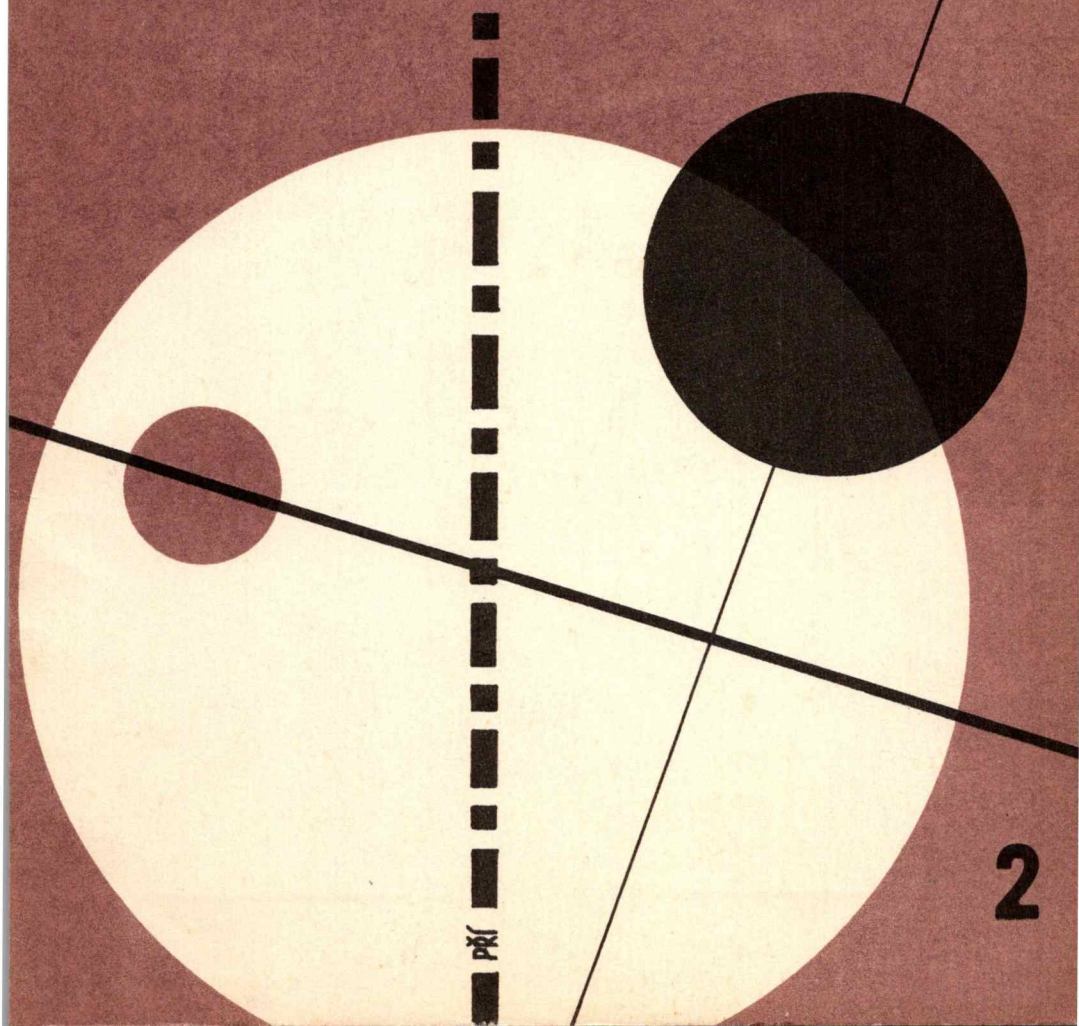


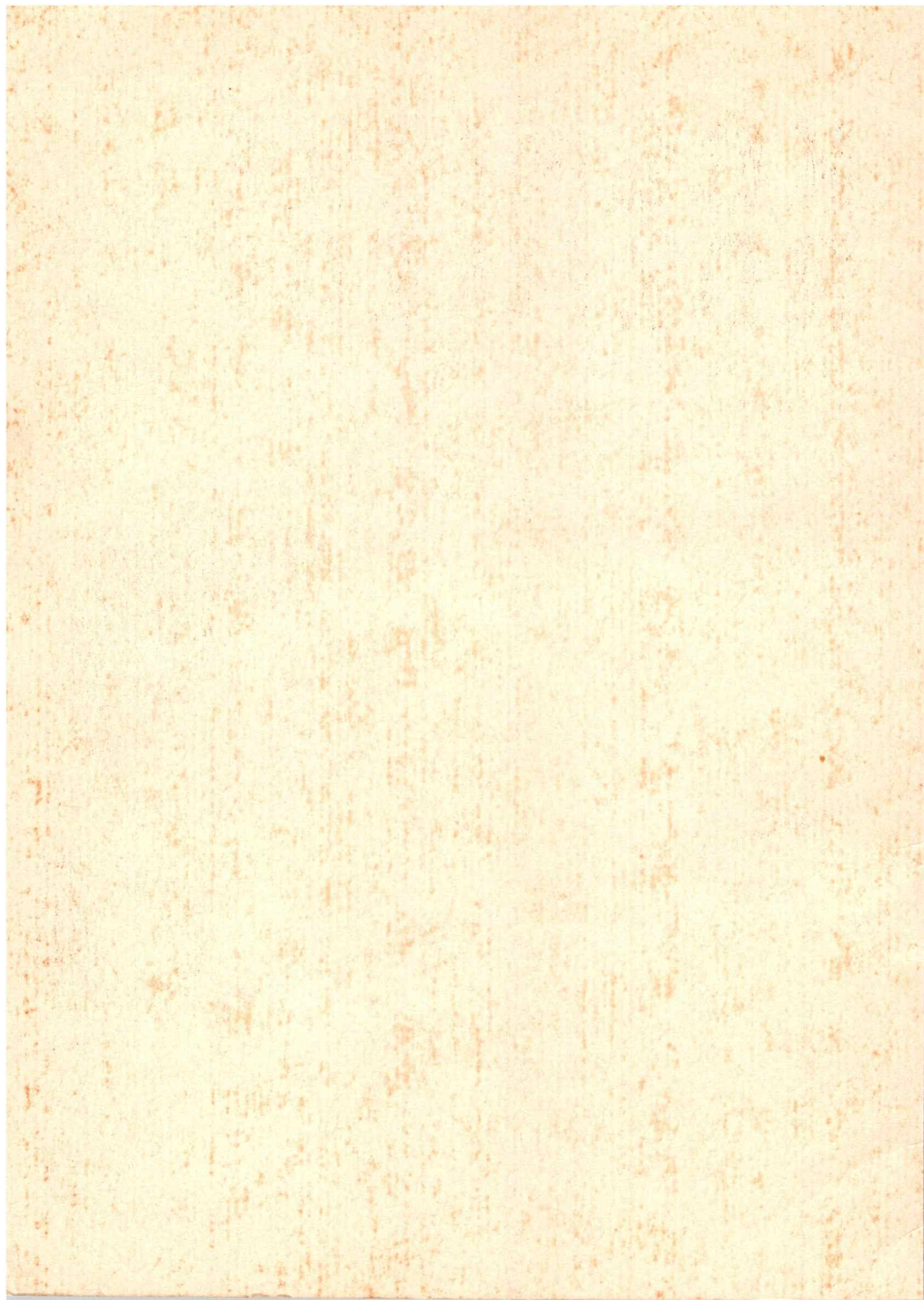
# KOSMICKÉ ROZHLEDY

NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ  
ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV



2

PŘI



J.Grygar

### Gravitační kolaps

čili

#### poslední dnové masivních hvězd

"Na počátku světa byla tma a Duch Boží vznášel se nad vodami. I řekl Bůh: Budiž Newton. A bylo světlo. Ne však nadlouho. Přišel ďábel a řekl: Budiž Einstein. A opět se všechno pohroužilo v tmu."

Neznámý autor

"Jediná solidní síla ve vesmíru je gravitace. Vše ostatní je pouze chimerické."

prof.W.Heinrich

Lord Kelvin hledal zdroj hvězdné energie v gravitační kontrakci. Jeho hypotéza však nestačila především vysvětlit pozorované stáří hvězd a proto byla dávno opuštěna. Teprve v posledních letech slaví jakési znovuzkřížení: v určitých fázích hvězdného vývoje se energie získává vskutku smršťováním hvězdy, i když jde jen o malý zlomek celkové energetické bilance. Fyzikové se však ke gravitaci, "jediné solidní síle ve vesmíru", tvrdošíjně vrací. Zavínil to především Einstein, když v roce 1915 formuloval principy obecné teorie relativity. O rok později již K.Schwarzschild vyšetřoval geometrii prostoru v okolí stacionárního sféricky symetrického objektu, jenž se hrouť pod vlivem vlastní přitažlivosti. Gravitační kolaps je pro dostatečně velkou hmotu "poznanou nutností", jak poprvé ukázali J.R.Oppenheimer a H.Snyder v r.1939. Od té chvíle neustává úporná snaha astrofyziků nalézt taková zhroutená tělesa ve vesmíru, neboť tam podle shodného mínění teoretiků prostě musí být.

Téměř každý velký astronomický objev uplynulého desetiletí proto znovu rozvířil diskusi kolem existence zhroutených těles či aspon těles, <sup>suprahustých</sup> - tj. objektů s hustotou v jádře vyšší než  $10^7 \text{ gcm}^{-3}$ . Prvními v řadě byly dnes už proslulé quasary, jež jeví některé typické rysy suprahustých těles: velký výkon energie z relativně malého objemu a rekordní rudé posuvy. Zdá se nepravděpodobné, že by quasar zářil výhradně v důsledku termonukleárních reakcí, a to pro jejich nedostatečnou účinnost. Nechceme-li se pak smířit s anihilací hmoty jako procesem typu deus ex machina, zůstává gravitační kolaps quasaru jediným vhodným energetickým řešením problému. Quasary jsou však dosud obestřeny mnoha tajemstvími. Zejména

je nápadné, že pokud byly v quasarech pozorovány pohyby hmoty, jde vesměs o expansi, a to rychlostmi až desítky tisíc kilometrů.

V souvislosti s rozpoznáním významné kosmogonické aktivity jader galaxií se objevují domněnky, že právě v jádrech galaxií máme hledat suprahustou látku a případně i obří zhroutená tělesa. Domněnka nabývá na vážnosti nedávnými Weberovými experimenty s detekcí gravitačních vln. Podle Webera přicházejí gravitační vlny pravděpodobně z jádra naší Galaxie. Také z rozboru energetické bilance jader infračervených galaxií, který uveřejnil prof. F. J. Low, vyplývá nedostatečnost termonukleárních zdrojů energie pro udržení svítivosti infračervených jader. Low soudí, že v jádrech galaxií se nacházejí jakési zárodečné bunky, "irtrony", jež jsou rovněž suprahusté.

Snad nejdůležitějším příspěvkem k rozpoznání zhroutených těles ve vesmíru je ovšem nedávný objev pulsujících radiových zdrojů. Pulsar v Krabí mlhovině se dnes vcelku všeobecně považuje za neutronovou hvězdu, a od těchto hvězd ke zhrouteným tělesům je již jen malý skok. Konečně A. G. W. Cameron usoudil počátkem letošního roku z rozboru pozorování zákrytové dvojhvězdy epsilon Aurigae, že neviditelná sekundární složka je tzv. kolapsarem, tedy téměř zhroutenou hvězdou o hmotě asi 23 Sluncí.

Tyto příklady ukazují, že studium gravitačního kolapsu přestává být intelektuální hříčkou teoretických fyziků. Pro astronomy to naopak znamená vyrovnat se s řadou nových pojmů a paradoxů, na něž je ostatně teorie relativity tak bohatá. Existence zhroutených objektů ve vesmíru vyplývá z úvahy o konečných fázích vývoje hvězd či mezihvězdných mračen. Každý objekt vyčerpá dříve či později zásoby energie, ať už jde o termonukleární reakce ve hvězdách či event. vzbuzenou emisi v mračnu. Těleso se začne smršťovat a skončí buď jako bílý trpaslík, nebo jako neutronová hvězda. Tyto stabilní konfigurace jsou charakterizovány centrální hustotou  $10^7 - 10^8 \text{ gcm}^{-3}$  resp.  $10^{13} - 10^{16} \text{ gcm}^{-3}$ . Počáteční hmota hvězdy však nesmí být v prvním případě vyšší než  $1,2 M_{\odot}$  (Chandrasekharova mez), a v druhém případě vyšší než asi  $2 M_{\odot}$  (Landauova-Oppenheimerova-Volkoffova mez). Největší část hvězd v Galaxii má vskutku nižší hmoty než činí uvedené meze; přece jen však existují hvězdy s hmotou značně vyšší. Některé z masivních hvězd ztratí v konečných fázích vývoje "přebytečnou" hmotu např. výbuchem supernovy. V jiných případech však k výbuchu nedojde - a hroučící se těleso (kolapsar) se pak stále rychleji blíží k absolutní zkáze. To je pak pravý gravitační kolaps a popisu jeví, jež se přitom vyskytují, se nyní věnujeme podrobněji.

J. R. Oppenheimer a H. Snyder ukázali v r. 1939, že pro dostatečně velkou chladnou hmotu není úniku - zhroutí se vlastní přitažlivostí v tzv. černou díru. Tento bizarní název má vyjádřit základní podivnosti zhrouteného tělesa: není vůbec vidět a nezaujímá žádný prostor. Na první pohled se zdá, že takové vlastnosti nelze přisoudit žádnému skutečnému objektu; černá díra však není chimérou, neboť se navenek fyzikálně projevuje, i když jde o projevy neobyčejně zvláštní.

Konečné fáze gravitačního kolapsu lze popisovat ze dvou hledisek, jež se diametrálně liší. Popis totiž zcela záleží na tom, zda se pozorovatel nalézá na povrchu resp. uvnitř hroučícího se tělesa, či zda celý jev popisuje z bezpečné vzdálenosti na dálku. Pozorovatel na povrchu kolapsaru padá volným pádem ke

středu útvaru. Pád probíhá stále rychleji a pozorovatel zjistí v určitém okamžiku s hrůzou, že již nemůže dalšímu pádu žádným fyzikálním pochodem zabránit, a pak je během krátké doby rozdrčen nepředstavitelně velkými tlaky a slapovými silami. V této fázi je kolapsar charakterisován pouze celkovou hmotou, elektrickým nábojem a momentem hybnosti. Všechny ostatní charakteristiky přestávají mít smysl. Je zcela jedno, zda se hroutí hvězda, hromada vajec nebo egyptské pyramidy, pokud ovšem se počáteční hmoty souborů shodují.

Pozorovatel, jenž se nachází opodál, vidí průběh kolapsu zcela jinak. Sám se nalézá v bezpečí; je však ochuzen o pozorování závěrečných částí kolapsu. Kolapsar se z jeho hlediska rovněž smršťuje, avšak poloměr tělesa se asymptoticky blíží k mezní hodnotě, nazývané Schwarzschildův poloměr (viz diagram). V konečném čase proto kolapsar zůstává neustále nad Schwarzschildovým poloměrem a z tohoto hlediska tedy v našem vesmíru dosud nikde nemohlo dojít ke vzniku černé díry. Záření kolapsaru se ovšem rychle posouvá do červené a infračervené oblasti spektra vlivem gravitačního rudého posuvu.

Pokud kolapsar vznikne ze sférického, případně z mírně nesférického nerotujícího oblaku, dostaneme pravou Schwarzschildovu černou díru. V tomto případě splývá Schwarzschildův poloměr (obzor událostí) s plochou nekonečného rudého posuvu. V realističtějším případě nesférického rotujícího kolapsaru nastupuje zobecněné řešení problému v tzv. Kerrově geometrii. V tomto případě je plocha nekonečného rudého posuvu vnější obálkou a obzor událostí vnitřní obálkou, které splývají pouze na pólech rotace. Prostor mezi oběma obálkami se nazývá ergosféra. Uvnitř obzoru událostí lze přijímat signály zvnějšku; nelze však vyslat v důsledku zakřivené geometrie prostoru žádný signál směrem ven. Naproti tomu v ergosféře lze vysílat signály, jež případně mohou proniknout do okolního prostoru. Podle R. Penrose může částice, jež se rozpadne v ergosféře, mít složku, která vyletí do vnějšího prostoru s energií vyšší, než kolik měla původní částice! Dodatečná energie je získána na úkor rotační energie černé díry. Naproti tomu lze rovněž zachytit částici v ergosféře, jež dodá energii černé díře. Při náhodných směrech akrece hmoty v ergosféře bude celkový moment hybnosti černé díry klesat.

Pokud jsme nad hranicí Schwarzschildova poloměru  $r_S (=2m)$ , je průvodič  $r$  vhodná prostorová souřadnice a čas  $t$  vhodná časová souřadnice. Rozsah souřadnic  $2m < r < \infty$ ,  $-\infty < t < \infty$  však nepokrývá všechny Schwarzschildův prostorčas. Pro  $r < 2m$  se význam souřadnic jaksi prohodí;  $r$  má pak spíše charakter času a  $t$  je spíše mírou vzdálenosti. Vzdálenost  $r$  jakékoliv částice od centra pak klesá s časem prostě z toho důvodu, že čas nelze zastavit. Proto též není možný únik částice z oblasti černé díry - částice toho není schopna, protože nedovedeme zastavit či dokonce obrátit běh času.

Rovnocennost času a prostoru v obecné teorii relativity lze názorně vystihnout užíváním geometrických měr pro čas a hmotu. 1 cm času (je to doba, za kterou světlo urazí dráhu 1 cm) se pak rovná  $3,3 \times 10^{-11}$  s a 1 cm hmoty je  $1,4 \times 10^{28}$  g. V tomto vyjádření je hmota Slunce rovna 1,47 km hmoty. Je-li obecně  $m$  hmota tělesa v geometrických jednotkách, pak odchylka  $p$  světelného paprsku, jenž prochází ve vzdálenosti  $h$  od tělesa činí  $p = 4m/b$  - v radiánech. Dosazením hodnot pro Slunce obdržíme známou Einsteinovu odchylku  $p = 1,75''$ . Tento geometrický forma-

lismus značně zjednodušuje i jiné prostorčasové vztahy pro hroučící se tělesa. Tak např. charakteristická doba při exponenciálním blížení kolapsaru ke statické konfiguraci činí  $2m$  (z hlediska vnějšího pozorovatele). Pro Slunce bychom tak dostali:  $2 \times 1,47 \text{ km} \times 3,3 \times 10^{11} = 9,7 \times 10^{-6} \text{ s}$ , což je zhruba  $10 \mu\text{s}$ . (Výpočet jen zdánlivě rozměrově nesouhlasí - při rovnocennosti času a prostoru je zápis správný.) Odtud je opět patrné, že závěrečné fáze kolapsu probíhají téměř bleskově.

Vraťme se nyní k otázce, zda uvedené úvahy mají fyzikální oprávnění, tj. může-li se ve vesmíru takový útvar vyskytovat. Podle Ruffiniho a Wheelera může vzniknout černá díra nejméně třemi způsoby:

- 1) Hvězda má ve svém nitru bílého trpaslíka. Začne se hroutit a proběhne stádiem neutronové hvězdy bez zastávky.
- 2) Tatáž hvězda se nejprve zhroutí v horkou neutronovou hvězdu. Neutronová hvězda posléze vychladne a zhroutí se v černou díru.
- 3) Hvězda vytvoří stabilní neutronovou hvězdu. Neutronová hvězda postupně přibírá hmotu akrecí, až její hmotu vzroste nad kritickou mez a proběhne závěrečný kolaps.

Vlastní děje při kolapsu byly studovány jen pro kulově symetrický systém či pro systémy, jež se od této symetrie málo liší. Jiné konfigurace jsou víceméně neprozkoumány. Tak např. bylo analyzováno uvolňování energie ve formě gravitačních vln při pohybu částic v gravitačním poli černé díry. Jestliže příkladně částice krouží po spirále ke Schwarzschildově díře, vyzáří jen 5,7% své hmoty dříve, než je pohlcena (bez další možnosti vyzářování) dírou. Při retrogradní spirále v okolí Kerrový díry vyzáří částice pouze 3,8% své hmoty. Jestliže však částice rotuje ve smyslu rotace Kerrový díry, vyzáří plných 42,3% své hmoty dříve, než se rozplyne v díře. Tyto výpočty mají obzvláštní význam pro studium energetické bilance quasarů a jader galaxií.

Chceme-li se pokusit objevit černé díry ve vesmíru, musíme si především uvědomit, že vzhledem ke své poloze vnějšího pozorovatele nejsme s to nalézt pravou černou díru prostě proto, že v konečném čase zůstává pro nás každé hroučící se těleso stále nad hranicí Schwarzschildova poloměru, i když prakticky se dají odchylky od poloměru  $r_S$  zanedbat. V tomto smyslu budeme nyní vědomě nepřesně uvažovat o černých děrách.

Osamocená černá díra se dá stěží nalézt, neboť nežáří a vzhledem k malým rozměrům je pravděpodobnost projekce díry na vzdálený objekt nesmírně nepatrná. Proto, jako v mnoha jiných problémech astronomie, nám mohou přinést zásadní informace dvojhvězdy. Zeldovič a Gusejnov soudí, že lze zjistit černou díru pozorováním hvězdy v její blízkosti, jež je pak ovlivněna gravitací černé díry. Šklovskij dokonce soudí, že taková hvězda by mohla ztrácet hmotu ve prospěch černé díry, a takový přenos hmoty by se dal snáze pozorovat. Černá díra může být i uvnitř normální hvězdy, anebo se může pohybovat mračnem mezihvězdné hmoty. Největší naději snad mohou poskytnout systémy masivních a přitom těsných dvojhvězd. Hmotnější složka systému se vyvíjí rychleji a dospěla tudíž dříve do závěrečného stádia gravitačního kolapsu. V takovém případě může probíhat výměna hmoty, doprovázená zářením v rentgenovském oboru spektra, neboť plyn, proudící k černé díře, se ohřeje na  $10^{10} - 10^{12} \text{ K}$ . Velký rudý posuv v okolí černé díry však patrně způsobí, že

maximum záření je posunuto do viditelné oblasti spektra.

Hned v počátku jsme se zmínili o pozoruhodném systému zakrytové dvojhvězdy epsilon Aurigae. Poněvadž pozorujeme zakryty, nemůže je působit černá díra, jež by sama měla příliš nepatrné rozměry. Podle shodného mínění řady autorů působí zakryt primární složky jakýsi poloprůhledný disk. R.Stothers soudí, že jde o hmotu, která se nabalila na vlastní kolapsar a září v infračerveném světle. Tento rozsáhlý diskový oblak pak ve svém nitru skrývá kolapsar. Celá domněnka má dosud řadu spekulativních rysů, ale v principu je přípustná; t.j. není v rozporu ani s pozorováními ani s astrofyzikální teorií.

Z hlediska gravitační teorie lze každé těleso ve vesmíru charakterizovat bezrozměrným parametrem  $P = 2 G m/R c^2$ . Zde  $G$  je gravitační konstanta,  $m$  hmota tělesa,  $R$  jeho charakteristický rozměr (poloměr hvězdy) a  $c$  rychlost světla. Podle Hoyla pak můžeme sestavit tabulku:

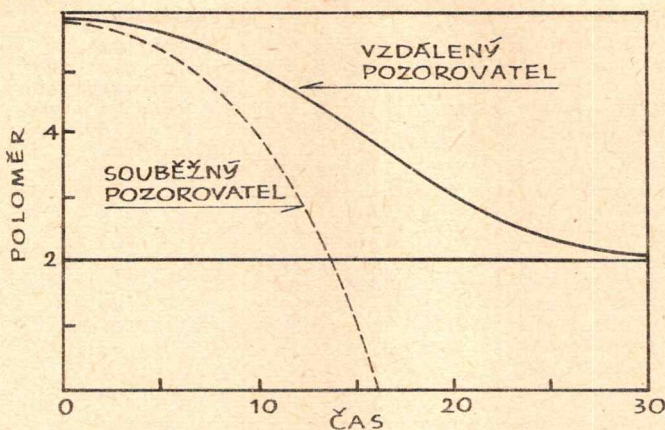
Objekt	P
Hvězda hlavní posloupnosti	$10^{-6}$
bílý trpaslík	$10^{-4}$
supernova	$10^{-3}$
neutronová hvězda (pulsar)	$10^{-1}$
masivní hvězda ( $m > 30$ ) ke konci vývoje	1

Objekt, jehož parametr P se blíží jedničce, končí tedy jako černá díra. Hvězdy, které jsou obdařeny dostatkem předvidavosti, se proto včas zbavují přebytečné hmoty, a to buď spjitě nebo výbuchem. Neučiní-li tak včas, zdá se jejich zánik v podobě černé díry neodvratný. Zbývá ovšem problém ještě obecnější. Pokud je vesmír uzavřená soustava, číhá nad ní hrozba gravitačního kolapsu, neboť vzájemná přitažlivost galaxií nakonec převládne nad všemi silami. Impozantní kolaps vesmíru by ovšem probíhal za účasti naší Země a fyzikové budoucích generací by tak měli mít jedinečnou příležitost popisovat gravitační kolaps z hlediska vnitřního pozorovatele. Vzhledem k tomu, co dnes víme o závěrečných stádiích kolapsu, však nelze tvrdit, že bychom jim měli co závidět.

Děkuji dr.P.Anárlovi,CSc, za kritické pročtení a připomínky k rukopisu, i za připsání závěrečné poznámky, která následuje:

Gravitační kolaps by nutně periodicky probíhal v oscilujícím vesmíru, o němž se v kosmologii nejčastěji mluví. V tomto článku jsme si však řekli, že z kolapsu není z principiálních důvodů možný návrat. Podíváme-li se však do vesmíru, vidíme většinou rozpínání a téměř všichni kosmologové soudí, že pozorovaná část vesmíru se rozpíná ze suprahustého stavu - tedy antikolaps. Že by kosmické objekty (jako chrousti) nevěděly, že něco takového není možné? Nebo že bychom my zatím neznali fyzikální zákony, podle nichž je to "normální"?

- PA -



Obr. 1. Průběh závislosti poloměru kolapsaru na čase, jak ji vidí vzdálený pozorovatel (plná čára) a souběžný pozorovatel (přerušovaná čára). Čas i poloměr je vyjádřen v jednotkách hmoty černé díry. Schwarzschildův poloměr  $r_S = 2$  je vyznačen vodorovnou úsečkou. K tomuto poloměru se z hlediska vnějšího pozorovatele rozměr kolapsaru asymptoticky blíží, zatímco pro souběžného pozorovatele značí průchod poloměrem  $r_S$  konec všech nadějí na zpětný návrat.

Pol Swings

#### Symbiotické hvězdy

Na první pohled se může zdát podivné, že přívlastek "symbiotický", používaný hlavně biology, může být spojen se slovem "hvězda". Byl to skvělý americký astronom Paul W. Merrill, který před 25 lety zavedl výraz "symbiotic stars" jako označení zvláštních objektů, jejichž spektrum vykazuje charakteristiky velmi vysoké excitace na straně jedné a nízkou teplotu na straně druhé. Studium těchto "patologických případů" je velice prospěšné pro pochopení normálních hvězd, stejně jako studium nemocí umožní lépe poznat jevy existující u zdravého organismu. Skutečně, stejně jako je málokterý člověk úplně zdravý, neexistuje vůbec hvězda, která by neměla nějakou odchylku od normálu, nebo alespoň dispozice ke vzniku takových odchylek v určitém období svého vývoje.

Astronomové - amatéři by velice pomohli astrofyzikům, kdyby se zajímali o nenormální hvězdy a zvláště o hvězdy symbiotické. Během posledních třiceti let jsem se vždy snažil získat jejich světelnou křivku v obdobích, kdy jsem studoval jejich spektrum. Chtěl bych požádat naše kolegy, astronomy-amatéry nebo profesionály, aby věnovali svoji pozornost důležitému fotometrickému sledování těchto nestvárných objektů. Můj článek však není zaměřen jen na symbiotické hvězdy. Měli bychom získávat také dobré světelné křivky četných dalších kategorií neobvyklých hvězd - z osobního hlediska uvádím hlavně chladné nepravidelné proměnné (například uhlíkové hvězdy, jejichž spektrum



obsahuje pásy molekul  $C_2$  a  $SiC_2$  s proměnnou intenzitou) a horké hvězdy s emisními čarami velmi proměnné intenzity. Mnoho z těchto hvězd není ani katalogizováno jako proměnné, ale tím se nesmíme dát odradit.

Ze světla, které k nám z hvězdy přichází, zjišťujeme geometrické, fyzikální, dynamické, chemické a jiné údaje, které nám ji charakterizují. Protože různá záření mohou pocházet z různých oblastí atmosféry (efekt stratifikace), nebo lépe řečeno jsou buzena různými mechanismy, nemůže nás udivit, jestliže pro různá záření nalezneme různé světelné křivky. Ideální by bylo mít k dispozici monochromatické světelné křivky. Pro symbiotické hvězdy bychom například potřebovali světelné křivky odpovídající diskretním charakteristickým emisím (jako jsou kupříkladu čáry vodíku nebo silně ionizovaných atomů), horkému kontinuu a "chladnému" kontinuu, řečneme v červené oblasti za čarou  $H_{\alpha}$ . Světelné křivky byly publikovány, ale zůstává tu ještě mnoho práce, tím spíše, že neexistuje křivka opravdu uspokojivá, odpovídající přesně určeným úsekům spektra. Takové "monochromatické" křivky z různých částí spektra se budou od sebe samozřejmě lišit, světelné maximum může dokonce nastat v různých fázích. V tom se symbiotické hvězdy vůbec neliší od nov: světelné křivky novy v čáře  $H_{\alpha}$ , nějaké zakázané čáře nebo v ultrafialovém kontinuu budou určitě rozdílné a jejich maxima mohou spadat do velmi rozdílných fází.

Nejtypičtější hvězda, která byla jako první detailně zkoumána, je Z And, jejíž vizuální magnituda vykazuje poloprovoditelné změny; někdy slabé fluktuační a jindy opět proměnnost v rozsahu až 3<sup>m</sup>. První studium spektra, které provedl r.1928 H.H.Plaskett, nezahrnovalo ještě čáry  $TiO$ , patřící chladné "složce". Od té doby byly studovány četné symbiotické objekty z různých hledisek, zejména M.Blochovou ve Francii, v USA se jejich studii věnovali P.W.Merrill, O.Struve, L.H.Aller a v Argentině J.Sahade. Spektroskopicky a teoreticky byly nejdříve zkoumány:

AG Peg, AX Per, CI Cyg, BF Cyg, RW Hya, T CrB, R Aqr, RS Oph, FR Sct, MWC 603.

Některé z těchto objektů se velmi podobají novám. Často u nich pozorujeme výjimečně rychlé změny spektra. Například spektrum BF Cyg se mění velmi podstatně během jednoho dne. Mnoho z uvedených objektů vykazuje emise velmi vysoké excitace, jako jsou Fe VII nebo Ne V. Takové emise jsou charakteristické pro velmi vysoké teploty. V některých fázích AX Per pozorujeme ve spektru dokonce koronální čáry Fe X. Připomeneme, že i spektrum četných nov jeví v některých fázích koronální čáry - to je případ T CrB, RS Oph, T Pyx v roce 1945, N Her 1960 a 1963. Jiné symbiotické objekty projevují excitaci mnohem nižší - čáry maximální excitace odpovídají O III.

Další objekty jsou velmi podobné již jmenovaným a jejich fotometrické studium také doporučuji. Jsou to: 17 Lep, AX Mon, RX Pup, MWC 17, RY Sct, CD-27 11944, MH $\alpha$  328-116, MWC 349, B 1985, WY Gem, W Cep, VV Cep, W Ser, HD 45677.

Mnohé z těchto objektů jsou nepochybně dvojhvězdy, jiné jsou možná jednoduché, jako např. HD 45677. V jejím spektru pozorujeme zakázané čáry ionizovaného železa, ale nebyla u ní dosud objevena chladná složka. Nebyl bych vůbec překvapen, kdyby se jednoho dne podařilo nalézt infračervenou složku.

Z hlediska spektroskopie je většina uvedených hvězd neobyčejně zajímavá.

8. mezinárodní astrofyzikální kolokvium v Liège (1957) se zaměřilo na hvězdy s emisními čarami; bylo tam uvedeno mnoho nových informací o symbiotických hvězdách. Během posledního desetiletí však naše znalosti o nich pokročily jen nepatrně.

Mechanismy excitace jsou různé: rekombinace iontů a elektronů, srážky částic, fluorescence způsobená spojitým zářením, diskretní emise, molekulární procesy. Protože bylo pozorováno u několika uvedených hvězd magnetické pole, nemůžeme se divit, že efekty magnetického původu se budou rovněž projevovat. Nezapomínejme také, že se můžeme setkat s efektem relaxace. Změna excitace - způsobená např. teplotou horkých oblastí - může postupně zasahovat vzdálené oblasti hvězdy po několika dnech až měsících, někdy dokonce po letech.

Zkoušeli jsme najít vztah mezi symbiotickými hvězdami a jinými objekty, jako jsou planetární mlhoviny, WR hvězdy, novy a horké hvězdy s obálkou. Avšak naše znalosti vývoje hvězd jsou ještě značně neurčité pro oblasti HR diagramu mezi stadiem rudých obrů a bílých trpaslíků. Zdá se dokonce, že planetární mlhoviny, případně symbiotické objekty, reprezentují zde dosud chybějící vývojová stadia. Ve všech případech pozorujeme, že v diskretních emisích se sobě podobají spektra symbiotických hvězd a planetárních mlhovin, zvláště pak mlhovin s relativně vysokou hustotou elektronů, jako je například IC 4997.

Velmi nápadná je také podobnost mezi oblastí vysoké excitace symbiotických hvězd a nov. Týká se to hlavně rekurentních nov T CrB, RS Oph, RT Ser a T Pyx. Zejména RS Oph s periodou kolem 25 roků, jejíž poslední exploze byly pozorovány r. 1898, 1933, a 1958, bude velmi zajímavá kolem roku 1983. V této době budou již v činnosti orbitální teleskopy, které nás nebo naše nástupce budou informovat o oblasti dalekého ultrafialového, rentgenova a infračerveného záření současně s fotografickými záznamy. V určitém období - zejména ve fázi koronální - spektrum v ultrafialové oblasti bude neobyčejně zajímavé. Astrofyzikové jsou již skutečně nedočkaví, až budou znát spektra všech uvedených hvězd získaná na družicích.

Abychom porozuměli spektrům i fyzikálním dějům, které probíhají na symbiotických objektech, je nejučinnější použití srovnávací metody; porovnání těchto hvězd s novami, hlavně pomalými a rekurentními, WR hvězdami a hvězdami typu P Cyg, hvězdami typu Of (O s emisními čarami) a Be. Různé mechanismy excitace a fyzikálního i geometrického zředění záření jsou relativně různě důležité. Ale bez dobré světelné křivky (monochromatické s výběrem různých oblastí spektra) nebudou spektroskopická pozorování nikdy kompletní; pomoc našich kolegů zabývajících se fotometrií je proto důležitá. Srovnání světelné křivky s křivkou radiálních rychlostí má evidentně také velký význam. Radiální rychlost je totiž rozdílná pro různé prvky a dokonce i pro spektrální čáry téhož prvku, excitované různými mechanismy.

Na první pohled mají symbiotické objekty neobvyklé poměrné zastoupení prvků, v tom se ostatně podobají novám. Ale musíme být velice opatrní, pokusíme-li se poměrné zastoupení prvků určit, protože musíme počítat s rozmanitostí a složitostí mechanismů excitace, s efekty zeslabení a odchylkami od termodynamické rovnováhy. Proto některé "anomálie" v poměrném obsa-

hu prvků jsou jen zdánlivé.

Jaká je příčina erupcí symbiotických hvězd? Zdá se, že vznikají tlakem záření, který může působením turbulence, expanze nebo rotace náhle vzrůst pro některé atomy, např. pro O nebo N III. Stačí si třeba vzpomenout na "nitrogen flaring stage" (= "stádium dusíkových erupcí") u N Gem 1912. Snad by takové selektivní exploze mohly také vysvětlit bizarní typy planetárních mlhovin, jejichž jádro je bohaté uhlíkem (zbavené dusíku), zatímco mlhovina je bohatá na dusík!

Je také nutné mít stále na zřeteli možnost časového zpoždění. Změny zářivé teploty vnitřních oblastí mají vliv na ionizaci vnějších obálek po časovém intervalu mnohem delším než na obálky bližší excitujícímu povrchu.

Pojednal jsem o možné souvislosti mezi symbiotickými hvězdami a planetárními mlhovinami. Ve skutečnosti se však nejprve ptáme: jsou symbiotické objekty bizarními soustavami dvou hvězd nebo oblodnými samostatnými hvězdami? Na tuto otázku nemůžeme dnes dát konečnou odpověď. Můžeme poskytnout argumenty ve prospěch obou těchto možností, jak jsme právě učinili.

Jak už bylo řečeno, chceme-li úspěšně interpretovat jevy pozorované na symbiotických hvězdách, musíme současně získat

- 1) spektra zahrnující širokou oblast vlnových délek, s nejvyšší možnou dispersí
- 2) světelné křivky tak přesné a monochromatické, jak jen bude možné, získané pomocí filtrů a dispersních soustav

Pozorování kosmické astronomie budou samozřejmě také vítána.

Přeložili: P. Příhoda

M. Wiessnerová

podle L'Astronomie, 82, 23, (1968)

P.Příhoda

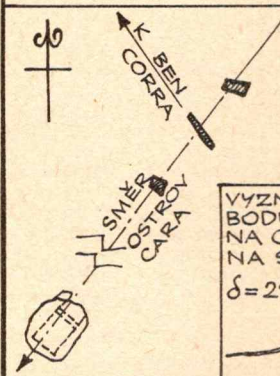
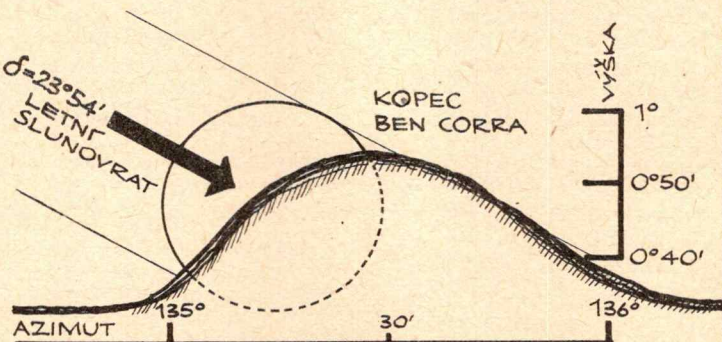
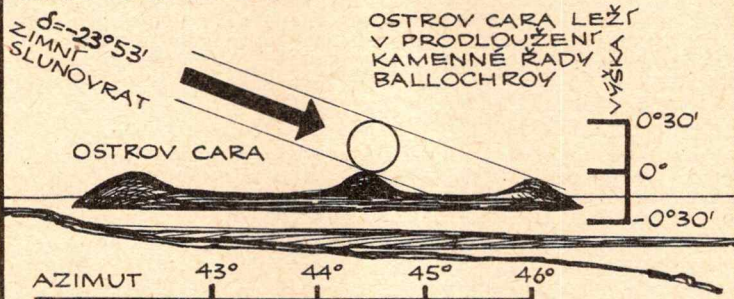
### Megalitická astronomie

Kosmické rozhledy poskytly před několika lety své stránky zpráve o astronomickém významu Stonehenge, kruhové kamenné stavby v jižní Anglii. Tato předhistorická megalitická stavba měla kromě pravděpodobného kultovního účelu také zřejmě astronomické poslání. Pomocí dvojic kamenných sloupů a osy souměrnosti celé stavby je možné určit okamžik letního a zimního slunovratu a jarní i podzimní rovnodennosti a to podle místa východu a západu Slunce. Další kombinace kamenů určují záměrné přímký na ty body obzoru, kde vychází a zapadá Měsíc v době maximální a minimální deklinace při průchodu kolem obou slunovratných bodů, jarního a podzimního bodu. Kamenné záměry směřují tedy k těm bodům, kde se s obzorem protínají rovnoběžky o deklinacích přibližně  $\pm 24^{\circ}$ ;  $0^{\circ}$  pro Slunce a  $\pm 29^{\circ}$ ;  $\pm 19^{\circ}$ ;  $\pm 5^{\circ}$  pro Měsíc. Počítá se zde, že v době vzniku a používání Stonehenge, mezi lety -2000 až -1400, byl sklon ekliptiky  $23^{\circ}, 91'$ , takže uvedené hodnoty jsou velmi blízké skutečným.

Většina kamenů určuje směr dvojznačně (jedním směrem taková dvojice míří například k východu při letním slunovratu, druhým směrem k západu při zimním slunovratu a podobně). Není proto často možné zjistit, který z obou okamžiků byl pečlivěji

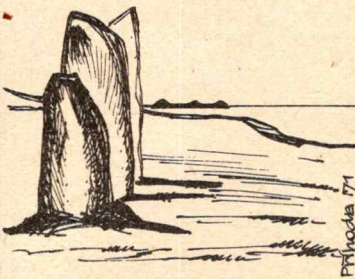
KAMENNÁ ŘADA  
BALLOCHROY

OBR. 1.



VYZNAČENÍ  
BODU  
NA OBZORU  
NA SV  
 $\delta = 29^{\circ}4'$

POHLED PŘES POKRAČOVÁNÍ  
KAMENNÉ ŘADY  
K OSTROVU CARA



Příroda 171

sledován, nebo zda to byl jen jeden z nich. Stejně tak je možné uvažovat pouze hypoteticky, jak stavitelé Stonehenge využili jeho možnosti k určení období, kdy Měsíc je v úplňku a současně v uzlu a zda snad odtud určovali, že je možné očekávat zatmění. Podobně nezávazně můžeme přemítat o tzv. Aubreyově kruhu, který obemývá kamennou ohradu Stonehenge a mohl být použit jako svérázné počítadlo k výpočtu zatmění. Podrobnosti najde čtenář v článku /1/.

Stonehenge není však jediný případ svého druhu. Předně je to pouze jedna z mnoha megalitických staveb, předhistorických staveb z velkých balvanů, které nacházíme ve značném počtu zvláště v severozápadní Evropě - zde hlavně v severní Francii a Velké Británii. Jde o pozůstatky neolitické civilizace, jejíž stopy jsou roztroušeny v celé Evropě i na Blízkém a Dalekém východě. Kameny megalitických staveb jsou neopracované, nebo jen zhruba. Nacházíme je jako jednotlivé sloupy - menhiry - které dosahují i dvacetimetrové výšky, kamenné řady a tzv. kromlechy - to jsou menhiry sestavené do kruhu nebo oválu.

Podobně jako u Stonehenge, můžeme najít i u mnoha ostatních megalitických staveb významnou astronomickou orientaci. Anglické megality z tohoto hlediska studoval A.Thom, profesor Oxfordské university /2/. Zvolil jedině možnou a správnou metodu: nezkoumal jednotlivou stavbu odděleně od ostatních, ale prozkoumal statisticky souhrn 500 staveb. Z konfigurace kamenů vybíral ty, které jasně určovaly určitý směr. Ukázalo se, že takovýto kritický výběr není u zkušného pracovníka subjektivní, ale naopak vede k velmi zajímavým závěrům.

Předmětem studia byly megalitické stavby těchto typů:

- 1) kamenné kruhy (kromlechy). Obsahují oblé i zašpičatělé sloupovité balvany. Někdy jde o více soustředných kruhů. Průměry až 110 m. Uvnitř kruhů také bývají rozmístěny balvany, ale nikdy ne v geometrickém středu (případ trilitů v Stonehenge). Snad zde stál dřevěný kůl jako hledí.
- 2) deformované kamenné kruhy. Jde o kameny sestavené do oválů s několika středy křivosti, elipsy i vejcovité konfigurace. Příkladem poslední je Woodhenge.
- 3) řady kamenů - ať už plochých nebo sloupovitých, vymezující jednu nebo více záměrných přímk.

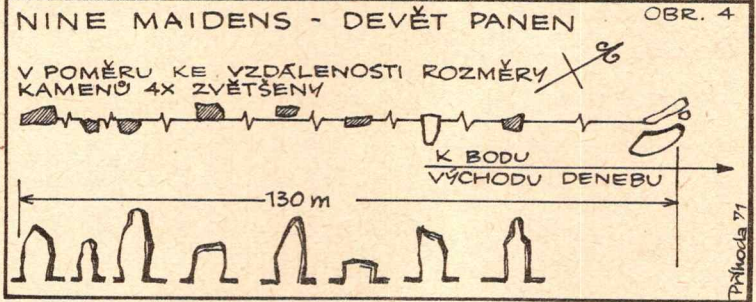
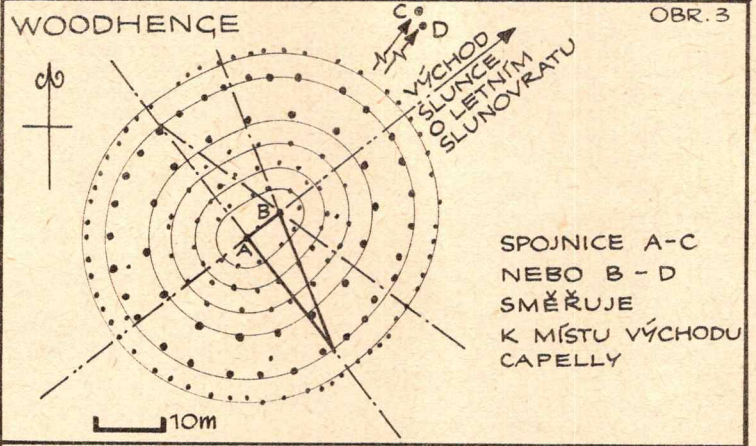
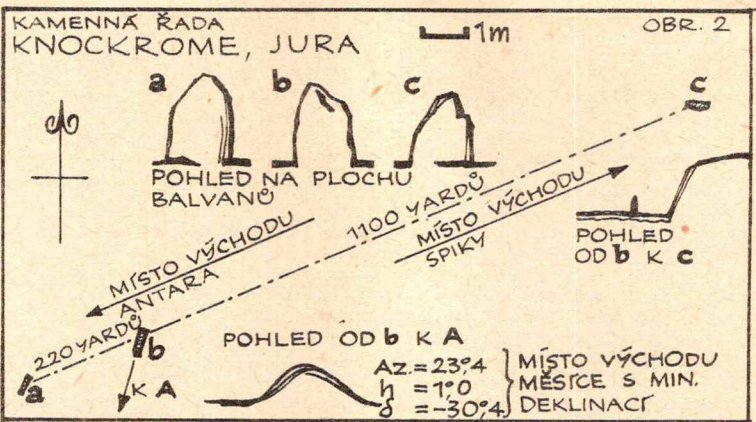
Stavby jsou konstruovány v modulu 83 cm, nazývaném megalitický yard. Jsou používány některé jeho zlomky ( $\frac{1}{4}$ , nikdy  $\frac{1}{3}$ ) a ovšem násobky.

#### Astronomický význam.

Stavební prvky megalitických staveb představují v řadě případů záměrné přímky, které jsou orientovány v určitém azimutu. Pozoruje se vždy směrem k obzoru, nikoliv obzorníku. Pro stanoviště s určitou zeměpisnou polohou je tak obecně dvojnásobně určena deklinace sledovaného tělesa na světové sféře, protože nevíme, na kterém konci záměrné přímky stál pozorovatel. Tuto dvojnásobnost je možno často vyloučit, protože k pozorování je vhodný jen jeden z protilehlých směrů.

Za záměrné přímky je možné z mnoha kombinací přijmout tyto "stavební prvky":

1. Menhir stojící vně kromlechu, pozorovaný ze středu



- kromlechu
2. Menší kromlech, pozorovaný ze středu většího
  3. Řada balvanů
  4. Ploché deskovité balvaný, namířené delší hranou na:
    - 4,1. druhý balvan,
    - 4,2. vrchol vzdáleného kopce,
    - 4,3. rozměrný, lidskou rukou nepřemístěný balvan na hřebeni kopce,
    - 4,4. zářež nebo průsmyk na kopcovitém horizontu.

Tyto čtyři případy můžeme najít i v různých kombinacích.

Ploché balvaný v řadě často definují místní poledník. Dodnes na některých lokalitách můžeme určit pomocí stínu pravé poledně s přesností několika minut. Přesnost případu 4. je značná. Svah vzdáleného kopce bývá často rovnoběžný s dráhou zapadajícího Slunce a přesnost určení deklinace je limitována jen ze dne na den se měnícími hodnotami refrakce v malé výšce. A. Thom mohl při západu Slunce za takovým svahem vidět několikrát zelený paprsek, když změnil své stanoviště střídavě několik decimetrů doprava a doleva. To je případ kamenné řady Ballochroy, umístěné tak, že Slunce o letním slunovratu zapadá za 30 km vzdáleným kopcem Ben Corra a o zimním slunovratu zapadá mezi dvěma ze tří vrcholů ostrova Cara - spodní část slunečního kotouče zapadá za prostředním vrcholem, horní část za pravým - západním (obr. 1).

Pro velkou vzdálenost obou míst pozorovatel může dosáhnout spíš přesnosti několika obloukových vteřin než minut. Proto je v těchto případech nutné brát v úvahu sklon ekliptiky pro rok -1800 hodnotou mezi  $23^{\circ}52'$  až  $23^{\circ}54'$ , nikoliv hodnotu dnešní.

Řady některých kamenů jsou orientovány ve směru východu nebo západu některých jasných hvězd. Zde je nutno uvažovat pro léta -2000 až -1600 změnu místa východu vlivem precesního pohybu, která u Slunce nenastává. Ověřenými dvěma případy jsou Deneb (čtyři výrazné záměry k místu východu, čtyři k místu západu) a především Capella (9 záměr k místu východu, 9 k západu). Velmi pravděpodobně se vyskytují záměrné přímký na Atair a Procyon a Castor s Polluxem. Možné jsou i záměrné přímký na Antares.

Případem kamenné řady orientované zřejmě na bod východu Deneba je "Devět panen". Je to řada 11 kamenů (nejsevernější je trojice - kamenných panen je tedy opravdu devět).

Podélná osa plochých balvanů v řadě leží zpravidla ve směru řady, ale jsou případy, kdy tomu tak není. Zajímavý je v tomto ohledu Knockrome v Juře (viz obr. 2). Jde o trojici balvanů v řadě, jejichž spojnice se liší od přímký pouze o  $5'$ . Prostřední z kamenů je orientován plochou směrem k malému vrcholu a spojnice obou bodů určuje deklinaci  $-30^{\circ},4$ , která téměř přesně představuje deklinaci dolního bodu měsíčního kotouče v nejnižnější poloze, opravenou o paralaxu.

Namísto slovního popisu uveďme raději schemata některých dalších lokalit (obr. 2,3,4).

Kriticky zpracovaný soubor měření z pětiset míst určuje záměrné přímký pro řadu deklinací. Vyznačme je přehledně v tabulce.