovídají přesně situaci, kterou jsem popsal.

V kosmologické aplikaci můžeme ale vidět jiný problém. Hovořme pro určitost o modelu homogenního, tj. všude stejného, uzavřeného, tedy konečného, vesmíru, který se rozpíná. (Pro nekonečný vesmír je situace velmi podobná, ale v případě konečného vesmíru se lépe hovoří o celkových veličinách.) Vesmír je naplněn zářením, které vzhledem k homogenitě vesmíru přichází v průměru do každého bodu ze všech stran se stejnou intenzitou. Toto záření bylo vysláno z nějakých zdrojů a spotřebovaná energie se zaplatila „vesmírným energetickým závodům“. Pozorovatel v libovolném bodě pozoruje v důsledku kosmologického Dopplerova jevu, že energie fotonů, které přijímá, je menší než energie fotonů vyslaných. Určí-li celkovou energii záření, které poletuje vesmírem, zjistí, že je menší než energie „zaplacená“. Teď hovoříme o záření, které nebylo pohlceno, a tedy analogii s energetickou bilancí v prvním odstavci nemůžeme přímo užít. Jenže toto záření má určitou energii, tedy také hmotnost, a v důsledku toho gravitačně působí. Popisujeme-li situaci newtonovsky, tak vidíme, že jeho celková energie obsažená ve fotonech, která je analogií kinetické energie kulky na počátku našich úvah, musí být menší, protože fotony zaujímají stále větší objem, takže roste jejich energie potenciální. Jde tedy o analogii s „šibenicí“ na konci prvního odstavce, i když „blok“ je zde jen myšlený.

V obecné relativitě je celá situace podstatně složitější, jdeme-li do hloubky, a to proto, že gravitačnímu poli nelze připsat energii rozloženou s určitou hustotou (na rozdíl od pole elektromagnetického, jak jsme to popsali dříve). V kosmologických modelech má ale předchozí „newtonovská“ úvaha své oprávnění, a výrok, že dochází k výměně energie mezi gravitačním polem a fotony, je s určitými upřesněními v pořádku.

K energetickým potížím dochází naopak v různých verzích statických modelů vesmíru, které se snaží vysvětlit červený posuv tím, že světlo předává na své cestě k nám část energie mezigalaktické hmotě. Tato hmota by se zahřívala a je velmi obtížné zachránit takový vesmír před „tepelnou smrtí“.

Jiří Langer

### **Obrázky**



## Poznámky

- [1\)](#) Hubble: Red Shifts in the Spectra of Nebulae, Oxford University Press 1934
- [2\)](#) Science 274, 1305, 1996
- [3\)](#) V. Vanýsek, Základy astronomie a astrofyziky, Academia 1980

## Soubory

Článek ve formátu PDF: [1997\\_V574-576.PDF](#) (223 kB)

## Diskuse

Počet příspěvků: 1  
[Vstup do diskuse](#) »