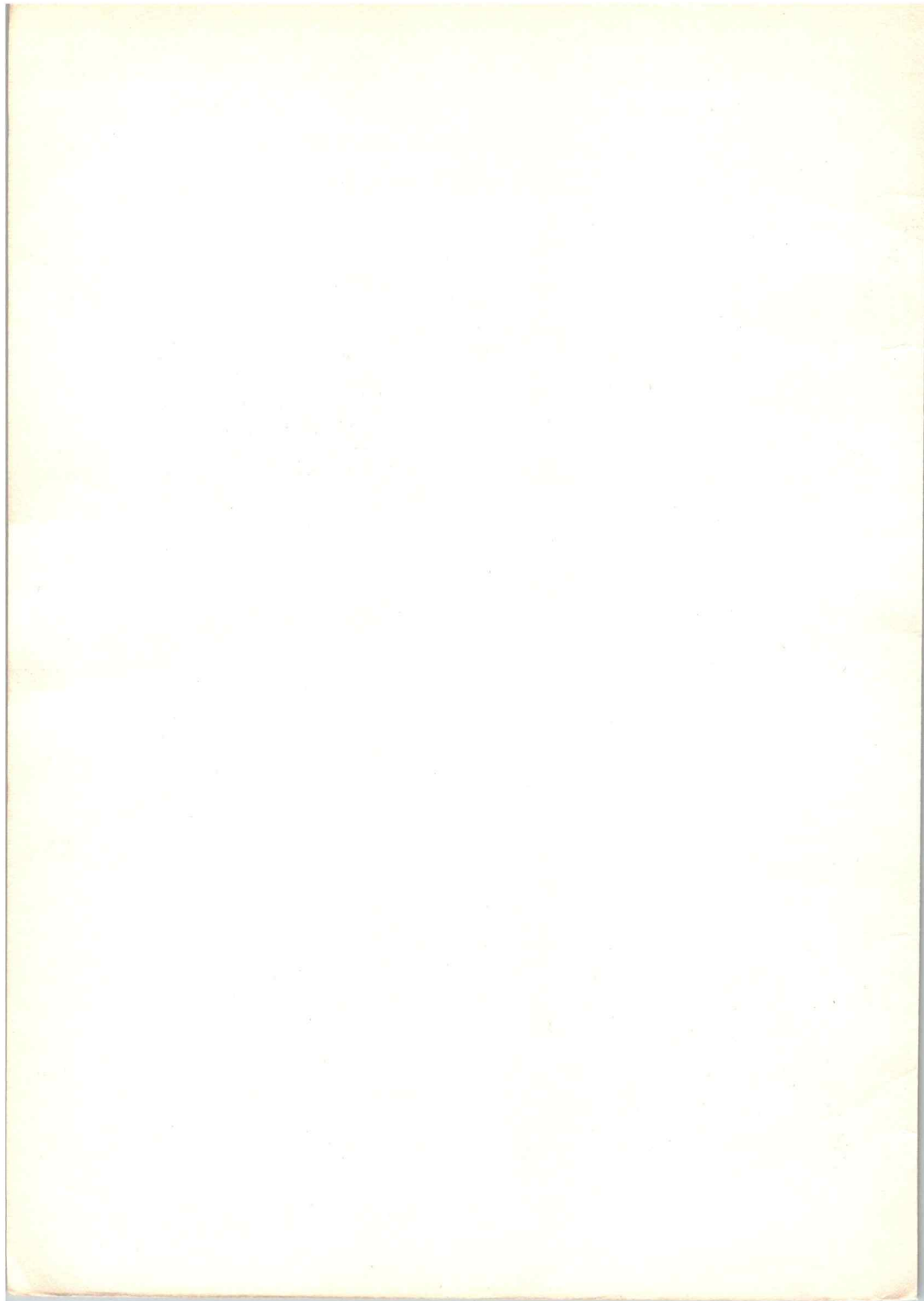




# **KOSMICKÉ ROZHLEDY**

**1/1977**

**NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV**



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

ročník 1977

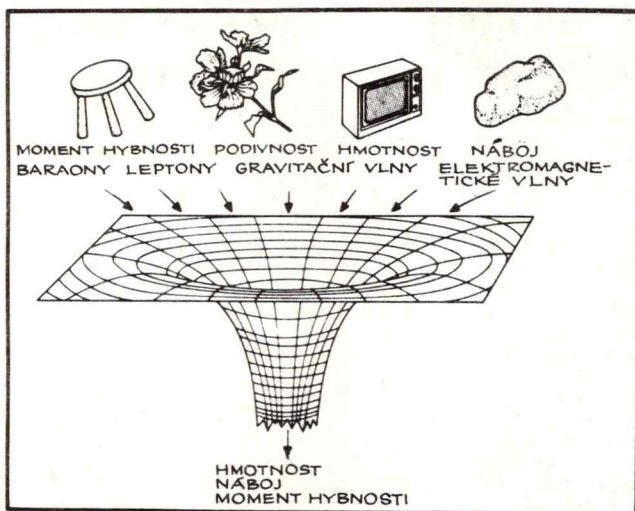
číslo 1

## Seznámení s černou dírou

Quasistelární rádiové zdroje, pulsary, neutronové hvězdy - všechny tyto objekty vstoupily na jeviště moderní fyziky v několika posledních letech. Poslední vstup patří s největší pravděpodobností černé díře. Černá díra, ať již "běžné velikosti" /přibližně o jedné sluneční hmotě,  $1 M_{\odot}$  / nebo mnohem větší /kolem  $10^6$  až  $10^{10} M_{\odot}$  /, které snad existují v jádrech některých galaxií/ bude naším "laboratorním modelem" pro gravitační kolaps, předpovězený Einsteinovou teorií.

Černá díra je to, co následuje po úplném gravitačním kolapsu objektu. Prostorčas je tak silně zakřiven, že ani světlo z ní nemůže vyjít, žádná hmota nemůže být vypuzena a žádná měřící hůl nemůže vydržet, je-li strčena dovnitř. Jakýkoliv typ objektu, který spadne do černé díry, ztrácí svou oddělenou identitu a zachovává si jen svou hmotnost, moment hybnosti a hybnost /obr. 1/. Nikdo dokonce ani nemůže najít způsob, jak rozlišit mezi dvěma černými děrami, postavenými z nejružnějších druhů hmoty, mají-li stejnou hmotnost, náboj a moment hybnosti. Měření těchto tří parametrů je umožněno díky jejich působení na keplerovské dráhy testovacích objektů, nabitých či nenabitých, obíhajících kolem černé díry.

Jak vypadá fyzika černé díry, závisí více na výběru pozorovatele než na čemkoli jiném. Předpokládáme, že se pozorovatel rozhodne následovat hroutící se hmotu kolapsem dolů na černou díru. Pak tuto hmotu uvidí rozmačkanou do nekonečně vysoké hustoty a on sám bude také roztrhán nekonečně narůstajícími slapovými silami. Žádná protipůsobící síla nemá tu moc, aby jej zachránila od katastrofy, jakmile jednou překročil jistou kritickou plochu známou jako "horizont". Výsledný kolaps proběhne v konečné době po průchodu touto kritickou plochou a je nevyhnutelný. Čas a prostor uvnitř černé díry jsou změněny neobvyklým způsobem: směr přibývání vlastního času je pro pozorovatele směrem zmenšující se souřadnice  $r$ . Pozorovatel nemá větší možnost vrátit se k větším hodnotám  $r$  než pohnout zpět s ručičkami hodin



vlastního života. Nemůže dokonce ani zůstat na jednom místě z jednoduchého důvodu: nemá možnost zastavit chod času.

Předpokládáme, že se pozorovatel raději rozhodne pozorovat kolaps z dálky. Za cenu své vlastní bezpečnosti je mu pak odepřena jakákoliv možnost vidět víc než počáteční kroky na cestě ke zhroutilí. Žádné signály, žádné informace z pozdějších fází kolapsu k němu nikdy neproniknou; jsou chyceny geometrií kolapsu.

Skutečnost, že dostatečná hmotnost chladné hmoty povede nezbytně zhroutilí do černé díry /Oppenheimer a Snyder, 1939/, je jedna z nejkázalejších předpovědí běžné Einsteinovy teorie relativity z r. 1915. Geometrie kolem zhroutilího sféricky symetrického /nerotujícího! / objektu byla vypracována Karlem Schwarzschildem /otcem amerického astrofyzika Martina Schwarzschilda/ již r. 1916. Roku 1963 Roy Kerr našel geometrii spojenou s rotujícími zhroutilími objekty. James Bardeen nedávno vyslovil tvrzení, že většina hvězd nebo hvězdných jader bude mít tak veliký moment hybnosti, že černá díra vytvořená po kolapsu bude rotovat s téměř největší možnou rychlostí rotace /"povrchová rychlost" rovná rychlosti světla/. Roger Penrose /1969/ ukázal, že částice přicházející z dálky do bezprostředního sousedství černé díry /do "ergosféry" / z ní může čerpat energii. Demetrios Christodoulou /1970/ ukázal, že celkovou

hmotnost-energií černé díry lze rozložit do tří částí,

$$E^2 = m_{ir} + L^2/4m_{ir}^2 + p^2 .$$

První část je "irreducibilní" / zůstává neměnná při "vratných transformacích", vždy narůstá při "nevratných transformacích"/, druhá a třetí část /vzniká z momentu hybnosti  $L$  a hybnosti  $p$ / může být zvětšena nebo zmenšena podle libosti.

Tři nejslibnější nyní zkeunané způsoby detekce černých děr jsou:

- pulsy a deprovodné gravitační záření vydávané kolapsem při jeho utváření /viz Physics Today, srpen 1969, str. 61, a srpen 1970 str. 41 pro vylíčení pionýrských pokusů Josepha Webera pro detekci gravitačního záření/;

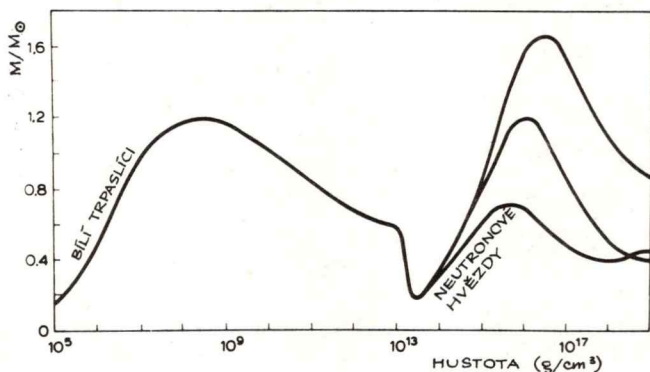
- široká škála elektromagnetického záření v tvrdé X a  $\gamma$  oblasti vysílaného hmotou, která padá do černé díry po jejím utvoření /to je představa Ja. B. Zel'doviče a I.D.Novikova; záření není emitováno jednotlivými částicemi padajícími dovnitř, ale plynem jako celkem, který je stlačen a zahřát na  $10^{10}$  nebo  $10^{11}$  K "nálevkovým efektem" na své cestě k černé díře/;

- záblesky a jiná aktivita, kterou produkuje ergosféra rotujících černých děr.

### 1. Rovnovážné konfigurace

Hmotnost superhusté hvězdy /dosažené kolapsem, který nevede k černé díře/ je dána jedine svou centrální hustotou; to plyne ze stavové rovnice spojující tlak a hustotu. Integrací rovnice pro relativistickou hydrostatickou rovnováhu /Harrison et. al., 1965/ až k bodu, kde se tlak blíží k nule, najdeme celkovou hmotnost odpovídající každé hodnotě středové hustoty. Myšlenka, že dostatečně hmotné hvězdy se mohou zhroutit bez omezení pod vlivem svého vlastního gravitačního pole, se nabízelá při studiu bílých trpasličích hvězd. To jsou velice husté hvězdy, v nichž tlak pochází přímo z degenerovaného Fermiho elektronového plynu. Neexistuje totiž stabilní řešení pro bílého trpaslíka s hmotností nad Chandrasekharovou mezí, která je kolem 1,2 sluneční hmotnosti. Co je konečným bodem vývoje pro hvězdy hmotnější než tato kritická mez?

Odpověď spočívá v "lokální fyzice" shrnuté ve stavové rovnici a v "globálních vlastnostech" určených gravitačním polem. Lze očekávat, že rozdílné gravitační teorie /tj. např. Newtonova, Einsteinova nebo Jordan - Brans - Dickeva/ dají různé výsledky. Stavová rovnice však musí zahrnovat všechny fyzikální jevy, včetně fyziky vysokých energií. Ignorování stavové rovnice při supranukleárních hustotách zhoršuje rozlišení mezi těmito "konkurenčními" teoriemi. Rodina stabilních neutronových hvězd nicméně existuje pro všechny "rozumné" stavové rovnice. Minimální hmotnost členů této rodiny je kolem 0,16 sluneční hmoty, maximální hmotnost je však nejistá až o čtyřnásobek. Na obr. 2 je zakreslena závislost hmotnosti na středové hustotě za předpokladu Harrison-Wheelerovy stavové rovnice, aby se ukázal rozdíl



mezi newtonovskou gravitací a obecnou teorií relativity v oblasti neutronových hvězd.

## 2. Neutronová hvězda nebo černá díra?

Fyzika tvorby neutronové hvězdy nebo černé díry je mnohem složitější než fyzika samotných těchto objektů. Má se za to, že v tomto procesu jádro hvězdy, snad jádro pozdního obra, se hroutí ze svého původního poloměru několika tisíc kilometrů do kompaktního objektu o poloměru několika desítek kilometrů. Jádro se tisíce let pomalu vyvíjelo až do stádia, kdy je nestabilní vůči gravitačnímu zhroutilí. To však neznamená, že jeho hmotnost leží přesně na hranici 1,2 sluneční hmotnosti, prvním vrcholu křivky na obr. 2. Jádro může být dvakrát, pětkrát nebo desetkrát hmotnější a ještě se nezhroutí, je-li "nafukováno" dostatečně vysokou teplotou. Chladnutím je však takový systém automaticky přiveden ke zhroutilí. Colgate a White /1966/ a May a White /1967/ provedli výzkum toho, co se stane za zjednodušujícího předpokladu sférické symetrie. Materiál hvězdy se začne pohybovat dovnitř zpočátku pomalu, pak rychleji a rychleji, s charakteristickým časem menším než desítky sekund. Brzy podstatná část této hmoty natolik kontrahuje, že se značně zvětší působnost gravitačního pole, které stahuje vnitřní jádra dohromady. Následkem toho se rychlost kontrakce jádra zvětšuje mnohem víc než je tomu u okolního obalu.

Z výpočtů plynou dva velice rozdílné výsledky, které závisí na tom, zda hmotnost jádra a kinetická energie jeho implo-