



# **KOSMICKÉ ROZHLEDY**

NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV

**1/1975**

# KOSMICKÉ ROZHLEDY, neperiodický věstník Československé astronomické společnosti při Československé akademii věd

ročník 1975

číslo 1

M. J. Rees

## Černé díry I

Bylo to před čtyřiceti lety, kdy Chandrasekhar určoval horní mez pro hmotu bílých trpaslíků. Výsledek byl velmi podnětný, protože vypočtená hranice byla jen o málo větší než hmota Slunce. Okamžitě vstala otázka: Co se stalo s hvězdou s mnohem větší hmotou, která spotřebovala svoji jadernou energii? Je přirozeně možné, že hvězda na konci vývoje může ztratit většinu své hmoty, aby se mohla zhroutit jako bílý trpaslík, jehož hmota je pod Chandrasekharovou mezí ( $\sim 1,2$  slunečních hmot). Jinou možností je, že vnější vrstvy jsou explozivně odvrženy při výbuchu supernovy a hvězda dožívá jako neutronová hvězda, což se, jak se zdá, stalo v případě Krabí mlhoviny. Dnes však z teorie vyplývá mez i pro hmotu neutronové hvězdy. Tato mez je poněkud nejistá, protože závisí na stavové rovnici plynu při jaderných hustotách ( $\sim 10^{15}$  g/cm<sup>3</sup>). Je však téměř jisté menší než 3 hmoty Slunce. Je nepravděpodobné, že by se hvězdy vyznačovaly "předvídatostí", díky níž by ztratily dostatek plynu, aby byly bezpečné pod touto mezí. Libovольný "ostatek" s hmotou 2 - 3  $\odot$  nemůže vlastními silami zabránit úplnému gravitačnímu kolapsu, protože vnitřní tlak není schopen udržet hvězdnou hmotu v rovnováze, když její zásoby jaderné energie byly vyčerpány. Přitom hvězdy s hmotou větší než 2 - 3  $\odot$  ukončí svůj vývoj za mnohem kratší dobu, než je stáří Galaxie. Tento závěr naznačuje, že naše Galaxie může obsahovat velký počet gravitačně zhroutených těles.

Taková tělesa se nazývají černé díry. Mohou být zhroutena do tak malých rozměrů, že ani světlo, ani jiný signál z nich nemohou uniknout. Možnost výskytu černých děr je ve skutečnosti důsledkem téměř všech gravitačních teorií; tedy nejen Einsteinovy obecné relativity. Na možnost jejich existence poprvé upozornil Laplace (1798), který vycházel z newtonovské gravitace a z balistické teorie světla. Laplace ukázal, že světlo nebude schopné uniknout z tělesa 250 krát většího než Slunce při stejné hustotě, jako má Země. Odtud vyplývalo, že největší vesmírná tělesa mohou být pro nás neviditelná. Je pochopitelně jasné, že newtonovská teorie gravitace není vhodná pro rozbor případu, kdy gravitační pole jsou velmi silná. Je však stále dosti nejisté, kterou teorii lze rozšířit na tuto oblast. Prvý teoretický popis černé díry (v rámci obecné relativity) pochází od Schwarzschilda, který odvodil metriku, jež popisuje gravitační pole kolem sféricky symetrické hmoty. Ze Schwarzschildovy metriky vyplývalo, že existuje tzv. "horizont" mající poloměr

$$R_S = 2GMc^{-2} \approx 3(M/M_{\odot}) \text{ km.}$$

Ačkoliv horizont nelze považovat za "fyzickou" plochu, odpovídá minimálnímu rozměru, z něhož se světlo může dostat k vnějšímu pozorovateli nebo (což je skoro ekvivalentní) vzdálenosti, při níž je gravitační rudý posuv nekonečný. Laplaceův postup opravdu dává přesně tutéž hodnotu pro poloměr horizontu. Ačkoliv je oblast uzavřená horizontem skryta před pohledem vnějšího pozorovatele, mohl by volně padající experimentátor vniknout dovnitř. Při průchodu sférou  $R = R_g$  by nepozoroval nic speciálního, třebaže právě vstoupil do oblasti, z níž nemůže nikdy uniknout, i kdyby se jakkoliv silně urychloval. Může eventuálně dosáhnout singularity ve středu horizontu, kde podle Schwarzschildovy metriky slapové síly (rozdíl mezi přitažlivostí v oblasti jeho rukou a nohou) dosáhnou nekonečné hodnoty, což bude experimentátorův konec. Ačkoliv padající pozorovatel dosáhne singularity v konečném čase (měřeno jeho hodinkami), vnější pozorovatel nikdy nevidí jeho pád za  $R_g$ . Jakmile se bude blížit padající experimentátor k horizontu, budou jeho hodiny vůči vzdálenému pozorovateli zpomalovat svůj chod. Libovolný signál, který padající fyzik vyšle, bude mít stále větší rudý posuv. (Rudý posuv exponenciálně roste v časové škále srovnatelné s dobou, za kterou světlo proběhne dráhu  $R_g$ , jež je pouze  $\sim 10^{-5}(M/M_\odot)$ s; to znamená, že pro černou díru s hvězdnou hmotou "zmizí" padající experimentátor a jeho signály "pohasnou" za zlomek milisekund). To ale znamená, že v bezpečné vzdálenosti se nelze dozvědět o extrémních podmínkách v blízkosti centrální singularity. Faustovské naléhání musí být dostatečně silné, aby se někdo odvážil překročit horizont vzdor tomu, že za ním dochází k nevyhnutelné zkáze.

Roku 1963 Kerr našel další exaktní řešení Einsteinových rovnic, které (jak se Kerr domníval) odpovídá zhroutenému rotujícímu objektu. Poslední desetiletí se vyznačovalo velkým vzrůstem zájmu o gravitační teorie. Bylo to způsobeno částečně rozvojem teorie, ale také částečně možností prověřování teorií experimentem.

Jedním ze základních výsledků, který přinesl teoretický pokrok v obecné relativitě, byl důkaz, že v protikladu s Newtonovou teorií se singularita objeví dokonce i v případě bez sférické symetrie. Kromě toho se zdá, že jakmile jednou černá díra vznikne, rychle se ustálí do "standardního" stacionárního stavu, kdy její vnější gravitační pole je charakterizováno právě dvěma volnými parametry, a sice hmotou a kinetickým momentem. Tento výsledek je někdy popsán větou: "Černá díra nemá vlasy". Proto tzv. Kerrovo řešení, zpočátku považované za speciální nebo dokonce atypický případ, má zásadní význam, neboť popisuje metriku prostoročasu kolem libovolné černé díry. Většina ostatních životaschopných gravitačních teorií (zejména široce diskutovaná Bransova-Dickeova teorie) předpovídá, že černé díry mohou mít poněkud odlišné vlastnosti. Proto jedním ze základních motivů pro výzkum černých děr je prověřování gravitačních teorií za extrémních podmínek.

Existuje však i několik dalších důvodů pro studium černých děr. Mají význam pro astrofyziku, neboť černé díry jsou v jistém smyslu "přízraky" mrtvých hvězd a lze se od nich leccos dozvědět o závěrečných stadiích vývoje hvězd. Mohou být rovněž přítomny (jak bude řečeno později) v různých nápadných astronomických objektech. Pro fyziky je gravitační kolaps důležitý proto, že singularita musí být oblastí, kde klasický gravitační zákon přestává platit a je třeba kvantová teorie gravitace,

abychom pochopili, co se zde vlastně děje. Mnozí lidé tvrdí, že paradoxy spojené se singularitou v černé díře jsou tak podstatné a jejich důsledky budou mít takový dosah jako otázky spojené se zářením černého tělesa a se stabilitou drah elektronů v atomu. Tyto hádanky se luštily na počátku dvacátého století a vedly k rozvoji kvantové teorie. Černé díry mají vztah k našemu obecnému pojetí prostoru a času, poněvadž v jejich blízkosti vypadá prostor velmi podivně (např. čas by se mohl zastavit pro pozorovatele vznášejícího se právě "nad" horizontem; navíc by "naš fyzik" mohl vidět celou budoucnost vesmíru, která by mu připadala celkem krátká) a velmi zvláštní věci se mohou přihodit uvnitř horizontu.

V dnešním článku se soustředíme na některé astrofyzikální otázky. Nejdříve se budeme zabývat černými děrami, které možná představují závěrečné stadium vývoje hvězd. Potom se zmíníme o možnostech, jak by jinak mohly vznikat černé díry s mnohem většími (a snad i s mnohem menšími) hmotami.

### "Normální" černé díry

Vznik černé díry, která má hmotu jako hvězda, je pravděpodobně spojen s nějakou katastrofou, jako je výbuch supernovy. Když se černá díra bude "usazovat" do stacionárního stavu (který v relativistické teorii popisuje Kerrova metrika), bude vyzařovat gravitační vlny. Právě výzkumu těchto vln je věnována velká pozornost. Gravitační vlny však působí velmi slabě na všechny myslitelné detektory, které by mohly být vybudovány v laboratoři. Proto se zdají být málo aktuální projekty aparatur, které by byly dostatečně citlivé, aby zaregistrovaly vznikající černou díru, pokud by tento proces probíhal dostatečně blízko od nás. Weberovy přístroje by mohly zjistit "vzplanutí" gravitačního záření (které by obsahovalo jednu sluneční hmotu změněnou v energii) pouze tenkrát, kdyby byl zdroj vzdálen od Země nanejvýš 1 kpc. Vědci by naproti tomu potřebovali, aby bylo možné zaregistrovat smrt hvězdy vzdálenější než kupa galaxií v Panně ( $\sim 15$  Mpc). Kdyby to bylo možné, registrovala by se více než jedna událost za rok. Vyžadovalo by to však zvýšení citlivosti, vyjádřitelné (vůči dnešku) faktorem  $10^8$ .

Nejnadějnější by tudíž mohlo být hledat černé díry, které už vznikly a ustálily se ve stacionárním stavu. Takový objekt je neobyčejně pasivní a je třeba pátrat po gravitačních efektech, jimiž se projevuje a ovlivňuje sousední tělesa nebo okolní materiál. Je obtížné odhadnout, kolik hvězdných černých děr by mohlo existovat v Galaxii. Zdá se, že kolem 10% hmoty shlukující se ve hvězdy vytvoří hvězdy s hmotami většími než 10 Sluncí. Pokud tomu tak bylo po celou historii Mléčné dráhy, potom (kdyby i tyto hvězdy obecně ztratily během vývoje většinu své hmoty) můžeme očekávat, že je v Galaxii až miliarda černých děr. Tento odhad může být dokonce příliš nízký, protože mezi hvězdami, které vznikaly, když byla Galaxie mladá, mohlo být více velmi hmotných objektů. (Několik autorů opravdu nedávno vyslovalo názor, že galaktické halo možná obsahuje zhroutené zbytky první generace velmi hmotných hvězd.) Je rovněž možné, že některé neutronové hvězdy (což je pravděpodobně  $10^6$  až  $10^9$  pulsarů v Galaxii) mohou zachytit tak mnoho hmoty, že eventuálně překročí mezní hodnotu pro stabilitu a proběhne úplný kolaps. Budeme-li se ptát, jak objevit tyto objekty, přijde nám asi nej dříve na mysl hledání gravitačních čoček, které vytváří gravi-

tační pole těchto černých děr. Tuto možnost lze však brzy pus-  
tit ze zřetele. Pravděpodobnost, že nějaká černá díra bude na  
téže přímce se vzdálenější hvězdou a Zemí, je pochopitelně velmi  
malá. Dokonce kdyby k výše uvedenému seřazení došlo, byl by  
výsledný efekt těžko odlišitelný od případu, kdy čochku vytváří  
nějaká slabá hvězda, nalézající se mezi námi a vzdálenou hvězdou.  
Kdyby černá díra byla složkou dvojhvězdy, naděje na seřazení  
by obvykle byly mnohem větší. V tomto případě však k podstatnému  
zjasnění nedojde. Všechno, co by se mohlo stát, je malá změna  
zdánlivého úhlového rozměru hvězdy a malá tmavá skvrna kolem  
místa, kde je černá díra. Objevit takové jevy by bylo téměř  
nemožné. Připomenme si obtíže s pozorováním přechodu Merkura  
přes Slunce a bude nám zřejmé, jak obtížné by bylo objevit  
ještě menší objekt, zakrývající nepatrně vzdálenou hvězdu.

Poněkud nadějnějším postupem bude možná pátrání po gravi-  
tačním působení (buď jednotlivých, nebo skupin) černých děr  
na hvězdné soustavě. Vezměme nejdřív v úvahu dynamiku Galaxie  
jako celku. Všechno, co můžeme říci, je, že černé díry nemohou  
obsahovat více než asi 20% hmoty galaktického disku, protože  
potřebu většiny hmoty (k vysvětlení dynamických vlastností)  
lze pokrýt odjinud. Mez pro černé díry v galaktickém halo není  
tak striktně určena, ale neexistuje žádný přímý důkaz pro  
existenci zhroucených těles v této oblasti. Místo hledání vlivu  
černých děr na celou Galaxii můžeme vzít v úvahu menší dyna-  
mické soustavy - např. kulové hvězdokupy. Existují přijatelné  
teoretické důvody, proč lze očekávat jednu nebo dokonce více  
černých děr ve středech kulových hvězdokup. Kdyby tomu tak bylo,  
hvězdy by jevíly tendenci soustřeďovat se v centrálních oblas-  
tech a my bychom mohli pozorovat jasnou skvrnu ve středu hvězdo-  
kupy. Zatím však neexistuje žádný důkaz, že by se plošná jasnost  
v blízkosti středu kulové hvězdokupy nějak lišila od hodnoty,  
kterou bychom mohli očekávat, kdyby byly hvězdy rozloženy jako  
v izotermické plyné sféře. Přesnost těchto měření dovoluje  
určit horní mez hmoty takového centrálního tělesa. Tato mez  
je okolo 1% hmoty celé hvězdokupy. Studium kulových hvězdokup  
nedává žádný důkaz pro existenci černých děr. Zpřesňování hod-  
noty této meze však klade zajímavé omezení na vývoj kulových  
hvězdokup. Znamená to buď, že hvězdy v kupě ztratily během  
svého vývoje větší část hmoty, nebo že pouze malá část hmoty  
(ve srovnání s dnešním stavem jiných oblastí Galaxie) vytvořila  
velké hvězdy.

Možnost nalezení černé díry v dvojhvězdě pomocí studia  
gravitačního působení na druhou složku zkoumali Trimble a Thorne.  
Vycházeli z Battenova katalogu spektroskopických dvojhvězd, od-  
kud odvodili seznam soustav, v nichž je pouze jedna složka vi-  
ditelná a hmota druhé hvězdy převyšuje Chandrasekharovu mez.  
Zvláštní pozornost věnovali soustavám, v nichž je neviditelná  
složka hmotnější než viditelná. V žádném případě však Trimble  
a Thorne nedokázali, že by byl výklad pomocí černé díry nezbytný;  
vždy existovaly jiné interpretace, které nebylo možné vylou-  
čit. Např. neviditelná složka mohla být sama dvojhvězdou, z če-  
hož vyplývala menší svítivost pro stejnou celkovou hmotu; nebo  
mohla primární složka opustit hlavní posloupnost, a tudíž být  
vzhledem ke své hmotě mnohem svítivější; nebo mohlo být samo  
spektrum tak složitě, že jakákoliv interpretace byla obtížná a  
nepřesvědčivá. Je zde však ještě jedna možnost, jak bychom se  
mohli snažit vybrat právě takové dvojhvězdy, které obsahují  
zhroucené složky. Zejména je možné využít faktu, že kolaps je  
explozivní proces, při němž dochází k náhlé ztrátě hmoty, takže

se původně kruhová dráha může stát excentrickou. Potom je třeba nechat působit asi  $10^8$  let slapové síly, aby se excentrická dráha stala opět kruhovou. Náhlá ztráta hmoty jedné složky by také mohla udělit soustavě neobvyklou rychlost vůči okolním hvězdám. Ani tyto úvahy však dosud nevedly k nalezení "důvěryhodných kandidátů na černoděrství". (Ačkoliv ztráta hmoty a la supernova se zdá být téměř nevyhnutelným průvodním jevem při vzniku neutronové hvězdy, není vůbec jasné, zda je tento proces nezbytný při vzniku černé díry.) Nadějnější způsob, než je hledání gravitačního působení černých děr na jiné hvězdy, představuje studium jevů spojených se zachycováním plynu na zhroutené objekty. První kvantitativní rozbor akrečních procesů se uskutečnil roku 1940 kvůli vysvětlení velkých svítivosti O a B hvězd. Od tohoto názoru se však upustilo a to částečně proto, že požadované hustoty okolního plynu značně převyšovaly pravděpodobné mezihvězdné hodnoty. Akreční efekty na černých dírách však mohou být mnohem podstatnější. Je to proto, že padá-li hmota na běžnou hvězdu, uvolněná gravitační energie je přibližně  $10^6$  krát menší než zbývající energie spojená s hmotou. Jestliže však stejné množství hmoty padá na černou díru, může být kolem 10% celkové energie ( $E = mc^2$ ) přeměněno v záření. Několik autorů se nedávno pokoušelo vypočítat svítivost černé díry zachycující mezihvězdnou hmotu. Zjistilo se, že účinnost je obecně menší než 1%, a to zejména proto, že plyn překročí horizont dříve, než mohl vyzářit více energie. Rovněž je obtížné odhadnout, jak bude vypadat spektrum tohoto záření. Schwarzmann vyslovil názor, že některé objekty, klasifikované jako bílé trpaslíci, mohou být ve skutečnosti černé díry, zářící v důsledku uvolnění energie při zachycování mezihvězdného plynu. Schwarzmann plánuje systematický výzkum objektů tohoto druhu. Černé díry by mohly být odlišeny od bílých trpaslíků podle proměnnosti časové škály v rozmezí menším než milisekunda. V případě bílého trpaslíka, který je mnohem větší než černá díra téže hmoty, nebylo by možné očekávat tak rychlé změny.

Pozorovatelné důsledky akrece hmot mohou být mnohem nápadnější, je-li černá díra složkou dvojhvězdy. Jsou pro to dva důvody: Za prvé je druhá složka dvojhvězdy mnohem bohatším zdrojem hmoty než mezihvězdné prostředí, a to zejména, když vytváří silný hvězdný vítr nebo je-li černá díra tak blízko, že její slapové působení způsobuje únik hmoty z atmosféry hvězdy. Za druhé má hmota vytrhovaná z hvězdy tak velký kinetický moment vzhledem k černé díře, že unikající plyn nemůže padat přímo dovnitř. Místo toho bude vznikat kolem černé díry disk vytvářený hmotou, jejíž částice padají postupně po spirálách dovnitř, když jejich kinetický moment je v důsledku viskozity transportován ven. Strukturu a tvar těchto akrečních disků detailně zkoumala v nedávné době řada pracovníků. Zářivá schopnost takového disku kolem černé díry by mohla být velmi velká. Při tomto procesu se může uvolnit v podobě záření přinejmenším 6% celkové energie. V závislosti na metrice černé díry se však může uvolnit až 40% celkové energie. Tato schopnost je ve značném protikladu s 0,7% účinností termonukleárních reakcí, při nichž se mění vodík v hélium a které zásobují energií běžné hvězdy.

Většina energie se uvolňuje značně hluboko, několik Schwarzschildových poloměrů od středu. Pro objekt s hmotou několika Sluncí to znamená, že amise je soustředěna do oblasti, jejíž velikost je nanejvýš  $10^7$  cm. Aby zářivost "stála za řeč", tj. aby se všechna tato energie mohla vyzářit z tak malé plochy, musí být (podle termodynamiky) vysoká teplota. Jestliže ale

teplota tak vysoká bude, potom můžeme očekávat emisi záření hlavně v oblasti X-paprsků. Zeldovič zjistil roku 1964, že černá díra ve dvojhvězdě by mohla být zjizvitelným zdrojem X-záření. Teprve však za poslední tři roky byly pomocí kosmických pozorování rentgenových zdrojů objeveny objekty, které "vázně usilují" o zařazení mezi černé díry. Přibližně 100 zdrojů X-záření bylo objeveno v naší Galaxii a zdá se, že většina z nich jsou dvojhvězdy, v nichž rentgenový zdroj se pohybuje velmi blízko (skoro "štrejchá" o atmosféru) kolem druhé složky, která je běžná hvězda. Tyto rentgenové zdroje se většinou vyznačují rychlou proměnností. Nyní se obecně uznává, že X-paprsky vyzařuje hmota z běžné hvězdy padající na kompaktní objekt. Tato hypotéza, podle níž je energie X-paprsků převážně gravitačního původu, vysvětluje jak mohutnost rentgenových zdrojů, tak i jejich rychlou proměnnost. Některé zdroje jsou periodické a v určitém smyslu připomínají pulsary. V těchto soustavách je kompaktní objekt pravděpodobně neutronová hvězda a rychlost její rotace určuje (stejně jako u pulsarů) periodu. Na rozdíl od pulsarů však rotační energie těchto neutronových hvězd není příčinou záření. Hmoty periodických rentgenových zdrojů byly odhadnuty pomocí studia dynamiky těchto dvojhvězd a zjistilo se, že leží v oblasti, kde mohou existovat stabilní neutronové hvězdy.

Plýn vířící v okolí černé díry nemůže být příčinou žádné pravidelné periodicity. Na druhé straně nestability v přítěkájícím plynu mohou být příčinou nepravidelného velmi rychlého "mihotání". Existuje opravdu jeden hojně studovaný zdroj, a to Cygnus X-1, jehož proměnlivost v rentgenové oblasti je přesně tohoto druhu. Dokonce i kdybychom nevěděli nic o hmotě Cyg X-1, mohli bychom podle předešlých úvah tušit, že rentgenové záření tohoto zdroje vzniká při akreci hmoty černou dírou. Nyní existuje navíc dosti přesvědčivý důkaz, že hmota Cyg X-1 je opravdu příliš vysoká, než aby tento zdroj byl bílý trpaslík nebo neutronová hvězda. Z tohoto důvodu lze Cyg X-1 považovat za nejsolidnějšího kandidáta na černou díru, jaký byl dosud objeven. Vzhledem k důležitosti této otázky všimneme si podrobněji důkazu týkajícího se hmoty. První krok závisí na identifikaci Cyg X-1 se spektroskopickou dvojhvězdou HDE 226868 (9. hv. velikost, perioda = 5,6 dní), která je vzdálena 30" od oblasti, jež je vymezena chybami určení polohy rentgenového zdroje. Tato identifikace se opírá o korelaci mezi typem rentgenové a rádiové proměnnosti (poloha zdroje rádiové emise souhlasí na 1" s uvedenou hvězdou a rentgenová perioda Cyg X-1 je, jak bylo už dříve zjištěno, rovněž 5,6 dní). Tato fakta zahánějí slabou pochybnost, zda HDE 226868 je opravdu dvojhvězdný průvodce rentgenového zdroje Cyg X-1. Další etapa našich úvah se týká hmoty této hvězdy. Tento problém vzniká, protože optická pozorování nám mohou říci pouze o orbitální rychlosti velké hvězdy a málo o stejné charakteristice samého X-zdroje. To znamená, že známe pouze jednu funkci pro hmoty dvou objektů; proto nemůžeme odvodit hmoty X-zdroje bez dalších faktů. Primární složka je veleobr spektrální třídy B0 Iab. Bude-li odtud vycházet, leží hmota této hvězdy v rozmezí 15 - 35 Sluncí. Za tohoto předpokladu bude hmota rentgenového zdroje přinejmenším 6 Sluncí. Jeho hmota by nemohla být menší než 4 Slunce. Dosud se vedou hojně diskuse, zda by tak malou hmotu mohl mít veleobr třídy B0. To by se mohlo stát například tehdy, kdyby hvězda byla v závěrečném stadiu svého vývoje, kdy čerpá energii z heliových reakcí v obálce. Taková hvězda by potom byla podstatně méně svítivá

(protože pro danou povrchovou teplotu a tíhové zrychlení definuje hmota stupnicí svítivosti) a vzhledem ke své zdánlivé hvězdné velikosti by měla být vzdálena pouze 0,5 kpc. Až donedávna neexistoval žádný solidní údaj o skutečné vzdálenosti Cyg X-1. Nedávno nalezený vztah mezi zčervenáním v důsledku mezihvězdné extinkce a vzdáleností se kalibroval pro 50 hvězd hlavní posloupnosti z téže oblasti. Vzdálenosti těchto hvězd byly nanejvýš 2 kpc. Zčervenání zjištěné u HDE 226868 bylo větší než u kterékoliv z výše uvedených hvězd, odkud, jak se zdá, vyplývá, že tento zdroj musí být nejméně o 2 kpc vzdálenější. To přesvědčivě vylučuje možnost, že by šlo o hvězdu malé hmoty, která je na konci vývoje.

Nabízí se proto přirozený závěr, že součástí Cyg X-1 je černá díra s hmotou 6 Sluncí. Tomuto závěru bychom se však mohli vyhnout, kdybychom pro náš zdroj vytvořili model, jenž neobsahuje kompaktní objekt jako takový. Jako alternativa bylo vážně navrženo, že HDE 226868 má průvodce, který je těsnou dvojhvědou, a to takovou, v níž kolem hvězdy hlavní posloupnosti s hmotou 5 - 10 Sluncí obíhá neutronová hvězda. Právě ona je X-zdrojem. Nikdy nebude možné vybudovat zcela "imunní" teorii, poněvadž vždy mohou být vytvořeny spekulativní modely, které černou díru nebudou obsahovat. Odhad pravděpodobnosti takových modelů závisí na vkusu odhadovatele, který černé díry bud považuje za do nebe volající absurdnost, nebo za přijatelné zakončení hvězdného vývoje. (Rychlá proměnnost zdroje Cyg X-1 je silnějším důkazem pro hypotézu, že se jedná o černou díru, než neviditelní průvodci spektroskopických dvojhvězd, mající velkou hmotu. V těchto soustavách je těžké vyloučit možnost, že např. máme co činit s běžnou hvězdou zabalenou do prachu).

Několik dalších známých rentgenových zdrojů bude pravděpodobně připomínat soustavu Cyg X-1. Od roku 1980 budou rentgenové dalekohledy obíhat kolem Země. Budou desetitisíckrát výkonnější než současné přístroje. Bude tudíž možné studovat vlastnosti těchto zdrojů podstatně detailněji a snad objevit mnohem víc objektů téhož druhu. Zatím je důležité si uvědomit, že černé díry jsou důsledkem skoro všech životaschopných gravitačních teorií, a proto objevení přijatelného kandidáta na černou díru nebude možné považovat ani za podporu obecné relativity, ani naopak za potvrzení soupeřících teorií. Mnohem lepší pozorování a ještě další teoretické práce budou zapotřebí dříve, než bude možné rozhodnout, zda vlastnosti daného X-zdroje lze lépe vysvětlit pomocí obecné teorie relativity nebo pomocí předpovědí nějaké soupeřící teorie. V každém případě však pravděpodobný objev černých děr otevře cestu k prověřování nejkritičtějších a nejpozoruhodnějších předpovědí Einsteinovy teorie a bude silným impulsem vedoucím k rozvoji gravitační fyziky.

Tolik o "normálních" černých dírách. O neobyčejně velkých a malých černých dírách si řekneme příště (pozn. překl.).

Podle Observatory 94, 168 volně přeložil P. Andrlé



Konferencia IAU - Terst 1974

Najvýznamnejším tohoročným podujatím Medzinárodnej astronomickej únie bola 2. európska regionálna konferencia v astronómii v Terste (Taliansko) v dňoch 2. - 5. septembra 1974. Na konferenciu tesne naväzovalo stretnutie teoretických fyzikov pracujúcich na astrofyzikálnych problémoch v Medzinárodnom stredisku OSN pre teoretickú fyziku dňa 6. septembra.

Konferencia sa konala v modernej budove terstskej univerzity a zúčastnilo sa jej okolo 400 delegátov z viac ako 30 štátov. Program konferencie prebiehal v dňoch 2. - 4. septembra paralelne v 3 sekciách s týmto zameraním:

- sekcia A: Obecné vlastnosti difúznej medzihviezdnej hmoty;
- sekcia B: Kondenzácia medzihviezdnej hmoty a tvorba hviezd;
- sekcia C: Nové výsledky z astrofyziky týkajúce sa hviezd a galaxií.

Dňa 5. septembra prebehlo zasadanie sekcie D: Spravodajstvo o niektorých veľkých európskych projektoch.

Pracovný deň konferencie začínal vždy slávnostnou prednáškou, ktorá úzko súvisela s problematikou niektorej zo sekcií. Prvú prednášku k sekcii A natému: Medzi zánikom a vznikom - medzihviezdne prostredie, predniesol H. Habing z Leidenu. Týkala sa najnovších výsledkov dosiahnutých v štúdiu štruktúry medzihviezdnej hmoty v Galaxii. Túto štruktúru možno poznávať najmä štúdiom žiarenia medzihviezdnej hmoty v okolí horúcich hviezd (circumstelárne obálky). Veľký pokrok v tejto oblasti bol dosiahnutý vďaka výsledkom získaným družicou Koperník. Z údajov o žiarení medzihviezdného vodíka, vápnika, horľavého a medzihviezdných molekúl je možné určiť ich výskyt a rozloženie v medzihviezdnom priestore. K významným výsledkom patrí skutočnosť, že v medzihviezdnom priestore je oveľa väčšie množstvo vápnika a vodíka, než predpokladá hypotéza vzniku týchto zložiek medzihviezdnej hmoty vyvrhovaním z hviezd. Rozloženie medzihviezdnej hmoty v okolí galaktického rovníka javí slučkovitú štruktúru, v ktorej existujú prúdy veľmi podobné prúdom v pozemských cyklonoch.

Úvodnú prednášku druhého dňa k sekcii B predniesol C. Wynn-Williams z Cambridge. Mala názov: Najnovšie výsledky v štúdiu infrazdrojov. Pozorovania bodových infrazdrojov sú limitované atmosférickými podmienkami, infražiarením medzihviezdného prostredia a prístrojovými možnosťami. Vzhľadom nato, že najväčším kandidátom na infrazdroje sú protohviezdy, je ich štúdium veľmi dôležité pre poznanie raných štádií vývoja hviezd. Bodové infrazdroje možno pozorovať hlavne v oblasti mladých hviezdokop. Na základe porovnania a rozboru infračervených a rádiových meraní možno usudzovať na tepelný charakter tohto žiarenia. Vývoj protohviezdy až po jej príchod na hlavnú postupnosť prednášajúci znázornil na infračervenom H-R diagrame. Vývoj je veľmi rýchly a trvá asi 50 000 rokov. Vývoj hviezd z medzihviezdnej hmoty prednášajúci vtipne porovnal ukážkou diapozitívu, predstavujúceho zrod Venuše z morskej peny.

Najväčší záujem vzbudila slávnostná prednáška k sekcii C:

Najnovšie výsledky z röntgenovej astronómie, ktorú predniesol K. Pounds z Leicesteru. Priniesol najnovšie výsledky pozorovaní získaných röntgenovými družicami. Röntgenové zdroje možno rozdeliť na galaktické a extragalaktické. Galaktické zdroje javia silnú koncentráciu ku galaktickému rovníku. Vo väčšine prípadov sa jedná o zvyšky supernov. Zo silných zdrojov treba spomenúť Krabiu hmlovinu, Taurus A, Vela Puppis. Z rozboru rozloženia intenzity röntgenovského žiarenia sa dá usudzovať, že je tvorené synchrotronovým mechanizmom. Identifikáciu zdrojov uľahčuje porovnanie rádiových a röntgenových meraní. U röntgenových dvojhviezd (Cen X-3; Cyg X-1, Cyg X-3, Her X-1) boli porovnávané svetelné krivky z optickej a röntgenovej oblasti spektra. Ako možný zdroj röntgenového žiarenia bol predložený model neutronovej hviezdy s rotujúcou magnetosférou. Röntgenové žiarenie je spôsobené prúdom hmoty padajúcej do magnetosféry. Röntgenové žiarenie, ktoré k nám prichádza spoza hraníc našej Galaxie, je tvorené buďto zvyškami supernov (v M-31) alebo v Seyfertových galaxiách v hniezdach galaxií (Coma cluster, Perseus cluster).

Zasadnutie sekcie D bolo zahájené prednáškou J. Junga o práci medzinárodného stelárneho centra. Poslaním centra je štatistické spracovávanie údajov o hviezdach, ich katalogizácia a sprehľadnenie. Prvým výsledkom práce je súbor hviezdnych katalogov na magnetických páskach, ktoré môžu byť záujemcom poskytnuté. V súčasnej dobe sa pracuje na hviezdnom identifikáčnom a U,B,V katalogu. Pripravované katalogy poslúžia najmä pre štúdium štruktúry Galaxie.

A. Blaauw z ESO (Európske južné observatórium) referoval o pozorovaniach na observatóriu v Chile a pojal prehľad pripravovaných projektov veľkých optických ďalekohľadov. Najvýznamnejšou udalosťou budúceho roku bude zahájenie prevádzky najväčšieho ďalekohľadu na svete - 6m sovietskeho ďalekohľadu na Kaukaze. Na Pic du Midi bude v januári budúceho roku uvedený do prevádzky 2m ďalekohľad a v Austrálii 3,9m ďalekohľad.

Európskymi projektami v röntgenovej a v  $\gamma$  astronómii sa zaoberal K. Pounds. Referoval o prístrojovom vybavení družíc UK5 a ANS na výskum X-zdrojov. Pomocou družíc prebehne mapovanie celej oblohy v X-oblasti a budú sa hľadať dlhoperiodické variácie X-žiarenia. Družica Cas-B pre výskum  $\gamma$  žiarenia bude vypustená v budúcom roku a bude pracovať v rozmedzí energií 20 - 2000 MeV.

O spolupráci európskych astronómov vo výskume Slnka hovoril C. Zwaan. V súčasnej dobe prebieha výber miesta pre postavenie európskeho slnečného observatória. Najväčším kandidátom sú Kanárske ostrovy. Pripravuje sa vypustenie slnečných satelitov.

Zasadanie sekcie D bolo uzavreté prednáškami o projektoch v ultrafialovej, infračervenej a rádioastronómii.

Je nám ľúto, že nemôžeme čitateľa informovať správou o zasadnutí sekcií A,B, pretože sme sa ich vzhľadom na paralelnosť zasadnutí nezúčastnili.

Sekcia C začala svoj program referátmi z extragalaktickej rádioastronómie.

R. Strom popísal pozorovania rádiových zdrojov na observatóriu vo Westerborgu. Merania naznačujú podvojnú niektorých

zdrojov a majú veľký význam z hľadiska štúdia medzigalaktickej hmoty. Merania totiž ukázali, že za pohybujúcou sa galaxiou zostáva chvost zvráteného medzigalaktického prostredia, ktorý vyžaruje v rádiové oblasti spektra.

M. Longair referoval o výskume 250 galaktických a extragalaktických zdrojov pomocou 5km rádioteleskopu. Z galaktických zdrojov boli vyšetrované HII oblasti, planetárne hmloviny a niektoré hviezdy (Algol, Cyg X-3,  $\beta$  Lyrae). Súčasťou výskumu bolo podrobné rádiové zmapovanie okolí kvazarov 3C 436, 3C 47, 3C 207, 3C 196, 3C 411. U podvojných zdrojov bola zistená existencia mostov medzi jednotlivými zložkami.

J. Baldwin študoval luminozitu rádiových zdrojov v Abellovom oblaku galaxií. Vytvoril klasifikáciu rádiových zdrojov podľa štruktúry a spektra. Pozorovania naznačujú, že existuje reálne zhlukovanie sa kôp galaxií. Stredná expanzná rýchlosť galaxií v kope je 100 km/s.

R. Spencer referoval o pozorovaní slabých rádiových zdrojov na frekvenciách 408 a 1666 MHz s rozlišovacou schopnosťou 0,2 - 0,3 s. Vo väčšine prípadov sa jedná o podvojný zdroj v vzájomne prepojené mostom.

Novú metódu štúdia kruhovej polarizácie v rádiových zdrojoch vypracoval K. Weiler. Polarizáciu je dosť ťažko merať vzhľadom k malej citlivosti prístrojov. Polarizácia zdroja BL Lac koreluje s optickými vzplanutiami, čo svedčí o jeho silnom magnetickom poli.

Polarimetrickými meraniami štruktúry rádiových galaxií sa zaoberali J. Baker s E. Berkuijsenom. Svoje pozorovania prevádzali na vlnových dĺžkach 3 a 11 cm. U galaxie M-31 sa ukázalo, že v oblasti prachoplýnných oblakov sa polarizácia zvyšuje. Z polarimetrických meraní jasne vystupuje špirálna štruktúra galaxie.

Štúdiom rádiovéj emisie zdrojov na južnej pologuli sa zaoberal P. Kaufman. Milimetrovú emisiu z aktívnych galaxií v závislosti na červenom posune študoval M. Rowan-Robinson. Navrhol model na vysvetlenie tejto emisie a metódu na určenie hmoty objektu. Takto určená hmota je vyššia ako hmota určená optickými prístrojmi.

Ďalšia séria referátov bola venovaná galaxiám a kozmológii.

I. Gougenheim referoval o výskume rozloženia neutrálneho vodíka v trpasličích galaxiách. Rozbor naznačuje zvýšenú hustotu u modrých galaxií.

Rozdelením a štruktúrou Markarjanových galaxií sa zaoberal J. Heidmann. Zistil existenciu kondenzačných jadier medzi dvojitými Markarjanovými galaxiami a navrhol vývojovú cestu extragalaktických objektov v poradí: kompaktné objekty, Markarjanove galaxie, normálne galaxie.

S. Collinsová a J. Bergeronová ukázali na modeli galaxie (hviezdy počítané podľa Mihalasových modelov), že teplota plynu v galaxii je veľmi citlivým indikátorom zastúpenia ťažkých prvkov. Model testovali na galaxiách Zwicky 18, Zwicky 40 a NGC 3310.

M. Jollyová z rozboru H-R diagramu našla súvis medzi

starými hviezdami v jadrách galaxií M-31 a M-81 a pomerom M/L.

P. Flin sa zaoberal rozdelením galaxií v Jagellonskom poli. Zostavil katalog tohto pola s rozdelením galaxií v závislosti na module vzdialenosti a štatisticky vyšetroval zhukovanie sa kôp galaxií. Zo štruktúry vyšetrovaného pola vyplýva možnosť existencie zhukov oblakov galaxií. Gravitačné modely galaxie a kôp galaxií vytvorili M. Jaroszyński a B. Paczynski.

J. Beckmann referoval o spektrofotometrii reliktového žiarenia medzi 0,75 a 2,5 mm. Merania sa prevádzali z balonu vo výške 40 km prístrojom kalibrovaným pri 4,2 K. Zistili, že žiarenie má tepelný charakter. Jeho jasová teplota je  $2,75^{+0,1}$  K.

-0,5

V ďalšom zasadení odzneli referáty venované problematike zbytkov supernov a ultrafialovej astronómii.

R. Strom prednášal o rádiovkej štruktúre vybraných zbytkov supernov. Rádioizofoty spolu s polarizačnými meraniami dávajú obraz o fyzikálnych pomeroch v hmlovine. Z meraní možno usudzovať na interakciu hmloviny s okolitým medzihviezdny m prostredím.

J. Culhane referoval o röntgenových pozorovaniach zbytkov supernov Puppisá a Cas A. Zvláštnosti priestorovej štruktúry a spektrálneho rozdelenia intenzity žiarenia interpretoval teóriou mladého zbytku supernovy.

P. Pishmishová vyšetrovala objekt IC 443. Popísala pole rýchlostí a rozpínanie hmloviny do okolitého prostredia.

H. Hesberg sa zaoberal fotometriou hviezdy  $\rho$  Ori v ďalekej UV oblasti. Jeho merania sú dôležité pro výpočet modelu atmosféry pre LTE i Non LTE model.

K. Nandy predložil pozorovania svietivých hviezd ranných spektrálnych typov v UV oblasti. Spektrá boli získané TDI satelitom. Na základe meraní vytvoril spolu s C. Humphriesom a E. Kontizasom modely ranných typov hviezd. Ukázalo sa, že na spektrum má veľký vplyv teplota a povrchová gravitácia. Veľký význam má vypracovanie teplotnej škály pre obrov a trpaslíkov ranných spektrálnych typov.

Veľká skupina referátov bola venovaná problematike hviezd a hviezdneho vývoja.

A. Mammano podal správu o emisiách v infračervenej oblasti spektra u symbiotických hviezd. Zmeny spektra sú v korelácii so zmenami jasnosti. Podvojný systém vysvetľuje všetky pozorované javy (zakázané čiary, emisie).

Vzhľadom nato, že Babcockov katalog magnetických hviezd neobsahuje hviezdy južnej pologule, urobili W. Weiss a H. Wood predbežnú prehliadku južnej oblohy so zameraním na hľadanie magnetických hviezd. U hviezdy HR 6742 našli premenné magnetické pole.

B. Wolf podal správu o meraniach mikroturbulencie vo vrchných vrstvách atmosféry typu A. Posuny emisie v spektre sú dôsledkom konvektívnych prúdov v atmosfére hviezdy. Tieto zmeny sa nedajú vysvetliť podvojnou systémom.

A. Cassatella a R. Viotti predložili pozorovania emisných