

Rentgenové hvězdy

Dvojhvězda – ideální zdroj energetického záření

VLADIMÍR KARAS
MIROSLAV PLAVEC

Když Wilhelm Conrad Röntgen odhalil r. 1895 nový druh pronikavého záření, okamžitě si uvědomil obrovský význam svého objevu pro lékařství. Nejspíš mu ale vůbec nepřišlo na mysl, že bude významný také pro výzkum vesmíru. Podivuhodné paprsky byly nazvány po svém objeviteli, ale později se v anglicky psané literatuře objevil termín X-rays. V Röntgenově rodné zemi je dosud běžné původní pojmenování Röntgenstrahlen. V tomto článku budeme hovořit hlavně o zvláštním druhu astronomických objektů – rentgenových dvojhvězdách.

Rentgenové paprsky neboli paprsky X jsou v podstatě elektromagnetické záření o velmi krátkých vlnových délkách, v rozmezí asi od 10 nm (měkké paprsky; 1 nanometr je roven 10^{-9} metru) až po 0,001 nm (tvrdé, pronikavé paprsky). Na horním konci vlnových délek hraničí rentgenový spektrální obor s ultrafialovým zářením, kdežto v nejkratších vlnových délkách přechází v paprsky gama. Jako tepelné záření nejsou rentgenové paprsky ve vesmíru ničím zvláštním. V každé dostatečně horké hvězdě existuje kolem středu oblast, kde má záření vzniklé jadernými reakcemi převážně charakter rentgenových paprsků. Při teplotě 15 milionů stupňů (jako ve středu Slunce) je nejsilnější záření na vlnové délce 0,2 nm, což odpovídá právě rentgenovým paprskům. Převážná část pronikavých paprsků se však při průchodu rozsáhlým tělesem hvězdy postupně mění v záření o podstatně delších vlnových délkách a nižších energiích.

Po většinu svého života svítí hvězdy především viditelným světlem, ale citlivé přístroje jsou schopny zaznamenat záření hvězd jak na krátkých, tak na dlouhých vlnových délkách, které naše oko nevnímá. Například od Slunce přichází k Zemi zářivá energie v množství asi 1 kW na každý metr čtvereční, nejvíce v barvě zelenožluté, tedy o vlnové délce kolem 500 nm. To znamená, že v průměru je každý foton rentgenového záření během průchodu Sluncem nahrazen 2500 fotony viditelného světla: kolik energie Slunce vyrobí, tolik se musí nakonec z jeho objemu uvolnit, i když třeba v jiné podobě, než v jaké záření původně vzniklo.

Jestliže u některých hvězd přece jen pozorujeme intenzivní rentgenovou emisi, pak je to díky jiným procesům, než je normální výroba zářivé energie, probíhající hluboko v nitru. Hvězdy, od nichž rentgenové záření skutečně přichází, jsou hvězdy značně nevhodnější, výjimečné, ovšem i trochu nebezpečné.

Přestože rentgenový výkon těchto objektů někdy přesáhne jejich výkon v oboru optickém, vysoce energetické paprsky jsou (naštěstí pro nás) pohlceny v ovzduší dříve, než dosáhnou zemského povrchu. Schopnost zemské atmosféry pohlcovat rentgenové záření je sice důležitá pro živé tvory, ale zároveň znesnadňuje astronomická měření.

První úspěšné pozorování oblohy v rentgenovém oboru uskutečnili počátkem šedesátých let R. Giacconi, H. Gurský, F. R. Paolini a B. B. Rossi. Studovali data z detektoru, který byl umístěn vysoko nad atmosférou – na umělé družici Aerobee. Brzy poté se podařilo identifikovat dvě desítky rentgenových objektů, mezi nimi Krabí mlhovinu, blízkou radiovou galaxii M87 a Cygnus X-1 neboli první rentgenový zdroj v souhvězdí Labutě. Systematické pátrání po černých dírách o hmotnostech srovnatelných s hmotnostmi běžných hvězd se v posledních letech soustřeďuje právě na rentgenové hvězdy, přesněji řečeno dvojhvězdy, v nichž jednou složkou je normální hvězda a druhou rentgenový zdroj.

Rentgenové zdroje ve vesmíru

Astronomové rozeznávají různé typy zdrojů kosmických rentgenových paprsků. Přestože se jejich fyzikální podstatu dosud nepodařilo do podrobností objasnit, většina vědců se shoduje v názoru, že jsou to poměrně malé hutné objekty, na něž padá plyn z okolí. Jde patrně o pozůstatky hvězd, jež ke konci normálního vývoje začaly být nestabilní a pod vlivem vlastní gravitace se zhroutily do malého objektu.

Obvykle rozlišujeme tři druhy takových těles:

- **neutronové hvězdy**, jež svou hmotností poněkud převyšují hmotnost Slunce a dosahují poloměru několik desítek kilometrů,
- **černé díry**, které mívají hmotnost přinejmenším tři Slunci, zato poloměr jen asi 3 km na každou sluneční hmotnost a
- **degenerované bílé trpaslíky**, jejichž typická hmotnost je srovnatelná s hmotností Slunce, ale poloměr mají jako Země, nebo i větší.

Platí zde nepřímá úměrnost: čím je hmota objektu stlačenější, tím větší je poměr jeho hmotnosti k poloměru – a tím tvrdší je také jeho energetické záření. Zdrojem rentgenových paprsků jsou ovšem i jádra některých galaxií, tedy útvary nesrovnatelně větší a hmotnější než jednotlivé hvězdy. V tomto případě však máme pravděpodobně co činit s gigantickými černými dírami o hmotnostech milionů až miliard Slunci.

■ **Přeměna gravitační energie v zářivou.** V roce 1966 se pozorovatelům podařilo ztotožnit rentgenový zdroj Scorpius X-1 s jeho optickým protějškem. Byla jím ale jen normální, nepříliš výrazná hvězda. Nezdálo se pravděpodobné, že by mohla být zdrojem pronikavých paprsků. Proto I. S. Šklovský přišel s myšlenkou, že by rentgenové záření mohlo vznikat v plynu, který z hvězdy odtéká na jejího dosud

Doc. RNDr. Vladimír Karas, CSc., (*1960) vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu UK v Praze. V astronomickém ústavu této fakulty se zabývá relativistickou astrofyzikou a aktivními galaxiemi. Působil na Mezinárodní škole pokročilých studií v Terstu. (e-mail: karas@mbox.cesnet.cz)

Prof. RNDr. Miroslav Plavec (*1925) vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu UK v Praze. Na Kalifornské univerzitě v Los Angeles se zabývá studiem těsných dvojhvězd a ultrafialovými spektry hvězd. Je zahraničním členem Učené společnosti ČR. (e-mail: plavec@bonnie.astro.ucla.edu)

nepozorovaného souputníka, snad neutronovou hvězdu. Tehdy, v době před objevem pulzarů, byly neutronové hvězdy jen hypotézou. Dnes ovšem známe stovky pulzarů a považujeme je právě za neutronové hvězdy, které rychle rotují. Řídký plyn se během pádu na malou neutronovou hvězdu zahřívá a září. Zdrojem záření tedy nejsou jaderné reakce, nýbrž prostě přeměna gravitační potenciální energie v energii zářivou, a to v neobyčejně silném gravitačním poli stlačeného objektu.

■ **Výtěžek akrece.** Postupné přetékání a následně zachycování hmoty se nazývá akrece. Je zřejmé, že takový proces bude z energetického hlediska tím účinnější, čím stlačenější je těleso, na něž hmota dopadá. U neutronových hvězd může energetický výtěžek akrece převýšit i výtěžnost jaderných reakcí. Akrecí každého gramu plynu se uvolní více záření, než by se uvolnilo přeměnou stejného množství vodíku na helium, což je neproduktivnější jaderná reakce. Právě dvojhvězdy – s jednou velmi hutnou složkou sdruženou s normální hvězdou – se jeví jako ideální zdroje energetického záření. Pohromadě tu máme jak objekt s extrémně silnou gravitací na povrchu, tak zdroj plynu, jenž se může při pádu zahřát a začít zářit.

■ **Hmotnost složek dvojhvězdy** je určena podmínkami při jejich vzniku. Často bývá rozdílná. Hmotnější složka se vyvíjí rychleji, protože je v ní vyšší tlak a vyšší centrální teplota, takže reakce probíhají velmi intenzivně. Rentgenovým zdrojem se ale nakonec stane právě ta méně hmotná hvězda. Hmotnější složka dvojhvězdy totiž dříve dosáhne vývojového stadia obra a značně se „nafoukne“. Tím se zeslabí její vlastní přitažlivost působící na vnější vrstvu hvězdné obálky, a ta pak pod vlivem přitažlivosti druhé složky začne přetékat. Přetékající hmota zpravidla nedopadá na druhou složku přímo, nýbrž poměrně dlouho kolem ní krouží a jen pozvolna klesá vířivým pohybem po spirální dráze. Okolo menší složky tak vznikne diskovitý útvar – akreční disk (poprvé jej popsali K. H. Prendergast a G. R. Burbidge r. 1968). Vznik akrečního disku je umožněn souhrou dvou faktorů: velkým momentem hybnosti, který plyn získal ze své mateřské hvězdy, a třením, tedy viskózními silami, jež určují pohyb plynu a zároveň vyvolávají jeho postupný ohřev. Tento scénář byl o dva roky později potvrzen na základě měření rentgenovskou družicí UHURU.

Černé díry, nebo neutronové hvězdy?

Také Cygnus X-1 je dvojhvězdou. Jedna její složka je dosti velká, ale ne úplně vzácná; je to totiž veleobr s běžným vzhledem spektra. Hutného souputníka není snadné pozorovat přímo, přestože právě on je příčinou silného rentgenového záření. Jeho přítomnost je však zřejmá z periodického posuvu spektrálních čar viditelné složky a je známo, že vzájemná oběžná doba činí necelých 6 dnů.

■ **Jeden ze tří typů vyloučen.** Z charakteru rentgenového záření bylo záhy patrné, že v úvahu přichází pouze neutronová hvězda nebo černá díra. Bílí trpaslíci jsou rozměrnější a méně stlačení, takže dopadající plyn se tolik nezahřeje a vydává paprsky o nižší energii. K rozhodnutí mezi neutronovou hvězdou a černou dírou by přispělo přesné určení hmotnosti. Neutronové hvězdy mají (na rozdíl od černých děr) horní mez přípustné hmotnosti (zřejmě mezi 1,4 až 3,5 Slunce). Každý hmotnější objekt je velmi nadějným kandidátem na černou díru. I když takový objekt přímo nevidíme, můžeme jeho hmotnost vy počítat z oběžného pohybu viditelné hvězdy.

HMOTNOST HVĚZD – ARGUMENTY A NEJISTOTY

Přestože horní hranice hmotnosti neutronových hvězd závisí na řadě faktorů, teoretická fyzika nám poskytla několik přesvědčivých argumentů, které rozsah přípustných hodnot zužují. Například Rhoades a Ruffini r. 1974 ukázali, že nerotující neutronová hvězda nemůže přesáhnout hmotnost 3,2 Slunce, pokud jsou splněny tři podmínky:

- 1) Stavbu hvězd určuje gravitace v souladu s obecnou teorií relativity.
- 2) Tlak ve hvězdě závisí pouze na její hustotě a vzrůstá při stlačení.
- 3) Rychlost zvuku ve hvězdné látce je menší než rychlost světla.

Jenomže v přírodě je situace složitější. Hvězdy rotují, stavová rovnice tekutin nezávisí jenom na hustotě atd., takže přesná číselná hodnota maximální hmotnosti neutronových hvězd může být ve skutečnosti vyšší. Hlavní díl nejistot kolem objektu Cygnus X-1 má kořeny v té „normální“ veleobří složce. Takové objekty mají vysokou hmotnost a jsou to neobvykle mladé zdroje (jejich stáří nepřesahuje 10 milionů let).

Jejich protipólem jsou soustavy s nízkou hmotností. Složka ztrácející plyn v nich mívá sotva jednu sluneční hmotnost, vyvíjí se proto velmi pomalu a celý objekt je starší než miliardu let. K přesnému určení hmotnosti jsou vhodné přechodné rentgenové zdroje, které rentgenově září jenom asi tak půl roku během každých několika desítek let. V období klidu, když se přetékání plynu snižuje nebo přerušuje, můžeme tyto objekty dobře sledovat v optickém oboru. To je důležité pro přesná fotometrická a spektroskopická měření.

■ **Který ze dvou zbývajících?** Na tomto místě vstupují do hry další parametry, které je třeba určit, například hmotnost veleobra dané spektrální třídy (se značnou nejistotou kolem 20 Sluncí) či orientace roviny dráhy vůči pozorovateli. Ta se měří těžko. Spektroskopicky jsme totiž schopni změřit pouze složku dráhové rychlosti promítnutou do směru zorného paprsku, ale nevíme, jak je dráhová rovina k tomuto směru skloněna (kdyby byla například k zornému paprsku kolmá, nenaměřili bychom vůbec žádnou dráhovou rychlost).

■ **Pachatel identifikován, ale neuvěřitelně.** V problému hmotnosti neviditelné složky dvojhvězdy Cygnus X-1 je tedy hodně nejistoty, nicméně nejpravděpodobnější hodnota je kolem 9 Sluncí, což je podstatně více než horní mez hmotnosti neutronové hvězdy. Určitá nedůvěra v identifikaci tohoto objektu s černou dírou ovšem přetrvává. Pochybnosti vycházejí především z toho, že přijatelná dolní mez hmotnosti tohoto stlačeného objektu je jen 3,3 sluneční hmotnosti, tedy dosti blízko přijatelné horní mezí pro neutronové hvězdy. Navíc máme dosud mezery ve vědomostech o chování tekutin při nepředstavitelně vysokých hustotách, jaké panují v neutronových hvězdách. Přesný charakter a hmotnost viditelné složky známe taky jen nejistě, protože hvězd podobné povahy je poměrně málo. Krom toho mnohé dvojhvězdy jsou vlastně trojhvězdami, a kdyby i v tomto systému existovala – zatím hypotetická – třetí složka, bylo by nutno opravit výpočty dráhy a hmotností.

Exotické možnosti

Kompaktní objekt s hmotností menší než dvojnásobek hmotnosti Slunce tedy nemůže být černou dírou. Jak dalece jsme si ale jisti závěrem, že běží o neutronovou hvězdu? Ne tak docela, i když neutronové hvězdy zůstávají nejlepším modelem pulzarů. Tyto hvězdy se skládají ze směsi neutronů, protonů, elektronů, mezonů, hyperonů a dalších částic držených pohromadě gravitační silou. Osamocené

neutron se sice během několika minut rozpadá, ale vázán v atomu nebo uvnitř neutronové hvězdy se stává stabilní částicí, a tak neutronové hvězdy mohou existovat „navěky“. Známe však ještě neobvyklejší, a přesto stabilní konfigurace, jejichž hmotnosti a rozměry jsou podobné neutronovým hvězdám nebo černým díram.

■ **Podivné hvězdy.** Roku 1984 předložil E. Witten model „podivných hvězd“. V podstatě jsou to gigantické nukleony, v nichž se mohou uvězněné kvarky volně pohybovat po celém objemu hvězdy. Hmotnost těchto podivných hvězd je shora omezena asi dvojnásobkem sluneční hmotnosti (podobně jako u neutronových hvězd).

Koncem osmdesátých let upozornil J. Bahcall s kolegy na skutečnost, že podle některých teorií silné interakce by mohly být uvězněny i protony a neutrony. V takovém případě je chování plynu velmi odlišné od obvyklých vztahů při relativně nízké hustotě.

■ **Q-hvězdy** jsou modely založené na této myšlence. Jde o velmi hutné útvary, jejichž rozměr je pouze o 40 % větší než u černé díry téže hmotnosti. Hmotnosti Q-hvězd však nejsou omezeny shora – klidně mohou přesáhnout stonásobek hmotnosti Slunce.

■ **Význam uvedených možností** spočívá v tom, že předkládají protipříklady standardních interpretací. Není možné je jednoduše vyloučit pouze na základě hmotnosti a rozměrů. K tomu je třeba důkladně zkoumat také detailní spektrum rentgenové emise a časové chování (rotaci pulzaru a její nepravidelné změny). Především se však s netrpělivostí očekává objev gravitačních vln, protože ty umožní sle-

dovat dynamické změny gravitačního pole, které by zas měly charakterizovat vznik černé díry a jasně ji odlišit od případné velmi hmotné Q-hvězdy. Detektory gravitačních vln jsou dosud „ve stavbě“, a proto i cesta k důkazu černých děr v rentgenových dvojhvězdách bude asi ještě dlouhá. Přesto lze říci, že rentgenová pozorování otevřela nový pohled na vesmír. Jako první nás dovedla k potvrzení existence velmi hutných hvězd a téměř až k samotným černým díram.

Nic nenasvědčuje tomu, že bychom poznatky o kosmických rentgenových zdrojích dokázali vbrzku zužitkovat k přímému prospěchu lidské civilizace, jako je tomu s rentgenovými paprsky v medicíně. Přesto se nám zdá, že o smyslu a významu tohoto bádání svědčí nejlépe slova napsaná samotným Röntgenem jenom rok před objevem nových paprsků: *Univerzita je kolébkou vědeckého zkoumání a duchovního vzdělávání. Je místem, kde se zušlechťují ideály studentů i jejich učitelů. Významnost její existence dalece přesahuje přímý praktický užitek, a právě z toho důvodu je nezbytné vybírat na volná místa vynikající badatele hájící zájmy vědy, ne jenom učitele; vždyť každý opravdový vědec, jenž bere svůj úkol vážně, ať už je jeho cesta jakákoli, klade si cíle nejvyšší a je skutečným idealistou v nejlepším smyslu tohoto slova. Možnost náležet k této organizaci by učitelé a studenti měli považovat za svou nejvyšší čest. Taková hrdost na vlastní profesi je nutná, nesmí však přerůst v domýšlivost, snobství a akademickou aroganci, které tak často vyrůstají z přemíry falešné samolibosti...* (Otto Glasser, Röntgenova biografie). □

Pozor, vyletí jeden foton!

Jak pouštět fotony po jednom

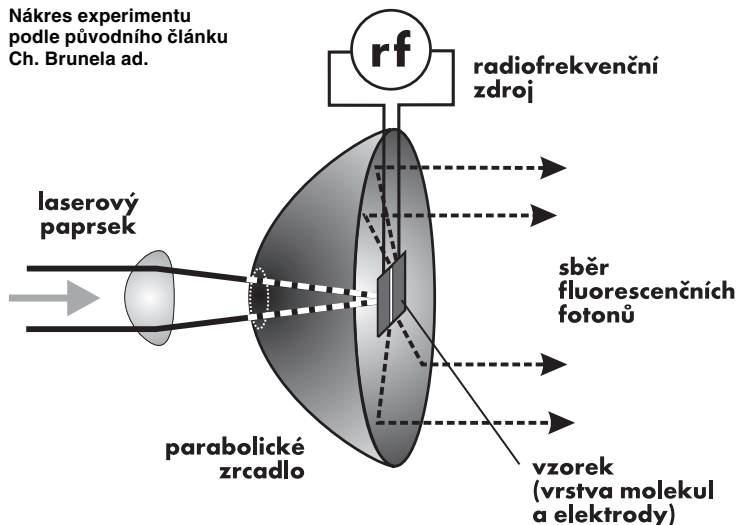
JAN VALENTA

Pro mnoho fyzikálních experimentů a technických aplikací by bylo užitečné mít k dispozici *kontrolovatelný zdroj jednotlivých fotonů*. Ten by měl umět buď v žádaném okamžiku vypustit právě jeden foton, nebo vysílat jeden foton za druhým v pravidelných intervalech. Sestrojení takového zdroje je však velmi obtížné. Všechny běžné zdroje světla (i lasery) pracují s ohromným počtem fotonů – i když proud světla zeslabíme (třeba nastavením málo propustné překážky) natolik, že už bude procházet jen sem tam jeden foton, nikdy nebudeme schopni zaručit, v kterém okamžiku foton přijde.

Zatím nejúspěšnější pokus o realizaci periodického zdroje jednotlivých fotonů představila nedávno skupina prof. Oritta z Univerzity Bordeaux I (Ch. Brunel ad., Physical Review Letters 83, 2722–2725, 4. 8. 1999). Francouzští vědci využili své zkušenosti s měřením spekter jednotlivých molekul a skutečnost, že jedna fluoreskující molekula nebo atom může po převedení do vybuzeného stavu vyslat pouze jeden foton v daném okamžiku (jev zvaný „photon antibunching“ – antishlukování). Pokud budeme molekulu spojitě excitovat – třeba laserem – bude vysílat jednotlivé fotony (při přechodu z vybuzeného do základního stavu) v nepravidelných intervalech, přičemž četnost fotonů bude záviset na intenzitě buzení a na době života vybuzeného stavu (charakterizuje dobu, po kterou systém ve vybuzeném stavu setrvá). Abychom mohli kontrolovat, kdy bude foton vyslán, musíme mít kontrolu

nad převedním molekuly do vybuzeného stavu. K tomu vědci z Bordeaux využili fakt, že energetické stavy molekuly lze posouvat působením elektrického pole (Starkův jev). Laser měli naladěný tak, že byl v rezonanci s absorpčním přechodem molekuly při nulovém poli. Po zapnutí radiofrekvenčního zdroje (frekvence několik MHz) pak byla absorpční frekvence molekuly modulována vnějším elek-

Nákres experimentu podle původního článku Ch. Brunela ad.



trickým polem a pouze v okamžicích nulové hodnoty pole (dvakrát za periodu kmitů) se molekula dostala do rezonance s laserem a mohla absorbovat a následně vyslat foton.

Pro experiment byla vybrána stabilní molekula s vysokým výtěžkem fluorescence (při dostatečně nízké teplotě, kdy je snížena možnost nezářivé relaxace molekuly, je výtěžek fluorescence blízký jedné, tj. téměř každý absorbovaný foton vyvolá emisi jednoho fluorescenčního fotonu). Experiment byl prováděn v podobném uspořádání, v jakém jsou měřena fluorescenční spektra jednotlivých molekul (Vesmír 76, 485, 1997/9). Molekuly byly rozpuštěny v rozpouštědle a nanášeny na křemennou podložku s dvěma hliníkovými elektrodami těsně u sebe; vzorek byl pak ochlazen na teplotu 1,8 K v optickém kryostatu. Vlnová délka laseru byla vybrána tak, že po soustředění paprsku na malou plochu mezi elektrody byla pouze jedna z osvětlených molekul v rezonanci s laserem – byla schopna absorbovat fotony laseru. Emitované fotony byly velmi účinně soustředěny malým parabolickým zrcadlem a přivedeny na detektor.

Po připojení radiofrekvenčního zdroje na elektrody vzorku toto zařízení skutečně začalo vysílat jed-

notlivé fotony v intervalu asi 0,2 mikrosekundy (frekvence 5 MHz). Bohužel, zdroj není zcela dokonalý – sled fotonů má mezery, neboť pouze v 74 % případů průchodu molekuly rezonancí dojde k emisi právě jednoho fotonu. Prof. Orrit odhaduje, že bude možné dosáhnout zlepšení účinnosti až na 95 %.

Představený zdroj jednotlivých fotonů je velkou nadějí pro rozvoj kvantové kryptografie (Vesmír 77, 633, 1998/11), kvantových počítačů a dalších aplikací vyžadujících možnost připravit jednotlivé fotony v žádaném stavu. Vzhledem k nutnosti chlazení molekul na teplotu kapalného helia a excitaci laditelným laserem s velmi úzkou spektrální šířkou je však popsán zdroj příliš rozměrný a drahý na to, aby se mohl rozšířit. Z tohoto pohledu je nadějnější druhý klíčovaný zdroj jednotlivých fotonů – představený dříve v letošním roce (Nature 397, 500, 1999). Ten je založen na polovodičových nanostrukturách a mohl by být potenciálně integrován do současných polovodičových součástek. V každém případě je popsán experiment dalším důkazem toho, že zdánlivě „nepraktická“ odvětví čisté vědy (zde optické spektroskopie jednotlivých molekul) mohou nalézt nečekané uplatnění v technické praxi. □

O vybíravosti samic

RADKA AIXNEROVÁ

Samice všech zvířat jsou velmi vybíravé při volbě otce svých potomků. Do svých mláďat investují více energie než samci, a proto jich mívají méně, zato s co nejlepšími partnery. Samci se můžou rozmnožovat častěji, takže na kvalitu samic tolik nehlídají. Počet jejich potenciálních partnerek je ale omezený a samci o ně musí soutěžit.

Samicím savců imponují silní a nebojácní rváči, samice ptáků však mají jiný vkus. Často dávají přednost nazdobeným krasavcům libujícím si v různých výstřednostech, které se hodí spíš k přilákání predátorů než k boji. Samci nemají na vybranou, samicímu vkusu se musí podřídít. Proč si ale ptačí samice vybírají takové hendikepované (byť krásné) samce? Vždyť zbytečně ohrožují všechny své mužské potomky! Za všechno zřejmě můžou samicí geny pro vybíravost. Setupme z úrovně organizmu a podívejme se na celý problém na úrovni genů. Dříve si ale musíme ujasnit, jak je to s určením pohlaví.

O pohlaví rozhoduje sestava pohlavních chromozomů vzniklá při oplození vajíčka. Samice savců charakterizuje sestava XX (homogametické pohlaví), samce pak XY (heterogametické pohlaví). U ptáků je tomu právě naopak. Homogametičtí jedinci (s pohlavními chromozomy ZZ) jsou samci, heterogametičtí (ZW) samice. Protože mezi velkým úsekem dvojice chromozomů X a Y nebo Z a W nedochází k rekombinaci, můžou se v příslušné části chromozomu, který se vyskytuje jen u jednoho pohlaví (tedy Y nebo W), hromadit geny prospěšné jen tomuto pohlaví (viz Vesmír 78, 176, 1999/3).

Na savčím chromozomu Y byly nalezeny například geny řídící vývoj zubů, celá sada genů kontrolujících spermatogenezi, gen ovlivňující velikost jedince či gen pro růst embrya. Řada z nich patrně zajišťuje, aby jejich nositel obstál v konkurenci jiných samců, vybojoval a oplodnil co nejvíce samic a předal tak co nejvíce jejich kopií do další generace. Když už se to povede, není od věci podpořit růst vzniklého embrya, svého nového hostitele. I ono ostatně musí konkurovat svým sourozencům v získávání mateřské potravy (samčí embrya některých savců jsou díky růstovému faktoru chromozomu Y skutečně vyvinutější než ta samicí).

U ptáků je situace opačná, heterogametickým pohlavím jsou samice. To ony mají geny, které se nikdy nedostanou do samců, a jsou mezi nimi pravděpodobně i geny pro vybi-

ravost. Právě tyto geny můžou naprogramovat samici, aby si vybírala ty největší výstřednosti, ať samce stojí co stojí. Je jim úplně jedno, že tím škodí všem samicím genům (kromě těch na chromozomu W), které se v příštích generacích mohou ocitnout v genomech samců.

U savců si tohle samicí geny nemůžou dovolit na žádném chromozomu. V příští generaci se totiž geny na chromozomu X s padesátiprocentní pravděpodobností ocitnou v genomech samců – a kdyby naprogramovaly samici, aby si vybírala samce hendikepované výstředními ozdobami, skončily by pravděpodobně v zubech dravců. V evoluci proto mají u savců daleko větší šanci na přežití ty geny, které samici vedou k výběru partnera podle síly svalů, velikosti parožní nebo délky zubů. (Tree 14, 58–61, 1999) □

DARWINŮV OMYL LZE SNADNO OMLUVIT

Problém rozmaných ptačích samic je dalším příkladem, na kterém lze demonstrovat platnost teorie sobeckého genu, tedy to, že v průběhu evoluce se ne vždy fixují geny zvyšující biologickou zdatnost svých nositelů, jak se domníval Darwin, ale vždy geny, které zvyšují pravděpodobnost svého vlastního přenosu do dalších generací. Darwinův omyl však můžeme snadno omluvit. Naprostá většina genů na jiných než pohlavních chromozomech tohoto svého sobeckého cíle dosahuje skutečně tím, že zvyšuje biologickou zdatnost svých nositelů. Zbývá ještě vysvětlit, jak může gen zvýšit pravděpodobnost svého vlastního přenosu do další generace tím, že „naprogramuje“ samici, aby si přednostně vybírala například samce s dlouhými ocasními pery. Na tuto otázku odpovídá například Zahviho hendikepová hypotéza (viz rovněž M. Macholán, Vesmír 78, 625–627, 1999). Jestliže si samice vybere samce hendikepovaného mimořádně dlouhými ocasními pery, sází na to (přesněji: sázejí na to její geny pro vybíravost), že samec musí být jinak mimořádně kvalitní, když se i s takovým hendikepem dožil reprodukčního věku. Jestliže extravagantní znak má nižší dědivost než geny pro zdatnost (což zejména u znaků exprimovaných pouze u příslušníků jednoho pohlaví je předpoklad vcelku rozumný), ocitnou se geny pro vybíravost v příští generaci v genomech mimořádně silných potomků (z nichž jen někteří zdědí i příslušný hendikep). Jaroslav Flegr