

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Vladimír Vanýsek

Nobelova cena za fyziku 1993

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 39 (1994), No. 4, 223--226

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139455>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1994

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>

Nobelova cena za fyziku 1993

Vladimír Vanýsek, Praha

V roce 1967 objevil Anthony Hewish a jeho studentka na univerzitě v anglické Cambridge Jocelyn Bellová kosmický objekt vyzařující v rádiovém oboru spektra pravidelné impulzy v krátkých časových intervalech. Během poměrně krátké doby se počet těchto pulzarů — jak byly tyto objekty nazvány — značně rozmnožil. Jejich systematické vyhledávání se stalo jedním z hlavních programů řady radioastronomických observatoří. V roce 1974 obdržel Hewish za tento objev Nobelovu cenu.

Již v roce 1968 byl objeven pulzar (s periodou 33 milisekund) v Krabí mlhovině — zbytku supernovy — a tím bylo potvrzeno, že pulzary jsou rychle rotující neutronové hvězdy se silným magnetickým polem. Jsou to tedy objekty v degenerovaném stavu představující závěrečná stadia hmotnějších hvězd, ale nikoli tak hmotných, aby skončily jako černé díry. Typická neutronová hvězda má hmotnost 1,4 hmotnosti Slunce ($2,8 \times 10^{30}$ kg), průměr řádově 10 km a silné magnetické pole (10^4 až 10^9 T). Jsou to tedy rychle rotující magnetické dipóly vyzařující elektromagnetické záření převážně v rádiovém oboru spektra do poměrně úzkého prostoru podél osy magnetického pole, skloněné vzhledem k ose rotace o nenulový úhel. Pulzar se tedy chová jako maják a pokud směřované záření zasahuje Zem, pozorujeme pulzy v intervalu odpovídajícím jedné, případně polovině rotační periody. Ta je v mezích sekund až desítek milisekund. Díky tomuto zářivému procesu klesá rotační energie pulzaru a perioda rádiových signálů se s časem prodlužuje, nicméně jsou to nejpřesnější hodiny vytvořené přírodou. Záporné zrychlení frekvence pulzů je většinou velmi malé, řádově -10^{-15} s^{-2} , ale je poměrně snadno měřitelné. Pulzar je tedy časoměr, vytvořený přírodou, jehož přesnost je srovnatelná s nejlepšími atomovými hodinami.

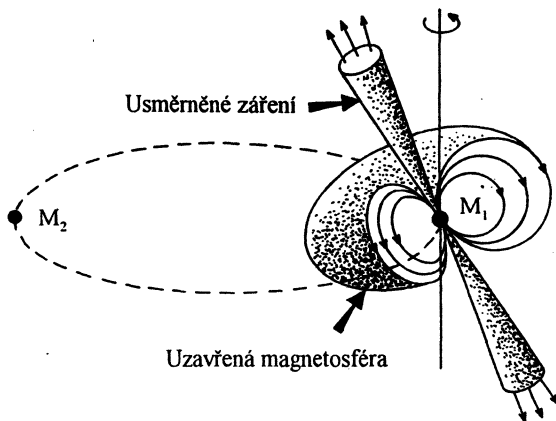
Studium pulzarů znamenalo podstatné rozšíření poznatků astrofyzikálního charakteru, především o závěrečných stadiích vývoje hvězd. Avšak objev tzv. binárních pulzarů, který učinili Joseph H. Taylor a Russell Hulse před dvaceti lety a za který obdrželi v roce 1993 Nobelovu cenu za fyziku, doslova upevnil základy moderní fyziky. Ve zdůvodnění se praví, že cena byla udělena za „objev nového typu pulzarů, který otevřel nové možnosti ke studiu gravitace“. Velký časový odstup mezi objevem a udělením této nejprestižnější ceny je jen zdánlivý. Cesta k nepochybnému důkazu, že jde o objev zásadního významu, byla dlouhá.

Joseph H. Taylor, profesor fyziky na Princetonské univerzitě, započal svou vědeckou dráhu po dosažení doktorátu na Harvardově univerzitě v roce 1968, na Massachusettské univerzitě v Amherstu nejdříve jako „asistent“ profesor a od roku 1977 jako profesor astronomie. Jedním z jeho prvních doktorandů v letech 1973–75 byl Russel A. Hulse. Massachusettská univerzita v Amherstu v letech 1967–70 vybudovala společně s dalšími čtyřmi soukromými okolními univerzitami radioastronomickou observatoř známou

Prof. RNDr. VLADIMÍR VANÝSEK, DrSc. (1926), Astronomický ústav MFF UK, Švédská 8, 150 00 Praha 5.

jako Five College Observatory. Původní program této observatoře měl být zaměřen především na studium pulzarů, ale pozdější vývoj ukázal, že je vhodnější pro studium molekulární složky mezihvězdné hmoty. Taylor spolu s Hulsem měli v programu vyhledávat slabé pulzary, a proto svou observační činnost přesunuli na rádioastronomickou observatoř Arecibo v Portoriku, kde se jim pomocí rádioteleskopu s parabolickou anténou o průměru 305 m podařilo v poměrně krátké době nalézt několik desítek nových pulzarů.

Nejzajímavější však byl objekt PSRB 1913+16 v souhvězdí Orla [1]. Je to jeden z velmi slabých pulzarů. Hustota zářivého toku na frekvenci 1400 MHz je jen $7 \times 10^{-30} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ a střední perioda pulzů je 59 milisekund. To, co z něho učinilo objekt hodný mimořádné pozornosti, je velká, až 80milisekundová variace této periody. Vysvětlení tohoto jevu se záhy našlo. Jde o Dopplerův jev vznikající tím, že tento pulzar je jednou ze složek soustavy dvou téměř stejně velkých a stejně hmotných těles obíhajících kolem společného těžiště. Intervaly mezi jednotlivými pulzy se zkracují nebo prodlužují podle okamžité velikosti a znaménka radiální rychlosti, tj. podle velikosti a směru složky orbitální rychlosti ve směru zorného paprsku rádioteleskopu. Jde tedy o dvojhvězdu, kde obě složky jsou pulzary (obr. 1). Takovou soustavu označujeme jako binární pulzar. To, že neregistrujeme radiové záření druhé složky, může být způsobeno takovou orientací magnetické osy, při které směřované záření nás nezasahuje. Rozbor změn radiální rychlosti pozorovatelné složky umožnil odvodit hlavní parametry binárního pulzaru. Doba oběhu obou složek kolem společného těžiště je 7 h 45 min. Délka velké poloosy a značně výstředné dráhy ($e = 0,62$), promítnuté do roviny kolmé k zornému paprsku, je 703 000 km. Obě složky mají hmotnost M přibližně 1,4 hmotnosti Slunce. V současné době jsou poměrně velmi dobře určeny dráhové elementy později objeveného binárního pulzaru PSRB 1534+12 (viz Tab. 1).



Obr. 1. Schematické znázornění binárního pulzaru PSRB 1913+16.

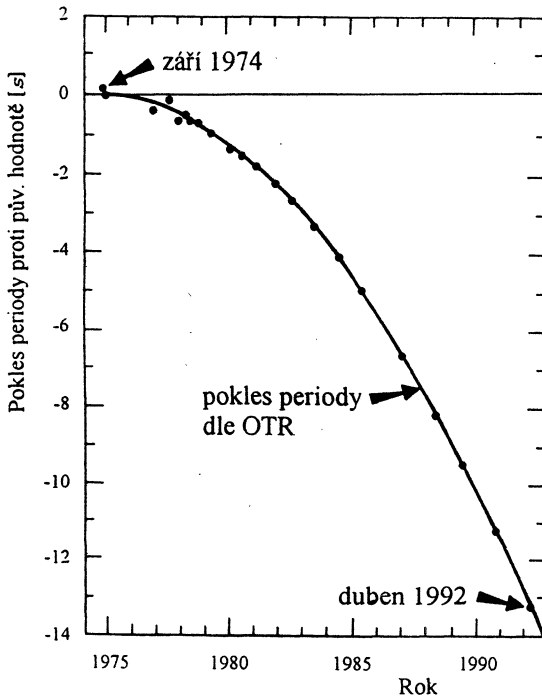
Dva pulzary M_1 a M_2 , každý o hmotnosti 1,4 slunečních hmot a poloměru 10 km, obíhají kolem společného těžiště po výstředné dráze s velkou poloosou o délce 7×10^5 km s oběžnou dobou 7,75 hodiny. Pulzar má silné magnetické pole a uzavřenou magnetosféru. Představuje rychle rotující magnetický dipól vyzářující elektromagnetické záření v úzkých kuzelech podél magnetické osy.

Taylorovi a Hulsemu bylo ihned zřejmé, že jejich nevšední rádioastronomický úlovek je jedinečnou příležitostí k ověření principu obecné relativity. Výsledky, kterých bylo v průběhu dalších let dosaženo, to plně potvrdily, ale cesta k nim nebyla snadná. Binární pulzary jsou ideální dvojhvězdnou soustavou, ve které interakce mezi oběma složkami je výlučně gravitační, ale o mnoho řádů výraznější než u klasických dvojhvězdy.

Tabulka I. Základní parametry dvou binárních pulzarů (podle [2]).

Pulzar	PSRB 1913+16	PSRB 1534+12
Hmotnost primárního pulzaru	1,4410(5)	1,34
Hmotnost sekundárního pulzaru ve hmotnosti Slunce $M = 2 \times 10^{30}$ kg	1,3784(4)	1,34
Oběžná doba P (s)	27906,9807804(6)	36351,70270(3)
Výstřednost dráhy e	0,6171308(4)	0,2736779(4)
Průmět velké poloosy a/c (s)	2,3417592(19)	3,729468(9)
Posuv periastra Ω ($^\circ$ /rok)	4,226621(11)	1,7560(3)
Dilatace času γ (μ s)	4,295(2)	2,05(11)
Změna periody dP/dt (10^{-12})	-2,422(6)	-0,1(6)

Poznámka. V označení pulzaru znamená PSR = pulzar, B = binární složka, 1913+16 = poloha objektu = 19h 13min rektascenze, +16 = deklinace ve stupních. Délka průmětu velké poloosy na rovinu kolmou k zornému paprsku je vyjádřena ve světelných sekundách. Nepřesnost posledního desetinného místa označuje číslo v závorce.



Obr. 2. Vyzařování gravitačních vln se projevuje zkracováním oběžné doby binárního pulzaru. V důsledku toho prochází pulzar PSRB 1913+16 libovolným bodem na dráze (v pevné souřadné soustavě) v současné době o 14 sekund dříve než v roce objevu 1974. Jde tedy o fázový posuv ve dráze vyjádřený v časové míře. Plná křivka fázového posuvu odvozená z OTR a pozorování dokonale souhlasí.

hvězd, nebo u těles sluneční soustavy. V důsledku toho lze očekávat, že typické relativistické efekty, jako je například stáčení periastra, budou mnohem snadněji zjištělné. Ovšem některé z nich působí i jisté komplikace při redukci dat. V binární soustavě se pulzar pohybuje v silném gravitačním poli rychlostí řádově 0,001 rychlosti světla c . Hodnota parametru daného vztahem $GM/(ac^2)$, kde G je gravitační konstanta, se blíží maximální hodnotě tohoto parametru na horizontu černé díry. Pulzy elektromagnetic-

kého záření procházejí nejdříve silným gravitačním polem samotného tělesa, středně silným polem binární soustavy, velmi slabým polem Galaxie a konečně slabým polem sluneční soustavy. To vše nutno brát v úvahu při redukci pozorovacích dat. Kromě toho ve variaci periody pulzů se zrcadlí pohyb Země a pozorování nutno redukovat na těžiště — barycentrum — sluneční soustavy. Také požadavky na přesnost časových měření periody pulzů v definovaném rovnoměrně plynoucím čase jsou značné. Od roku 1981 střední chyba měření nepřekročila 20 mikrosekund [2].

Data odvozená z několika tisíc pozorování binárního pulzaru PSRB 1913+16 v letech 1974 až 1992 a částečně i pozorování další binární soustavy PSRB 1534+12 předčila všechna očekávání. Především je to očekávaný posuv periastra. Je to relativistický efekt pozorovaný u planety Merkur, kde činí 43" za století, avšak v případě PSRB 1534+12 je to 4,23 stupně za rok! V tomto případě se zvýšila přesnost téměř o šest řádů a velikost posuvu odpovídá předpokládané teoretické hodnotě. Dalším, snad ještě závažnějším výsledkem je změna doby oběhu v důsledku vyzařování gravitačních vln. Pozorovaná derivace periody oběhu dP/dt opravena o vliv galaktického pole je $(-2,4101 \pm 0,0085) \times 10^{-12}$. Teoretická hodnota tohoto parametru je $(-2,4025 \pm \pm 0,0001) \times 10^{-12}$. Poměr obou hodnot je $1,0032 \pm 0,00035$ a souhlas mezi pozorováním a teorií je tedy téměř dokonalý (viz též obr. 2). Podobně i hodnota parametru charakterizující dilataci času v gravitačním poli systému, která činí 4,295 mikrosekundy, koinciduje naprosto dokonale s předešlými dvěma parametry pro poměr hmotnosti složek pulzaru 1,4510 : 1,3784.

Dosažené výsledky znamenají nejen potvrzení existence gravitačních vln, které se zatím přímo registrovat nezdařilo, ale je to další a patrně konečné rozhodující potvrzení platnosti obecné teorie relativity. Jestliže obecná teorie relativity předpokládá toliko kvadrupolová vyzařování gravitačních vln, což je dnes pozorováním ověřeno, pak jakoukoli teorii, která by například vedla k předpokladu dipólového vyzařování těchto vln, výše uvedené výsledky vylučují. Možno říci, že OTR dokonale obstála při všech testech a sotva je zde motivace pro hledání alternativní teorie [3].

Za zmínku stojí i to, že pozorování binárních pulzarů může v budoucnu rozhodnout otázku zda gravitační konstanta G je v čase skutečně konstantou, nebo se sekulárně mění. Při interpretaci dat nutno použít i stavovou rovnici popisující vnitřní strukturu neutronových hvězd a tedy i hodnotu G . Dosavadní výsledky vylučují $dG/G > 10^{-11}$ za rok. To ale nevylučuje malou, ale přece jen znatelnou změnu gravitační konstanty v kosmologické časové škále 2×10^{10} let. Odpověď na tuto otázku je zatím zakódována v podivuhodných objektech jakými jsou binární pulzary.

Oba laureáti Nobelovy ceny za fyziku z roku 1993 působí na Princetonské univerzitě. J. H. Taylor je zde od roku 1980 profesorem fyziky. R. A. Hulse působil do roku 1977 na Národní radioastronomické observatoři odkud přešel do Princetonu kde je vedoucím vědeckým pracovníkem v Tamanak Fusion Test Laboratory.

L i t e r a t u r a

- [1] HULSE R. A., TAYLOR J. H.: *Astroph. Jour.* 195 (1975), L51.
- [2] TAYLOR J. H.: *Class. Quantum Gravity* 1 (1993), 167.
- [3] LONGAIR M. S.: *Quartely Jour. Royal. Astron. Soc.* 34 (1993), 157.