

АЙЗЪК АЗИМОВ

**ГРАВИТАЦИОННАТА
ГИБЕЛ
НА ВСЕЛЕНАТА**

НАРОДНА ПРОСВЕТА



АЙЗЪК АЗИМОВ
ГРАВИТАЦИОННАТА ГИБЕЛ
НА ВСЕЛЕНАТА
КОЛАПСИРАЩАТА ВСЕЛЕНА
ИЛИ ИСТОРИЯТА НА
ЧЕРНИТЕ ДУПКИ

Превод: Радка Динекова

chitanka.info

Книгата на световноизвестния писател фантаст и автор на многобройни научнопопулярни произведения Айзък Азимов представлява достъпно и крайно увлекателно въведение в чудния свят на съвременната астрофизика и на различни теории за черните дупки. „Гравитационната гибел“ е ориентирана към учениците от горните класове, но представлява интерес и за всеки, който би искал да узнае нещо повече за света, който ни заобикаля.

*На Филис и Ал Болк,
които бяха там
на 30 ноември 1973 година.*

1. ЧАСТИЦИ И СИЛИ

След 1960 г. Вселената доби нов, съвършено нов облик. Тя стана по-вълнуваща, по-тайнствена, по-коварна и по-необикновена заедно с нашето знание за нея, което изведнъж се разшири. А най-вълнуващото, най-тайнственото, най-коварното и най-необикновеното от всички явления има най-простото, най-ясното, най-спокойното и най-нежното име — не какво да е, а „черна дупка“.

Една дупка е нищо и ако тя е черна, ние дори не можем да я видим. Трябва ли да се вълнуваме от невидимото нищо?

Да, ако тази черна дупка представлява възможно най-необикновеното състояние на материята, ако тя представлява възможният край на Вселената, ако тя представлява възможното начало на Вселената, ако тя представлява нови физични закони и нови методи за заобикаляне на онова, което преди се е смятало за абсолютно непреодолимо.

За да разберем обаче черните дупки, ние трябва да започнем от самото начало, като се приближаваме към тях стъпка по стъпка.

ЧЕТИРИТЕ СИЛИ

Съществуват четири различни начина, чрез които различните частици, съставлящи Вселената, могат да взаимодействуват помежду си. Всеки един от тези начини е специален вид *взаимодействие* или ако използваме по-старомоден, но по-общ термин — *сила*. Учените не са могли да открият пета сила или, поне засега, да намерят основания за необходимостта от наличие на някаква пета сила.

Четириите сили са подредени по намаляване на тяхната големина в таблица 1.

Таблица 1. Относителна големина на четирите сили

Сила	Относителна големина ^[1]
Ядрена	10^3
Електромагнитна	1
Слаба	10^{-11}
Гравитационна	10^{-39}

Всяка частица във Вселената е източник на една или повече сили. Всяка частица е център на обем от пространството, в който тази сила съществува, с големина, намаляваща с увеличаване на разстоянието до източника. Този обем, в който силата може да се почувствува, се нарича *силово поле*.

Всяка частица, която може да служи като източник на някакво специфично поле, ще реагира на също такова поле, създадено от друга частица. Най-общо реакцията се изразява в движение: частиците се движат една към друга (*привличане*) или се отдалечават една от друга (*отблъскване*), докато не съществува физическа пречка за това.

Така всеки обект, способен да създава гравитационно поле, ако бъде поставен в гравитационното поле на Земята, ще се движи към нейния център, т.е. ще пада. Земята също ще се движи към центъра на обекта и тъй като тя обикновено е много по-голяма от падащия обект,

то нейното движение ще бъде много по-слабо изразено и като правило — невъзможно за измерване.

Измежду четирите сили две — *ядрените и слабите сили* — се чувстват на крайно малки разстояния, от порядъка на 10^{-13} cm или още по-малки^[2]. Такъв е горе-долу размерът на малкото ядро, което съществува в самия център на атома. Тези сили се проявяват само в пределите на ядрата или в непосредствените околности на отделните изолирани частици. Поради тази причина терминът *ядрени сили* понякога се използва и за двете, а ги различаваме по относителната им големина, като казваме *силни ядрени сили* и *слаби ядрени сили*.

В тази книга обаче ние рядко ще споменаваме слабите сили, така че под *ядрени сили* ще разбираме просто *силните ядрени взаимодействия*, т.е. по-интензивните *ядрени сили*.

Не е вероятно дадена частица да генерира и да реагира на всяка една от силите. Само определени частици генерират и реагират на ядрените сили. Тези частици се наричат *адрони*, което на гръцки означава „силен“, понеже ядрените взаимодействия са най-силните. Най-разпространените адрони, които имат основно значение за структурата на Вселената, са двата *нуклона* — *протонът* и *неутронът*.

Протонът е открит през 1914 г. от британския физик Ърнест Ръдърфорд (1871–1937) и наименованието му идва от гръцки и означава „първи“, защото по времето на откриването му това е била най-малката частица с положителен електричен заряд.

Неутронът е открит през 1932 г. от английския физик Джеймс Чадуик (1891–1974). Неутронът няма електричен заряд — нито положителен, нито отрицателен. С други думи, той е електрически неутрален, откъдето идва и името му.

През 1911 година Ръдърфорд показва, че почти цялата маса на атома е съсредоточена в много малка пространствена област в центъра му — *ядрото* на атома. След откриването на протоните се разбрало, че те са сравнително масивни частици и представляват част от ядрата. Броят на протоните в ядрата варира в зависимост от вида на атомите. Водородният атом има един протон в ядрото си, хелиевият има два, литиевият — три, и т.н. до урановия атом, който има 92 протона. Още по-масивни атоми са създадени изкуствено в лабораториите.

Възниква въпросът, какво задържа на едно място вътре в ядрата всички протони, където те са разположени толкова близко?

До 1935 година са били известни само две сили — електромагнитната и гравитационната. *Гравитационната сила* е твърде слаба, за да държи протоните заедно. *Електромагнитната сила* е достатъчно голяма, но тя се проявява не само като привличане, но и като отблъскване. Между две частици с противоположен електричен заряд (положителен и отрицателен) съществува привличане, а между две частици с едноименен електричен заряд (положителен или отрицателен и за двете частици) съществува отблъскване. Всички протони са заредени положително и следователно би трябвало да се отблъскват, като отблъскването трябва да е толкова по-силно, колкото по-близо един до друг са протоните. В едно атомно ядро, където протоните са притиснати един до друг, електромагнитното отблъскване трябва да е изключително силно, но въпреки това протоните остават заедно.

Заедно с протоните неутроните също влизат в състава на ядрата, но това като че ли не обяснява нещата. Тъй като неутроните не притежават електричен заряд, те нито пораждат, нито реагират на електромагнитните сили. Следователно, те нито привличат, нито отблъскват протоните, т.е. нито могат да помагат на протоните да останат заедно, нито могат, да ускорят раздалечаването им.

Едва през 1935 г. японският физик Хидеки Юкава (1907–1981) създава плодотворна теория за ядрените сили. Той показва, че е възможна появата на сила на привличане между протоните и неутроните, когато те са близо един до друг, като тази сила на привличане е хиляди пъти по-голяма от електромагнитната сила на отблъскване. Онова, което ядрената сила държи заедно, електромагнитната сила не може да разруши.

Ядрените сили „работят“ най-добре, правейки ядрото стабилно, само когато протоните и неутроните са в определени съотношения. За атомите, чиито ядра съдържат по-малко от 40 частици, най-доброто съотношение е като че ли еднаквият брой протони и неутрони. За по-сложните ядра е необходимо броят на неутроните да бъде по-голям от броя на протоните, като това преобладаване на неутроните е толкова по-голямо, колкото по-сложно е ядрото. Ядрото на висмут, например съдържа 83 протона и 126 неутрона.

Когато едно ядро се състои от протони и неутрони, чието съотношение е извън областта на стабилност, то ядрото не може да остане свързано. Докато пропорцията влезе в зоната на стабилност, от ядрото ще излитат малки *бета-частици* (бета (β) е втората буква от гръцката азбука) поради действието на слабите сили. Възможни са и други начини на ядрено разпадане, но всички те са обединени в това, което наричаме *радиоактивност*.

Колкото и да са „силни“ ядрените сили, те имат своите граници. Големината на ядрените сили спада *извънредно* бързо с увеличаване на разстоянието и не се чувствава извън ядрото. Влиянието на силата на привличане отслабва значително още във външните области на по-големите ядра.

Електромагнитната сила също намалява, но значително по-бавно. Размерът на ядрото е ограничен, тъй като във външните му области електромагнитната сила на отблъскване се изравнява с бързо намаляващата ядрена сила на привличане. Ето защо атомните ядра са толкова малки. Ядрената сила просто не може да създаде нещо по-голямо (освен при изключителни, необичайни условия, които ще разгледаме по-нататък в книгата).

Сега нека да съсредоточим вниманието си върху електромагнитното взаимодействие, което, както вече казах, се генерира само от тези частици, които носят електричен заряд, и на него реагират също само такива частици. Зарядът бива положителен и отрицателен. Взаимодействието между положителните и отрицателните заряди се нарича привличане, а взаимодействието между едноименните (отрицателни или положителни) е отблъскване.

Протонът, който има положителен електричен заряд, генерира и реагира както на ядрените, така и на електромагнитните сили. Неутронът, който е електрически неутрален, поражда само ядрените сили и реагира само на тях.

Освен това съществуват и частици, наречени *лептони*, което на гръцки означава „слаб“. Те генерират и реагират само на слабите сили, никога на ядрените сили. Някои лептони обаче имат електричен заряд и поради това те генерират и реагират и на електромагнитните сили, а не само на слабите сили.

Най-важният от лептоните, що се отнася до обикновената материя, е *електронът*, който носи отрицателен електричен заряд.

(Бета-частиците, които излизат с огромни скорости от нестабилните ядра при слабите взаимодействия, не са нищо друго освен бързи електрони.) Електронът е открит през 1897 г. от английския физик Джоузеф Джон Томсън (1856–1940) и е получил името си от това, че по време на откриването му най-малкият носител на електричен заряд, познат дотогава, е бил наречен така. Той си остава такъв и до днес.

Информацията, която имаме дотук, е резюмирана в таблица 2.

Таблица 2. Частици и сили

Сила	Протон	Неутрон	Електрон
Ядрена	да	да	не
Електромагнитна	да	не	да

Забележка: Съществуват също така и частици, подобни, на електрона, но с положителен електричен заряд. Това са *антиелектрони*, или *позитрони*. Протон с отрицателен електричен заряд е *антипротон*. Неутрон с някои противоположни свойства е *антинейтрон*. Тази група противоположни частици е групата на *античастиците*. Така както обикновените частици са градивните съставки на веществото около нас, то античастиците биха могли да бъдат градивните съставки на *антивеществото*. Такова антивещество може би съществува някъде във Вселената, но досега ние не сме успели да установим съществуването му. Учените обаче са в състояние да създават малки количества антивещество в лабораторни условия.

[1] Интензитетите са дадени във вид на степени, като 10^3 означава 1000, а 10^{-11} означава 1/100 000 000 000. Ако не сте запознати с това означение, някои подробности за него са дадени в приложение 1.

↑

[2] В тази книга се използва метричната система, която е универсална извън САЩ, но се използва също и от американските учени. Някои подробности за метричната система са дадени в приложение 2. ↑

АТОМИ

Електроните не реагират на ядрените сили и поради това те не могат да бъдат части от ядрата. Електронът обаче се привлича от протона в резултат на електромагнитно взаимодействие и се стреми да остане близо до него. Така, ако ядрото се състои от един-единствен протон, то вероятно има и един електрон, който се задържа около него от електромагнитната сила. Ако в ядрото има два протона, то вероятно около тях има два електрона и т.н.

Ядрото и електроните около него образуват *атом*. Той носи името си от гръцката дума „неделим“, понеже по времето, когато за пръв път се е заговорило за атоми, се е смятало, че те не могат да се делят на по-малки частици.

Както впоследствие бе установено, протонът и електронът действително са носители на еднакъв по големина електричен заряд (но противоположен по знак). Следователно, ако в ядрото има x протона, съществуването на x електрона в областите около ядрото означава, че двата вида заряди се неутрализират напълно, което прави атома неутрален като цяло.

Това, че електронът и протонът имат един и същ електричен заряд, не означава, че те имат една и съща маса.^[1] Протонът е 1836,11 пъти по-масивен от електрона. В такъв случай нека да си представим атом с 20 протона и 20 неутрона в ядрото и 20 електрона във външните му области. Електричният заряд се уравнисява, но повече от 99,97% от масата на атома е съсредоточена в неговото ядро.

И така, независимо че в ядрото се съдържа почти цялата маса на атома, то заема само една малка част от обема му. (Добре е да се запомни този факт, понеже това е важно за темата на тази книга, както ще видим по-нататък.) Диаметърът на ядрото е около 10^{-13} cm, а диаметърът на целия атом е около 10^{-8} cm.

Това означава, че атомът е 100 000 пъти по-голям от ядрото си. Ще са необходими 100 000 ядра, наредени едно до друго, за да запълнят атома по диаметъра му. Ако си представим, че атомът е една

куха сфера, която трябва да запълним с ядра, то излиза, че ще са необходими 10^{15} (един милион милиарда) ядра, за да направим това.

А сега нека да разгледаме два атома. Всеки от тях има сумарен електричен заряд, равен на нула. Тогава бихме могли да предположим, че те няма да си влияят, че те, така да се каже, ще са независими един от друг, що се отнася до електромагнитните взаимодействия между тях.

Това би било така в идеалния случай, когато в различните атоми зарядът на електрона е разпределен равномерно в една сфера около ядрото и когато положителният заряд на ядрото се смесва равномерно с отрицателния заряд на електроните. Тогава електромагнитните сили между атомите не биха играли никаква роля.

Но в действителност това не е така. Отрицателният заряд на електроните е разпределен във външните области на атома, а положителният заряд на протоните е скрит вътре в него. Когато два атома се приближават един към друг, то отрицателно заредената външна област на единия се приближава към отрицателно заредената външна област на другия. Двете отрицателно заредени области се отблъскват (отблъскват се така, както се отблъскват всеки два едноименни заряда). Това означава, че ако два атома се приближат достатъчно един до друг, те ще променят направлението на движението си и ще се разлетят.

Газообразният хелий например се състои от отделни хелиеви атоми, които са в непрекъснато движение („странствуват“ из обема, зает от газа), при което се удрят един в друг. При стайна температура те се движат със значителни скорости, при което се удрят един в друг с голяма сила. При понижаване на температурата обаче атомите започват да се движат все по-бавно и по-бавно, удряйки се все по-слабо и по-слабо. Тогава хелиевите атоми се доближават все повече един към друг, хелият се свива и обемът му намалява.

Обратно, при повишаване на температурата атомите започват да се движат по-бързо, удрят се един в друг все по-силно и хелият се разширява.

Изглежда няма ограничения за това, колко бързо могат да се движат атомите (в рамките на едни разумни предположения), но съществува едно просто за обяснение ограничение за това, колко бавно биха могли да се движат те. При силно понижаване на температурата

атомите достигат такова състояние, при което движението им се забавя дотолкова, че от тях не може да се отделя повече енергия. При такава неподвижност казваме, че температурата достига *абсолютната нула*, която съответствува на $-273,18^{\circ}\text{C}$. (В тази книга температурата се изразява в градуси по скалата на Целзий, която се използва навсякъде по света с изключение на САЩ, но се използва също и от американските учени. Подробности за връзката между градусите по Целзий и привичните за американците градуси по скалата на Фаренхайт са дадени в приложение 3.)

Въпреки че разпределението на заряда в хелиевия атом е съвсем близко до идеално симетричното, то все пак не е *напълно* идеално. Електричният заряд не е съвсем равномерно разпределен и като резултат от това съществуват области от повърхността на атома на хелия, които са с по-малък отрицателен заряд от другите. Това от своя страна спомага положителният заряд вътре в ядрото да „надникне“ през тези именно външни области с по-малък отрицателен заряд, т.е. тогава два съседни атома ще могат много слабо да се привличат. Това слабо привличане се дължи на възникването на *силите на Ван дер Ваалс*, които носят името на откривателя им — холандския физик Дидерик ван дер Ваалс (1837–1923). С понижаването на температурата хелиевите атоми започват да се движат все по-бавно и по-бавно и силите на отблъскване явно не са толкова големи, за да преодолеят слабите сили на Ван дер Ваалс. Атомите остават близо един до друг и от газ хелият се превръща в течност.

В почти симетричния хелиев атом силите на Ван дер Ваалс са толкова слаби, че температурата трябва да се понижи до $4,3^{\circ}$ над абсолютната нула, за да може да се втечни хелият. Всички други газове имат по-несиметрично разпределение на зарядите в атомите си, следователно при тях силите на Ван дер Ваалс са по-големи и температурите на втечняване — по-високи.

Понякога атомите могат да се привличат и по-силно. Електроните във външните области на атомите са подредени в слоеве и структурата на атома е най-стабилна тогава, когато всички слоеве са запълнени. С изключение на хелия и някои подобни на него елементи при повечето други атоми най-външният слой не е съвсем запълнен или, обратно, при запълването му там остават известен брой електрони в повече.

Поради това съществува тенденция при сблъскване на два атома да се предават един или два електрона от атома, който ги има в излишък, на този, на който не му достигат, при което в крайна сметка се запълват външните им обвивки. Тогава обаче атомът, който получава електрони, получава и отрицателен заряд, а другият, който отдава електрони, не може повече да уравнива напълно заряда на ядрото си и придобива положителен заряд. Следователно двата атома ще се стремят да останат заедно.

Освен това два атома могат да си поделят електрони, когато се сблъскват, и това помага да се запълнят най-външните обвивки и на двата атома. Това, че техните най-външни обвивки след сблъскването се запълват, е единственото нещо, което ги задържа в контакт.

И в случая на предаване, и в случая на поделене на електрони, е необходима значителна енергия, за да се разделят отново атомите, а при нормални условия те остават заедно. Такива комбинации от атоми се наричат *молекули*, което на латински означава „малък обект“.

Понякога са достатъчни само два атома, за да се образува стабилна комбинация. Два водородни атома образуват молекулата на водорода, два азотни атома — молекулата на азота, а два кислородни атома — молекулата на кислорода.

Понякога, за да се запълнят всички обвивки, е необходимо да се свържат повече от два атома. Молекулата на водата се образува от един атом кислород и два атома водород, молекулата на метана се образува от един атом въглерод и четири атома водород, молекулата на въглеродния двуокис се образува от един атом въглерод и два атома кислород и т.н.

Има случаи, когато са необходими милиони атоми за образуването на молекула. Това е така, защото например при въглеродните атоми всеки такъв атом може да поделя електрони с всяка четворка други въглеродни атоми. Следователно могат да се образуват дълги вериги и сложни пръстени от въглеродни атоми. Такива вериги и пръстени представляват основата на характерните за живата тъкан молекули. Молекулите на протеините и на нуклеиновите киселини в човешкото тяло и във всички други живи организми са пример за такива *макромолекули* (*макро* произлиза от гръцки и означава „голям“).

Комбинации от атоми, в които електроните могат да се пренасят от един атом на друг, образуват *кристали*, в които неизброими милиони атоми съществуват в подредени редици.

Общо взето, колкото по-голяма е молекулата и колкото по-неравномерно електричният заряд е разпределен в нея, толкова по-вероятно е повече молекули да бъдат заедно, а веществото да бъде във вид на течност или на твърдо тяло.

Всички твърди тела, които виждаме около нас, са здраво свързани чрез електромагнитните взаимодействия, които съществуват първо между електроните и протоните, после между различните атоми и накрая между различните молекули.

Нещо повече, тази способност на електромагнитните сили да свързват необикновено голям брой частици не се ограничава от разстоянието. Ядрените взаимодействия, изразяващи се в привличане, което намалява много силно с увеличаването на разстоянието, са способни да породят само извънредно малките атомни ядра. Електромагнитните взаимодействия, които намаляват по-слабо с разстоянието, могат да групират всичко — от частици колкото пращинки до частици като планини! Те могат да образуват тяло с размерите на Земята, както и тела с далеч по-големи размери.

Електромагнитните сили са дълбоко свързани с нас самите по най-различни начини — съвсем не само с това, че дават възможност на нас и на планетата, на която живеем, да сме в свързано състояние. Всяка химична промяна е резултат на преместването или пренасянето на електрони от един атом в друг. Това включва и много деликатните и разнообразни промени в тъканите на живите същества, каквито сме ние. Всички промени, които стават в нас — смилането на храната, свиването на мускулите, образуването на нова тъкан, разпространяването на нервните импулси, генерирането на мисъл в мозъка, всичко това е резултат от промените, които се извършват под контрола на електромагнитните сили.

Някои от преместванията на електроните се съпътствуват с освобождаването на значителна енергия. Енергията на огъня, на горящите въглища и нефт, както и енергията, която живата тъкан произвежда — всичко това е резултат от промени, управлявани от електромагнитните сили.

[1] Когато, казваме, че един обект притежава маса, ние подразбираме, че той откликва на външна сила, която го кара да се движи, ако той е бил в покой, или да смени скоростта или направлението на движение, ако той вече е бил в движение. Колкото по-масивен е обектът, толкова по-голяма сила е нужна. При обикновените условия тук на повърхността на Земята масивните обекти се възприемат като „тежки“. Колкото по-масивни са те, толкова са по-тежки. Но все пак масата и теглото не са идентични и макар да е по-ясно, когато казваме, че протонът е по-тежък от електрона, ще бъде по-точно да казваме „по-масивен“. ↑

ПЛЪТНОСТ

Атомите или молекулите на всяко късче вещество се раздалечават едни от други при нарастването на температурата или поради някакви други причини и това води до намаляване на масата в един предварително фиксиран обем от това вещество. Ако атомите или молекулите се приближават едни към други, ще става обратното.

Количеството маса в даден обем дефинираме като *плътност* и от това следва, че при разширяването на веществото неговата плътност намалява, а при свиването му тя се увеличава.

Учените, използващи метричната система, измерват масата в *грамовете*, а обема — в *кубични сантиметри*. Грамът е една сравнително малка единица за маса, само около 1/28 унции, или 1/450 фунта. А що се отнася до кубичния сантиметър, той е равен на около 1/16 кубични инча.^[1]

За да имате представа за една нормална плътност, трябва да знаете, че един кубичен сантиметър вода има маса един грам. (Това не е съвпадение. Двете мерки още през 1790 г. били така подбрани, че да съвпадат една с друга точно по този начин.) Следователно можем да кажем, че плътността на водата е един грам на кубичен сантиметър, или съкратено — 1 g/cm^3 .

Промените в плътността не се получават само при разширяване и свиване. Различните вещества имат различна плътност, което се дължи на самата същност на тяхната структура.

Газовете имат по-малки плътности от тези на течностите, тъй като те са образувани от отделни атоми или молекули, които слабо се привличат помежду си. Молекулите на течностите са в контакт една с друга, докато атомите или молекулите на газовете са много по-подвижни, удрят се взаимно и се разлитат встрани и така остават далеч едни от други. Голяма част от обема на газа се заема от празното пространство между атомите или молекулите.

Например водородът, изследван при обикновена температура и налягане на Земята, ще има плътност около $0,00009 \text{ g/cm}^3$ (или 9×10^{-5}

⁵ g/cm³). Плътноста на водата в течно състояние е малко повече от 11 000 пъти по-висока от тази на газообразния водород.

Плътноста на водорода би станала още по-малка, ако молекулите на водорода (или отделните му атоми) продължат да се раздалечат. В космическото пространство например има толкова малко вещество, че там на всеки кубичен сантиметър средно се пада само по един атом водород. В този случай плътността на средата в космическото пространство е от порядъка на 0,00000000000000000000000017 g/cm³ — наистина извънредно малка. Плътноста на водата е около 600 милиарда трилиона пъти по-голяма от плътността на средата в космическото пространство.

Различните газове се различават по плътност. При еднакви условия атомите или молекулите, които образуват газовете, са разделени от еднакво големи празни пространства. Затова плътността зависи от масата на отделните атоми или молекули. Ако от два газа единият е образуван от молекули с три пъти по-голяма маса от тази на другия, то плътността на първия ще бъде три пъти по-голяма от плътността на втория.

Например урановият хексафлуорид е газ, чиито молекули имат особено голяма маса. Всяка негова молекула се образува от един уранов атом и шест атома флуор и като цяло е 176 пъти по-масивна от водородната молекула, която има два атома водород. Урановият хексафлуорид е течност, която преминава в газообразно състояние при съвсем слабо нагриване, а плътността на съответния газ е около 0,016 g/cm³. Плътноста на водата в течно състояние е само 62,5 пъти по-голяма от плътността на този газ.

При все това газовете, дори урановият хексафлуорид, представляват почти празно пространство. Ако такъв газ се свие — например в добре изолиран съд, стените на който след това се приближат — то молекулите на газа се приближават една към друга и плътността се увеличава.

Същият ефект — дори по-добър — ще се получи, ако температурата се понижи. Молекулите на газа се приближават една към друга и при някаква достатъчно ниска температура газът се втечнява и молекулите установяват постоянен контакт.

Ако водородът се охлади до много ниски температури, той не само се втечнява, но при 14 градуса над абсолютната нула се и

втвърдява. Молекулите не само влизат в съприкосновение, но повече или по-малко остават в определени места, от което следва, че полученото се вещество сега е твърдо тяло.

Твърдият водород е веществото с най-малка плътност сред твърдите вещества в природата. Плътността му е $0,09 \text{ g/cm}^3$, което е само една десета от плътността на водата в твърдо състояние. Обаче твърдият водород, макар и с ниска плътност, е все още повече от пет пъти по-плътен от много плътния газообразен уранов хексафлуорид.

Изобщо плътността на течностите и на твърдите тела се увеличава с увеличаването на масата на отделните атоми и молекули, от които те са изградени. Твърдо тяло, което е съставено от масивни атоми, обикновено има по-голяма плътност от твърдо тяло с по-малко масивни атоми. Обикновено, но невинаги. Тук положението е по-сложно, отколкото при газовете.

Сравнителната маса на различните атоми се дава от числов известно като *атомно тегло*. Атомното тегло на водорода е приблизително 1, така че атомното тегло на който и да е друг атом дава приблизителна представа за това, колко пъти този атом е по-тежък от водородния. Например атомът на алуминия има атомно тегло около 27, а атомът на желязото — около 56. Атомът на желязото има маса колкото 56 водородни атома и е малко повече от два пъти по-масивен от атома на алуминия.

Обаче плътността на желязото е около $7,85 \text{ g/cm}^3$, а плътността на алуминия е $2,7 \text{ g/cm}^3$. Плътността на желязото е почти три пъти по-голяма от тази на алуминия.

Щом желязото е изградено от атоми, които са два пъти по-масивни от атомите на алуминия, то защо желязото е три пъти по-плътно, а не само двойно?

Отговорът е в това, че оказват влияние и други фактори. Например какво пространство от съответния атом заемат електроните и колко е компактна подредбата на атома. Атомите, чиито електрони са много отдалечени от централното ядро, имат по-малка плътност от тази, която се очаква според масата, съсредоточена в малкото ядро. Електроните представляват почти празно пространство и ако те са разпръснати и заемат по-голям обем, то плътността намалява.

Така цезият с атомно тегло 132,91 има плътност само $1,873 \text{ g/cm}^3$, защото неговите електрони заемат много място. Много по-

компактните атоми на медта, чието атомно тегло е 63,54 и е по-малко от половината от това на цезия, водят до плътност на медта $8,95 \text{ g/cm}^3$ — почти пет пъти по-голяма от плътността на цезия.

Ако сега поискате да узнаете кое е веществото с най-голямата известна плътност, то трябва да обърнете поглед към по-масивните атоми, но не задължително към най-масивните. Елементът с най-масивни атоми, който съществува в естествени условия, е уранът с атомно тегло 238,07. Неговата плътност е $18,68 \text{ g/cm}^3$ — двойно повече от тази на медта, но тя все пак не е рекордна в природата. Има поне още четири елемента с по-голяма плътност. Наред с урана те са дадени в таблица 3 по реда на нарастването на плътността им.

Таблица 3. Елементи с голяма плътност

Елемент	Атомно тегло	Плътност (g/cm^3)
Уран	238,07	18,68
Злато	197,0	19,32
Платина	195,09	21,37
Иридий	192,2	22,42
Осмий	190,2	22,48

Редкият метал осмий държи рекорда. Той е от елементите, които образуват земната кора и могат да се добият от нея. Това е най-плътният елемент. Представете си един слитък от чист осмий с размерите на доларова банкнота, дебел 2,54 cm (един инч). Това не е голям слитък, но той ще тежи 5,85 kg.

[1] Тук Азимов пояснява непривичните за американците единици *грам* и *кубичен сантиметър* посредством непривичните за нас, българите, единици *фунт* и *кубичен инч*. — Б.ред. ↑

ГРАВИТАЦИЯ

И така, в тази книга вече говорихме много за ядрените сили, за електромагнитните сили, а избягвахме, да говорим за слабите сили, тъй като те са относително маловажни за целите, които си поставяхме досега. Ние едва споменахме за гравитационната сила, а тя е от съществено значение за книгата. Фактически ние ще говорим за гравитационната сила толкова често, че когато става дума за нея, ще я наричаме просто *гравитация*.

Гравитацията влияе върху всяка частица^[1], която притежава маса — адрони, лептони и каквито и да са комбинации от тях — т.е. върху всички обекти, които виждаме около нас на Земята и върху тези, които виждаме на небето. Можем да разширим таблица 2, като прибавим слабите сили и гравитацията. Тогава тя ще се превърне в таблица 4.

Таблица 4. Частиците и четирите сили

Сила	Протон	Неутрон	Електрон
Ядрена	да	да	не
Електромагнитна	да	не	да
Слаба	не	не	да
Гравитационна	да	да	да

От четирите сили гравитационната е най-слаба, което се вижда от таблица 1. По-добре е да демонстрираме това, отколкото само да го твърдим, чрез много проста математика.

Представете си, че разглеждаме масите на два обекта, които са сами във Вселената. Гравитационната сила между двата обекта може да се представи с уравнението, съставено за първи път от английския учен Исак Нютон (1642–1727):

$$F(g) = Gmm' / d^2 \quad (1)$$

В това уравнение $F(g)$ е гравитационната сила между двете тела, m е масата на едното тяло, m' е масата на другото, d е разстоянието между тях, а G е универсалната *гравитационна константа*.

електростатични единици, няма да е необходимо да въвеждаме аналогичен на гравитационната константа член, който да отразява факта, че телата са във вакуум. (Приемайки, че телата са сами във Вселената, естествено е да приемем, че между тях има вакуум.) Освен това, ако използваме тези единици, $F(e)$ също ще се измерва в дун.

Ако сега приемем, че двете тела са на разстояние 1 cm, то d^2 също ще бъде равно на 1 и уравнението ще приеме вида:

$$F(e) = qq' \quad (5)$$

Нека предположим, че все още разглеждаме електрона и протона. Двете частици имат еднакви електрични заряди (макар и противоположни по знак), всеки един от които е $4,8 \times 10^{-10}$ електростатични единици. Произведението qq' е равно на $4,8 \times 10^{-10} \times 4,8 \times 10^{-10} = 2,3 \times 10^{-19}$ дун.

Следователно електростатичната сила между един протон и един електрон, които се намират на разстояние 1 cm един от друг, е:

$$F(e) = 2,3 \times 10^{-19} \text{ дун} \quad (6)$$

Ако искаме да намерим колко по-голяма е електромагнитната сила в сравнение с гравитационната, то трябва да разделим $F(e)$ на $F(g)$. Понеже двете сили са изразени в дини при условията, които изяснихме по-горе, дините ще се съкратят и ще получим едно „чисто“ безразмерно число.

Ако разделим уравнение (6) на уравнение (3), получаваме:

$$F(e) / F(g) = 2,3 \times 10^{-19} / 1 \times 10^{-58} = 2,3 \times 10^{-39} \quad (7)$$

С други думи, електромагнитната сила е 2 300 000 000 000 000 000 000 000 000 пъти по-голяма от гравитационната сила.

За да добиете представа колко голяма, е тази разлика, нека да представим гравитационната сила чрез маса 1 g. Тогава каква маса би трябвало да използваме, за да представим големината на електромагнитната сила? Тази маса ще бъде равна на масата на един милион тела като нашето Слънце.

Или пък да си представим, че големината на гравитационната сила се представя от разстояние, равно на размерите на един атом. Тогава големината на електромагнитната сила ще се представя от разстояние, което е хиляди пъти по-голямо от размерите на цялата позната ни Вселена.

Гравитацията е най-слабата от четирите сили. Дори така наречените слаби сили са 10 000 трилиона трилиона пъти по-големи от гравитационната.

Не е за учудване тогава, че когато изследват поведението на субатомните частици, ядрените физици отчитат ядрените, електромагнитните и слабите сили и напълно пренебрегват гравитацията. Гравитацията е толкова слаба, че тя просто никога не може да влияе по забележим начин върху хода на събитията в атомите и техните ядра.

Същото би могло да се каже и за химичните явления. При всички химични промени, които стават в човешкото тяло и в неживото обкръжение извън него, трябва да се разглеждат само електромагнитните сили — в случая на радиоактивността трябва да се прояви известен интерес и към ядрените и слабите сили, но гравитацията не се отчита никога. Гравитацията е толкова слаба, че не води до забележими ефекти при обикновените химични промени.

Тогава защо трябва изобщо да ни безпокои гравитацията?

Защото все пак тя съществува и защото, макар и невероятно слаба, тя все пак се усеща. Ние непрекъснато чувствуваме нейното действие. Знаем, че ако паднем от малка височина, например от третия етаж на една сграда, то най-вероятно гравитационното привличане ще ни убие. Знаем, че гравитацията държи Луната в орбита около Земята и Земята в орбита около Слънцето. Как е възможно това, щом тази сила е толкова слаба?

Нека отново да разгледаме четирите сили. Ядрените и слабите сили намаляват толкова бързо с разстоянието, че те не трябва изобщо да се вземат предвид при разстояния, по-големи от размерите на атомните ядра.

Електромагнитните и гравитационните сили обаче намаляват с квадрата на разстоянието, а това е нисък темп на намаляване и те могат да се чувствуват на големи разстояния.

Съществува обаче принципно различие между двете сили. Има два вида противоположни електрични заряди и, както знаем, само един вид маса.

При електромагнитните сили има привличане (между разноименните заряди) и отблъскване (между едноименните заряди). Когато електромагнитните сили са достатъчно големи, мощното

отблъскване между едноименните заряди ги разсейва и не позволява изграждането на някаква по-значителна материална структура, където и да е. Също толкова мощното привличане между разноименните заряди се стреми да ги събере заедно, неутрализирайки зарядите. В края на краищата положителните и отрицателните заряди (които, доколкото знаем, съществуват във Вселената в еднакви количества) се смесват напълно и никъде няма да намерите нещо повече от съвсем малки излишъци от двата вида заряди.

Следователно, когато електромагнитното взаимодействие е мощно и непреодолимо, електроните се задържат в околността на ядрата. Обаче един по-голям къс вещество ще привлича или отблъсква друг такъв къс, отдалечен на някакво разстояние от него, доста слабо, понеже и в двата къса различните видове заряди са така добре смесени, че сумарният им заряд е практически равен на нула.^[3]

Тъй като съществува само един вид маса, то има само един вид гравитационно взаимодействие — привличане. Доколкото знаем, гравитационно отблъскване няма. Всеки обект, който има маса, привлича всеки друг обект, притежаващ маса, и пълната гравитационна сила между двете тела е пропорционална на сумарната им маса. Горна граница не съществува. Колкото по-масивни са телата, толкова по-голяма сила действа между тях.

Да разгледаме обект като Земята, чиято маса е $3,5 \times 10^{51}$ пъти по-голяма от масата на протона. С други думи, това е маса, която е 3500 трилион трилион трилион трилиона пъти по-голяма от масата на протона. Следователно Земята създава гравитационно поле, което е $3,5 \times 10^{51}$ пъти по-силно от това на един протон. Погледнато от друга страна, всяка частица от веществото на Земята, която има маса — всеки протон, неутрон и електрон — е източник на много слабо гравитационно поле и всички те се смесват и се добавят към общото гравитационно поле на Земята.

Земята има също и електромагнитно поле, в което всеки протон и електрон действуват като източник. Полетата на протоните и електроните отслабват бързо с разстоянието, така че сумарното магнитно поле на Земята е много слабо. То е достатъчно, за да повлияе на стрелката на компаса и да отклони заредените частици, идващи от Слънцето или от другаде, и в същото време е невъобразимо малко за

такъв обект с огромни размери, какъвто е Земята, изградена от толкова много заредени частици.

Следователно независимо от това, че гравитационната сила е много по-слаба от електромагнитната при взаимодействията на отделните частици, то пълната гравитационна сила на Земята като цяло е много по-голяма от нейната електромагнитна сила. Гравитационната сила на Земята е достатъчно голяма, за да ни накара безпогрешно да я почувствуваме и да ни убие, ако сме невнимателни.

Огромното гравитационно поле на Земята взаимодействува с по-слабото поле на Луната и затова двете тела са свързани здраво от гравитацията. Гравитационните сили свързват в едно планетите и Слънцето. Между планетите и между звездите съществуват значителни гравитационни сили.

Гравитационната сила и *единствено* тя държи Вселената в едно цяло и диктува движението на всички тела в нея. Всички останали сили действуват локално. Само гравитационната сила, която е най-слаба от всички, чрез своето далекодействие и чрез това, че се проявява само като привличане, управлява съдбините на Вселената.

В частност гравитационната сила е и ключът към черните дупки, така че ние сме стъпили вече на магистралния път за разбирането на тяхната природа. Остава да разчетем следите по този път.

[1] Съществуват частици, които не притежават маса и не се влияят от гравитацията в обикновения смисъл на тази дума. Например частиците на светлината и на подобните на нея излъчвания, наречени *фотони*, което на гръцки означава „светлина“, не притежават маса. Не притежават маса и някои частици без заряд, наречени *неутрино*. За тези два вида частици ще стане дума по-нататък в книгата. ↑

[2] Единицата за сила дина (dyn) е основна в популярната, но рядко използвана днес система единици СГС (сантиметър — грам — секунда). Връзката ѝ с единицата за сила в СИ, е $1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$. — Б.ред. ↑

[3] Възможно е да откъснем електрони от даден обект чрез триене и те го напускат, като тялото получава малък положителен заряд, или да прибавим електрони, което дава малък отрицателен заряд. Такива тела могат да се привличат или отблъскват взаимно, както и да привличат или отблъскват и други обекти. Но получената се

сила е невъобразимо малка в сравнение с това, което би могло да бъде, ако всички заредени частици в което и да е тяло можеха да реализират своята пълна електромагнитна сила. ↑

2. ПЛАНЕТИТЕ

ЗЕМЯТА

Първа следа по пътя към черните дупки бе определянето на масата на Земята чрез гравитационната ѝ сила (въпреки че тогава никой не е и сънувал черни дупки).

Нютон определи, че интензитетът на гравитационното поле, създавано от който и да е обект, е пропорционален на неговата маса. В действителност това е още един начин за дефиниране на масата като свойство на материята да поражда гравитационно поле.

По преди в тази книга ние вече дефинирахме що е маса по друг начин. Описахме я като свойство на материята, свързано с определена действаща върху дадено тяло сила, за да бъде променена било скоростта, било посоката, било и двете на това тяло. Колкото по-голяма е силата, необходима за извършването на такава промяна, толкова по-голяма е масата на тялото, към което се прилага силата.

Масата, която се дефинира по новия начин, понякога се нарича *гравитационна маса*. А масата, която се дефинира чрез съпротивата на материята при опит да променим характера на движението ѝ — свойство, познато като *инерция*, се нарича *инертна маса*. По всичко изглежда, че гравитацията и инерцията са две напълно различни свойства на материята. Няма видими причини да предполагаваме, че двата вида маса ще съвпадат напълно, макар че ако дадена маса има двойно по-голяма инерция от друга, тя има също и два пъти по-силно гравитационно поле. Въпреки всичко, изглежда, това е пътят, който трябва да следваме. Никой досега не е успял да докаже каквато и да е разлика между гравитационната и инертната маса, затова сега те се смятат за идентични.

Така например гравитационното поле на Земята упражнява определена сила върху падащите тела и те променят движението си — *ускоряват се* и падат все по-бързо. Тъй като инертната и гравитационната маси са едно и също нещо, ще предположим, че увеличаването на скоростта на падащото тяло може да се използва, за да се измери земната гравитация.

Гравитационното ускорение за пръв път бе измерено през 1590 г. от италианския учен Галилео Галилей (1564–1642). То е равно на 980 сантиметра за секунда на секунда (или 980 cm/s^2). Това означава, че всяка секунда падащото тяло се движи със скорост 980 cm/s по-бързо от предишната секунда.

Сега нека се върнем към уравнението на Нютон:

$$F = Gmm' / d^2 \quad (8)$$

Където F е гравитационната сила, определяща стойността на ускорението на падащото тяло, която, както казахме, е била известна отдавна. G е гравитационната константа, m е масата на падащото тяло, m' е масата на Земята, а d е разстоянието между падащото тяло и Земята. Това, което сега ни интересува в уравнението, е масата на Земята. Затова нека го преобразуваме, като чрез добре известните алгебрични похвати прехвърлим m' отляво на уравнението. То ще придобива вида:

$$m' = Fd^2 / Gm \quad (9)$$

Ако са ни известни стойностите за величините от дясната страна на уравнението, можем да умножим стойността на F със стойността на d , да умножим произведението отново на d , да разделим резултата на G и после на m — това ще даде търсената стойност на m' — масата на Земята.

Наистина, това изглежда гениално просто, понеже имаме стойността на F , с която трябва да започнем. Имаме също и стойността на m — масата на падащото тяло, понеже можем да я измерим в грамове.

Определянето на разстоянието между падащото тяло и Земята е малко по-сложна работа. Нютон показва, че когато едно тяло създава гравитационно поле, то това поле се държи така, като че ли е създадено от цялата маса на тялото, съсредоточена в неговия гравитационен център. Когато тялото има форма и свойства, които отговарят на някои условия на симетрията, гравитационният център съвпада с геометричния център на тялото. Тези условия на симетрия се изпълняват за Земята и за всички тела с по-съществени размери, които ние познаваме във Вселената.

Това означава, че Земята действа върху другите тела така, сякаш нейното гравитационно поле се генерира от нейния център и тогава d ще бъде разстоянието от падащото тяло до центъра на Земята,

а не до повърхността ѝ. Ако падащото тяло е близо до земната повърхност, то търсеното разстояние е равно на радиуса на земното кълбо.

Този радиус за първи път е бил определен от гръцкия географ Ератостен (276–192 пр.н.е.) през 240 година пр.н.е. Той получил размерите на земното кълбо от кривината на неговата повърхност, а нея определил чрез измерване на ъглите, които сключват падащите слънчеви лъчи с различните части на земната повърхност по едно и също време. Радиусът (т.е. разстоянието от повърхността на Земята до нейния център) е 637 000 000 cm.

Така вече имаме стойностите на F , m и d , но до 1700 г. *нямахме* стойност за G , а докато няма стойност за G , не може да се използва уравнение (9), за да се изчисли масата на Земята m' .

Има ли някакъв начин да се определи G ?

Да. Ако G наистина е универсална константа, нека да измерим интензитета на гравитационното поле между две оловни топки, като за тази цел използваме уравнение (8) в друг вид. Чрез алгебрични преобразования получаваме:

$$Gm = Fd^2 / mm' \quad (10)$$

Можем лесно да измерим масата на всяка една от оловните топки и ще получим стойностите на m и m' . Можем да измерим също така и разстоянието d между тях. Ако измерим и гравитационната сила между тях (т.е. получим F), ще решим уравнението за G веднага. Тогава ще можем да заместим стойността за G в уравнение (9) и ще получим масата на Земята.

Има обаче един капан. Гравитационните сили са така неимоверно слаби, че са нужни обекти с масата на Земята, за да получим достатъчно силни и лесно измерими гравитационни полета. Преди да започнем да боравим с обекти, достатъчно малки, за да се поместят в обикновени лаборатории, трябва да имаме някакво устройство, способно да измерва изключително малки сили.

Необходимото устройство се появи с изобретената от Кулон през 1777 г. *торзионна везна* (той е авторът на приведеното по-горе уравнение (4)). С тази везна могат да се измерват малки сили по усукването на връвчица или жица, което те предизвикват. За да се регистрира това усукване, трябва към вертикалната жица да се прикрепят дълъг хоризонтален лост, уравновесен в центъра си. Даже

малко едва забележимо усукване ще задвижи осезаемо края на лоста. Ако усуканата жица е достатъчно тънка, а прикрепеният лост — достатъчно дълъг, ние ще можем да измерим усукването, породено от изключително малките гравитационни полета на обектите с нормални размери.

Жицата, както сами разбирате, е еластична, така че в нея се поражда сила, която се стреми да я върне в неусукано състояние. Колкото по-голямо е усукването, толкова по-голяма е и силата на противодействие. Ако противодействащата сила се изравни със силата на усукване, то лостът заема ново равновесно положение. Ако измерим степента на усукване на жицата, когато лостът е заел новото равновесно положение, ще определим големината на действащата сила.

През 1798 г. английският химик Хенри Кавендиш (1731–1810) провел експеримент, който се състои в следното. Той взел един лост с дължина 180 cm с две 5-сантиметрови оловни топки, разположени в краищата му. После го окачил на тънка жица, закрепена в центъра му.

По-нататък Кавендиш окачил голяма оловна топка с диаметър малко над 20 сантиметра до малката топка в единия край на лоста. Той окачил друга такава топка до малката топка в противоположната страна на лоста. Гравитацията на големите оловни топки ще привлича малките топки и ще усуче жицата до някакво ново равновесно положение. Измервайки промяната на положението, Кавендиш регистрирал извънредно слабото гравитационно привличане между оловните топки. (Естествено, Кавендиш затворил всичкото това в кутия и взел предпазни мерки, за да избегне влиянието на въздушните течения върху жицата.)

Кавендиш повтарял експеримента отново и отново, докато не получил удовлетворителен резултат за гравитационната сила F . И тъй като нямал проблеми с измерването на масите на оловните топки и на разстоянията между тях, той веднага определил m , m' и d . Уравнение (10) вече можело да бъде решено спрямо G и Кавендиш направил това.

Използвайки усъвършенствувани варианти, на експеримента на Кавендиш, ние сега знаем, че масата на Земята е $5,983 \times 10^{27}$ g, или грубо 6000 трилион трилиона грама.

Плътноста на всяко тяло можем да определим чрез отношението между масата и обема му. Обемът на Земята бил

изчислен достатъчно точно на базата на получената от Ератостен стойност за обиколката на Земята. Знаейки вече масата на Земята, Кавендиш могъл веднага да определи нейната средна плътност. Получило се $5,52 \text{ g/cm}^3$.

ДРУГИТЕ ПЛАНЕТИ

Определянето на масата на Земята не е важно само за себе си, но и поради факта, че е дало възможност на астрономите да определят масите на голям брой други обекти във Вселената.

Да вземем за пример Луната, единствения земен спътник, която е на 384 000 километра от нас и която обикаля Земята за 27 и $\frac{1}{3}$ денонощия.

Ако трябва да сме точни, Земята и Луната имат общ гравитационен център. Законите на механиката изискват разстоянието от всяко тяло до този център да зависи от масата му. С други думи, ако масата на Луната е $\frac{1}{2}$ от тази на Земята, тя трябва да бъде 2 пъти по-далеч от гравитационния център, отколкото Земята. Ако масата на Луната е $\frac{1}{3}$ от земната, тя трябва да бъде 3 пъти по-далеч от гравитационния център, и т.н.

Положението на гравитационния център на системата Земя — Луна е определено от астрономите и е на 1650 km под земната повърхност или на 4720 km от центъра на Земята. (Помнете, че при гравитационните процеси е съществен гравитационният център.) Луната обикаля около тази точка, същото прави и Земята. Центърът на земното кълбо описва малък кръг около гравитационния център веднъж на всеки 27 и $\frac{1}{3}$ денонощия.

Разстоянието от центъра на гравитация до лунния център е 81,3 пъти по-голямо от разстоянието му до земния център, понеже масата на Луната е $\frac{1}{81,3}$ или 0,0123 от масата на Земята. Масата на Луната всъщност е $7,36 \times 10^{25}$ g, но е по-удобно тя да се изразява в части от земната маса.

Астрономите изразяват масите на другите планети в Слънчевата система спрямо масата на Земята. Един от начините е да се сравняват влиянието на планетата върху нейния спътник и влиянието на Земята върху Луната.

Времето, за което малкият спътник прави една обиколка по орбитата си около планетата, зависи само от две неща: от разстоянието

между спътника и центъра на планетата и от интензитета на гравитационното поле на планетата.

Например планетата Юпитер има спътник, наречен Йо, който се намира почти точно на същото разстояние от Юпитер както Луната от Земята. Но Йо обикаля Юпитер за 1 и 3/4 денонощия, докато на Луната са й необходими 27 и 1/3 денонощия.

Лесно е да се пресметне, че за да може Юпитер да застави Йо да го обикаля толкова бързо, гравитацията му трябва да бъде 317,9 пъти по-голяма от земната. С други думи, Юпитер трябва да е 317,9 пъти по-масивен от Земята. Използвайки метода на спътниците, както и други методи, могат да се определят масите на всички обекти в Слънчевата система, които имат достатъчно големи размери.

В таблица 5 по реда на разстоянието им до Слънцето са посочени масите и плътностите на 9-те планети от Слънчевата система, както и на нашата Луна.

Таблица 5. Маси и плътности на планетите

	Маса (Земя=1)	Плътност (g/cm ³)
Меркурий	0,055	5,4
Венера	0,815	5,2
Земя	1,000	5,52
Луна	0,0123	3,3
Марс	0,108	3,96
Юпитер	317,9	1,34
Сатурн	95,2	0,71
Уран	14,6	1,27
Нептун	17,2	1,7
Плутон	0,1	4,0

Интензитетът на гравитационното поле на всяко едно от тези тела е пропорционален на масата им и, както се вижда, Земята няма нито най-големия гравитационен интензитет, нито най-голямата маса сред планетите в Слънчевата система. Има четири по-масивни планети от Земята — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Юпитер е гигантът на

планетната система. Той е около 2,5 по-масивен от всички останали 8 планети, взети заедно.

Интензитетът на гравитационното поле на планетите (или на което и да е тяло) намалява с квадрата на разстоянието, което означава, че *относителният* интензитет на гравитационното поле на две тела с различни маси се запазва непроменен при каквото и да е разстояние.

Например един космически кораб, който се намира на милиони километри от центъра на Юпитер, ще почувствува неговото гравитационно поле 317,9 пъти по-силно, отколкото това на Земята, ако е на същото разстояние и от земния център.

Ако космическият кораб увеличи разстоянието си от центъра на Юпитер двойно, например от един милион километра на два милиона, то на новото място гравитационното поле на Юпитер ще бъде само 1/4 от това, което е било в предишното място. Ако корабът направи същата маневра около Земята, то гравитационното поле на Земята също ще отслабне до 1/4 от първоначалното. Гравитационното поле на Юпитер на новото място на кораба ще остане 317,9 пъти по-силно от това на Земята.

И така, гравитационното поле на Юпитер ще бъде 317,9 пъти по-силно от гравитационното поле на Земята във всяка двойка съответстващи си точки. Но какво ще стане, ако точките не си съответствуват?

Има само един случай, когато ние сме принудени да останем на разстояние от центъра на една планета, което е различно от разстоянието до центъра на друга планета. Това става, когато трябва да кацнем на повърхността първо на едната планета, а след това — на повърхността на другата, като размерите на двете планети са различни.

Можем най-добре да илюстрираме това, като сравним Земята и Луната, понеже хората вече са стъпвали и на двата свята и предвижданията на теорията са били потвърдени.

Масата на Земята е 81,3 пъти по-голяма от тази на Луната и интензитетът на гравитационното поле на Земята за точки, намиращи се на равни разстояния от центровете на двете тела, винаги е 81,3 пъти по-голям от този на Луната.

Да предположим, че сме на повърхността на Луната. Следователно ние се намираме на 1738 km от центъра на Луната. А

когато сме на повърхността на Земята, ние всъщност се намираме на 6371 km от земния център.

Интензитетът на гравитационното поле на повърхността на едно тяло се нарича *повърхностна гравитация* на това тяло (много важно понятие по пътя ни към черните дупки) и за да я пресметнем, трябва да вземем предвид разликите в разстоянията, до съответните центрове. Разстоянието от повърхността на Земята до центъра ѝ е 3,666 пъти по-голямо от разстоянието, на което се намира лунната повърхност от центъра на Луната.

Гравитационният интензитет отслабва с квадрата на разстоянието, така че земната повърхностна гравитация ще намалее $3,666 \times 3,666$, или 13,44 пъти заради разликата в разстоянията. Следователно трябва да разделим пълния интензитет на земното гравитационно поле, който е 81,3 по-голям от лунния, на 13,44 — ще получим 6,05.

И така, Земята има маса 81,3 пъти по-голяма от масата на Луната, но при все това нейната повърхностна гравитация е само 6,05 пъти по-голяма от лунната. Иначе казано, повърхностната гравитация на Луната е около 1/6 от земната.

По същия начин можем, да изчислим повърхностните гравитации на всички тела от Слънчевата система. Четирите планети гиганти създават проблеми, защото това, което ние виждаме като техни „повърхности“, представляват всъщност външните слоеве на огромните им атмосфери, чиито дебелини не е лесно да бъдат определени. Ние даже не сме сигурни дали някъде вътре в тях въобще съществува твърда или течна повърхност. Ако обаче претендираме, че можем да стъпим по някакъв начин върху горната част на облачния слой, и изчислим интензитета на гравитационното поле в това място, можем да наречем получената се стойност „повърхностна гравитация“. Вземайки предвид тези съображения, можем да съставим таблица 6.

Таблица 6. Повърхностна гравитация

	Повърхностна гравитация (Земя = 1)
Меркурий	0,37
Венера	0,88
Земя	1,00

Луна	0,165
Марс	0,38
Юпитер	2,64
Сатурн	1,15
Уран	1,17
Нептун	1,18
Плутон	0,4

СКОРОСТ НА ИЗБЯГВАНЕ

Зад старата поговорка „Всичко, което отива нагоре, все някога трябва да падне обратно“ се крие гравитационното поле на Земята. Върху всеки обект, хвърлен във въздуха с някаква скорост, постоянно действа земната гравитация. Затова той губи бързо скоростта си и спира в определен момент в някаква точка над земната повърхност. После започва да пада, набирайки бързо скорост, докато не се удари в земята със същата скорост, с която е бил хвърлен първоначално.^[1]

Ако един обект се хвърли нагоре със скорост, по-голяма от скоростта на друг обект, ще мине повече време, преди той да изгуби скоростта си. Следователно той ще се изкачи по-високо, преди да започне да пада. Няма значение с каква скорост обектът започва издигането си нагоре, защото в крайна сметка тя става нула. Обектът може да се издига стотици и хиляди километри, но не може да избегне неумолимото привличане на гравитационното поле.

Така щеше да бъде, ако интензитетът на гравитационното поле не отслабваше с разстоянието.

Земната повърхностна гравитация действа с определена сила върху всеки обект на повърхността на Земята, намиращ се на 6371 km от земния център. Но щом някой обект, намиращ се под действието на тази сила, се издигне над повърхността и увеличи разстоянието си от центъра на Земята, гравитацията намалява. Това намаляване е пропорционално на квадрата на разстоянието (разстоянието до центъра, а не до повърхността на Земята).

Да предположим, че сме се издигнали в стратосферата на 35 km над земната повърхност. По обикновените стандарти това е голяма височина, но в действителност разстоянието се увеличава само от 6371 до 6406 km. Това не е голямо изменение. Интензитетът на гравитационното поле на тази височина е все още 98,9% от този на повърхността. Човек, тежащ на земята 70 kg, в стратосферата ще тежи 69,23 kg. В обикновения живот ние изобщо не забелязваме някаква по-значителна промяна в интензитета на земното гравитационно поле и никога не ни идва на ум, че такава промяна съществува.

Да предположим обаче, че някакъв обект се издигне на едно действително голямо разстояние — например на височина 6371 km над повърхността на Земята. Това разстояние е $6371 + 6371$ или 12 742 km от центъра на Земята. Разстоянието между този обект и земния център се е увеличило двойно, а гравитационната сила ще намалее до $1/4$ от тази на повърхността.

Ако си представим обект, хвърлен нагоре с такава скорост, че той да достигне стратосферата, преди да е изгубил скоростта си, тогава при по-късните стадии на неговото летене нагоре, ще видим, че гравитационната сила е малко по-малка от силата в първоначалните стадии на полета му. По-нататъшната загуба на скорост е по-малка от тази, която бихме очаквали, ако гравитационната сила оставаше непроменена по време на целия път нагоре. Обектът достига малко по-голяма височина, отколкото би могло да се очаква преди неговото спиране за миг и тръгването му обратно надолу.

А сега си представете, че нагоре е хвърлен втори обект със скорост, двойно по-голяма от скоростта на първия. Когато вторият обект достигне височината, на която първият е загубил напълно скоростта си, той ще е загубил само половината от своята скорост. Сега той се движи със скоростта, с която първият обект е започнал издигането си.

Дали вторият обект ще се издигне допълнително на разстояние, равно на цялото разстояние, на което се е изкачил първият обект?

Не, защото вторият обект извършва допълнителното си издигане през области с малко по-слаба гравитация. Той губи скорост по-бавно и се издига на по-голямо разстояние от разстоянието, на което се е издигнал първият обект над повърхността.

Поради намаляването на гравитационната сила с височината удвояването на началната скорост на обект, хвърлен нагоре, води до увеличаване на достигнатата височина *повече от два пъти*. В таблица 7 са дадени височините, на които се издигат телата над земната повърхност при различни начални скорости.

Таблица 7. Издигащи се тела

Начална скорост (km/s)	Максимална височина над земната повърхност (km)

1,6	130
3,2	560
4,8	1450
6,4	3100
8,0	6700
9,6	17900

С увеличаване на началната скорост максималната височина също се увеличава, при това все повече и повече, тъй като обектът се движи в области с все по-слаба и по-слаба гравитация. Между първите и последните данни в таблицата началната скорост се е увеличила 6 пъти, а максималната височина — 140 пъти.

Възможно е да се стигне и до такова състояние, когато обектът се издига толкова бързо, че намаляването на неговата скорост се изравнява с намаляването на гравитационната сила. Когато обектът е загубил половината от скоростта си, гравитацията също е намаляла наполовина. Сега на отслабналата гравитация ще й бъде необходимо точно толкова време да погаси половината от скоростта, колкото на пълната гравитация да погаси пълната скорост. Движещият се нагоре обект продължава да губи скоростта си, но вече много по-бавно, тъй като гравитацията става все по-слаба и по-слаба. Така издигащото се тяло никога няма да загуби напълно скоростта си, и „което отива нагоре, няма да падне обратно“, понеже никога няма да престане да се изкачва.

Минималната скорост, при която това може да се случи, се нарича *скорост на избягване*.^[2]

Скоростта на избягване от повърхността на Земята е 11,23 km/s. Всяко нещо, хвърлено нагоре от земната повърхност със скорост 11,23 km/s или повече, ще върви нагоре и никога няма да падне обратно. То ще се отдалечава все повече и повече от Земята. Всяко нещо, хвърлено нагоре от повърхността на Земята със скорост, по-малка от 11,23 km/s (без допълнителен тласък освен този, който го е изхвърлил)^[3], ще се върне на Земята.^[4]

Стойността на скоростта на избягване зависи от интензитета на гравитационното поле. С намаляването на този интензитет намалява и скоростта на избягване. Получава се, че с увеличаването на

разстоянието от центъра на Земята скоростта на избягване намалява като квадратния корен от това разстояние.

Да предположим, че се намираме в Космоса на 57 400 km от центъра на Земята. Това е 9 пъти повече от разстоянието от центъра до повърхността на Земята, на което обикновено се намираме. Квадратният корен от 9 е 3 и това означава, че скоростта на избягване на височина 57 400 km от земния център е само 1/3 от тази на повърхността на Земята. Това е 11,23/3 или 3,74 km/s.

Скоростта на избягване е различна за различните светове. Един свят с маса, по-малка от земната, който има по-слаба повърхностна гравитация, има също и по-малка скорост на избягване от неговата повърхност. Скоростта на избягване от повърхността на Луната например е само 2,40 km/s.

От друга страна, по-масивните от Земята светове имат по-висока скорост на избягване от земната. В таблица 8 са дадени скоростите на избягване от различните планети по отношение на видимите им повърхности (за големите планети се вземат предвид горните слоеве на облачната им покривка).

Таблица 8. Скорости на избягване от планетите и Луната

	Скорост на избягване (km/s)
Меркурий	4,2
Венера	10,3
Земя	11,23
Луна	2,40
Марс	5,0
Юпитер	60,5
Сатурн	35,2
Уран	21,7
Нептун	24,0
Плутон	5,0

Не е удивително, че гигантът на планетната система Юпитер има и най-голямата скорост на избягване.

Освен това Юпитер има гравитационно поле, което намалява с разстоянието по-бавно от земното, понеже обемът му е много голям. Тъй като земната повърхност е на 6371 km от центъра, нейната гравитация отслабва до $1/4$ от стойността на повърхностната гравитация на височина 6371 km над повърхността. На 19 113 km над повърхността, което е 4 пъти повече от земния радиус, земната гравитация е само $1/16$ от стойността на повърхностната ѝ гравитация.

Обаче повърхността на Юпитер се намира на 71 450 km от центъра му. Следователно трябва да се издигнем на 71 450 km над повърхността на Юпитер, за да намалее гравитацията му до $1/4$ от повърхностната, и на 214 350 km, за да стане тя $1/16$ от повърхностната.

Гравитационният интензитет на Юпитер намалява по-бавно от земния и на еднакви разстояния далеч в Космоса той е 317,9 пъти по-голям от земния (това се получава от отношението на масите им), макар че повърхностната му гравитация е само 2,64 пъти по-голяма от земната.

Скоростта на избягване на Юпитер също намалява по-бавно с разстоянието в сравнение с тази на Земята. Скоростта на избягване от повърхността на Юпитер е само 5,4 пъти по-голяма от тази на земната повърхност. Тази скорост за Юпитер намалява толкова бавно с височината, че даже на 2 милиона километра над повърхността му тя все още е равна на скоростта на избягване от земната повърхност.

[1] В действителност съпротивлението на въздуха усложнява нещата, забавяйки допълнително обекта и при движението му нагоре, и при движението му надолу. Ние обаче ще приемем, че съпротивлението на въздуха не съществува. Това практически не променя същността на нещата. ↑

[2] В българската литература вместо „скорост на избягване“ често се употребява терминът скорост на откъсване. — Б.ред. ↑

[3] Обект с начална скорост, непроменена от допълнителни тласъци, се намира в така наречения балистичен полет и скоростта му трябва да бъде равна или по-голяма от скоростта на избягване, за да се отдалечи от Земята в безкрайността. Един космически кораб

непрекъснато се изтласква от реактивната тяга и макар че може да се движи със скорост, по-малка от скоростта на избягване, той може да отлети толкова далеч от Земята, колкото е необходимо. Там обаче, където човешкият разум не се намесва, движението във Вселената е почти винаги балистично движение с един-единствен първоначален импулс. ↑

[4] Ако един обект се движи със скорост, по-малка от скоростта на избягване, но не по-малка от 70% от нея, и ако има странично движение, той няма да може да се откъсне от Земята, но няма да може и да падне обратно върху нея. Той влиза в орбита около Земята и може да остане в нея за неопределено време. Един космонавт, намиращ се в орбита само на няколко километра над Земята, трябва да изминава най-малко 7,94 километра всяка секунда, за да остане на тази орбита. ↑

ПЛЪТНОСТ И ОБРАЗУВАНЕ НА ПЛАНЕТИТЕ

Независимо от стойността на повърхностната гравитация и на скоростта на избягване на Юпитер в сравнение със земните, оставаме с изненадващото впечатление за слабостта на Юпитер.

В края на краищата Юпитер е повече от триста пъти по-масивен от Земята и има над триста пъти по-интензивно гравитационно поле от нейното. И все пак повърхностната гравитация на Юпитер не надминава и три пъти тази на Земята, а скоростта му на избягване не надвишава земната и шест пъти. Подобно несъответствие между интензитета на гравитационното поле, от една страна, и повърхностната гравитация и скоростта на избягване от друга, може да се види и при другите планети гиганти.

Причината за това несъответствие е в големия обем на планетите гиганти, поради което повърхностите им (или горните слоеве на облачните им обвивки, това няма значение) се намират между четири и единадесет пъти по-далеч от техните центрове в сравнение със Земята.

Но това не е всичко. Големите планети имат малки плътности, което означава, че веществото в тях не е компактно и заема повече обем от нормалния по стандартите на Земята. Повърхностите на тези планети нямаше да са толкова отдалечени от центровете им, ако плътностите им бяха по-големи.

Да предположим, че планетата Сатурн по някакъв фантастичен начин е сгъстена или компресирана до състояние, в което средната и плътност е равна на средната плътност на Земята. В това състояние нейният обем би бил само $1/8$ от този, който тя има в действителност. Радиусът ѝ би бил само половината от сегашния: 30 000 km вместо сегашните 60 000.

Но и при новите условия Сатурн все пак ще притежава пълната си маса. И масата, и интензитетът на гравитационното поле на Сатурн все още са 95,2 пъти по-големи от земните, повърхността на планетата все още ще бъде по-далеч от нейния център, отколкото при Земята, макар и не чак толкова, колкото е сега. Затова повърхностната

гравитация на един сгъстен до плътността на Земята Сатурн би била 4,60 пъти по-голяма от земната, а не 1,15 пъти, колкото е сега.

Нека да предположим, че по същия фантастичен начин и Юпитер е сгъстен до средната плътност на Земята. Неговият обем би станал само 1/4 от сегашния, а радиусът му — само 5/8 от този, който е сега: 44 200 km вместо сегашните 71 400. С непокътнатата си маса и с повърхност, много по-добишена до центъра си, Юпитер би имал повърхностна гравитация, която превишава около 7 пъти земната.

Има ли друг начин да стигнем по-близо до центъра на един свят и така да увеличим гравитацията? Например, ако се заровим надолу в земната кора, с приближаването си към центъра на Земята ще се увеличава ли непрекъснато действащата върху нас гравитационна сила?

Не!

Да си представим, че Земята има еднаква плътност — $5,52 \text{ g/cm}^3$ и ние можем да се заровим свободно в нея. Ако се „окопаем“ достатъчна, част от нейната маса ще остане над нас. По-точно целият сферичен слой вещество над нас ще бъде по-далеч от земния център, отколкото сме ние. Теорията на Нютон показва, че този външен слой няма да дава принос в гравитационната сила, която ни привлича към центъра. Само тази част от Земята, която е по-близо до центъра, отколкото сме ние, би давала такъв принос. Тази част ще става все по-малка и по-малка с нашето придвижване надолу.

Това означава, че когато ние се приближаваме към центъра на Земята, действащото върху нас гравитационно привличане ще намалява все повече и повече и ще изчезне, щом стигнем в самия център. В центъра на Земята или в центъра на който и да е сферичен свят цялата маса на този свят ще ни привлича в посока навън към повърхността, понеже тази маса е разположена изцяло над нас. Но тя ще ни привлича към повърхността еднакво във всички посоки, поради което сумарното привличане ще се компенсира взаимно и в резултат върху нас няма да действа никаква сила.

Ако си представим една огромна дупка в центъра на Земята или в някакъв друг кълбовиден свят, във всяка точка от тази дупка гравитацията ще бъде равна на нула. Създадени са научнофантастични произведения, в които Земята е куха и има повърхност, обитавана от вътрешната ѝ страна, която се осветява от някакъв слънцеобразен

обект, намиращ се в нейния център. Разказът на Едгар Райс Бъроуз „Прозрачност“ е пример за такова произведение. Всеки жител на един такъв свят няма да изпитва гравитационно привличане, което да го задържа на вътрешната страна на повърхността, а ще плава свободно из кухото пространство — нещо, което Бъроуз не е могъл да разбере и опише.

Не, единственият начин да увеличите гравитационното привличане е да уплътните целия свят, като „натъпчете“ цялата маса между вас и центъра на този свят — това е изключително важно заключение по пътя ни към разбирането на черните дупки.

Единственото нещо във Вселената, което може така да уплътни даден свят, е самата гравитация и тя вече е правила това в миналото, например когато са се образували планетите в нашата Слънчева система.

В началото веществото, от което са се образували планетите, е представлявало огромен облак от газ и прах. Голямата част от това вещество е била във вид на водород, хелий, въглерод, неон, кислород, азот и 90% от атомите на това вещество се падали на водорода. Всичко това, въртейки се бавно в отделни турбулентни вихри, също така бавно се смесвало под действието на слабото, но винаги упорито привличане на всички атоми и молекули, обусловено от взаимната гравитация.

Колкото по-близо идвали една до друга частиците, толкова повече се уплътнявало веществото, а отделните гравитационни полета на съставните части на облака взаимно се наслагвали и се усилвали. Интензитетът на гравитационното поле се увеличавал и по-нататъшното уплътняване се ускорявало все повече и повече.

Голямата част от веществото си оставало газообразно. Хелият и неонът се запазили във вид на отделни атоми. Атомите на водорода образували двуатомни молекули, които оставали отделно една от друга. При въглеродните атоми всеки един от тях се съединявал с четири водородни атома и образувал молекула на метана, която също оставала отделена от другите метанови молекули. Азотните атоми се съединявали с по три водородни атома и образували молекули на амоняка, останали също разделени една от друга. Кислородните атоми се свързвали с по два водородни атома, за да образуват отделени една от друга молекули на водата.

Има два не много силно разпространени елемента, които не са останали нито във вид на атоми, нито са образували отделни прости молекули — силицият и желязото. Силициевите атоми се съединявали с атомите на кислорода, но в процеса на свързване не образували отделени една от друга молекули. При тях електромагнитните сили продължавали своето действие без всякакви ограничения до натрупването на едно място на все повече и повече силициево-кислородни комбинации. Тези комбинации, наречени *силикати*, нараствали до размерите на частици от прах, малки камъчета, скални отломъци и заоблени каменни грамади. Към силикатните структури се прибавяли атоми от други елементи — магнезий, натрий, калий, калций, алуминий и т.н. Тази смесица от силикати е образувала скалния материал на земната кора, който ни е така добре познат.

В голямата си част атомите на желязото били залепени здраво един за друг заедно с атоми на други метали, като тези на кобалта и никела, които свободно се смесвали с тях.

И така, когато газът и прахта се завихряли все по-навътре и по-бързо, се образували все по-големи скални отломъци и метални конкреции (или комбинации и от двете). Понеже металите са поплътни от скалните образувания, те реагират по-добре на гравитационното привличане. След „сътворяването“ на новия свят металите потъват към центъра му, образувайки ядрото, а скалната маса остава в обвивката над металите.

Луната и Марс са образувани предимно от скален материал. Меркурий, Венера и Земята са от скален материал и метали. Малки парчета твърдо вещество все още са разпръснати в космическото пространство и някои от тях прорязват атмосферата на Земята като *метеори*, а ако успеят да оцелеят и да достигнат до твърдата или течната земна повърхност, те стават *метеорити*. Някои от метеоритите са каменни, други — железни, а трети са смес от едното и от другото.

Малките светове от рода на малките астероиди не са достатъчно големи, за да породят гравитационно поле, което да е в състояние само да задържа веществото им на едно място. То се задържа от електромагнитните сили в самите атоми и между тях. Тези сили, разбира се, са много по-големи от гравитационните сили на малките тела.

Атомите и молекулите, които са останали отделно едни от други и не са изградили безкрайни комбинации, не могат да формират светове под действието на електромагнитните сили. На тях може да им действа само гравитацията. Отделните атоми и молекули, които образуват една газова атмосфера, са пример за това.

Малките светове не притежават гравитационни полета с интензитет, достатъчен, за да задържа газовете. Луната следователно с нейната повърхностна гравитация, която е само $1/6$ от земната, не може да задържа газови молекули и да има атмосфера. Нещо повече, тя не може да задържа и молекули на *летливите* течности и те се изпаряват много бързо, превръщайки се в газ. Поради тази причина на повърхността си Луната няма вода в свободно състояние. Световете, по-малки от Луната, също не могат да имат атмосфери и не биха могли да задържат летливи течности.

Меркурий, който има повърхностна гравитация 2,3 пъти по-голяма от лунната (обаче все още само $3/8$ от земната), няма нито атмосфера, нито океани. А Марс, чиято повърхностна гравитация е почти като тази на Меркурий, е в състояние да задържа тънка атмосфера — с плътност само около $0,006$ от плътността на земната атмосфера — с незначителни следи от вода.

Защо?

Отговорът се крие във влиянието на температурата. Колкото по-висока е температурата, толкова по-бързо се движат атомите и молекулите на газовете и толкова по-вероятно е някои от тях да се движат със скорости, по-големи от скоростта на избягване от планетата, към която принадлежат. По-вероятно е също атмосферата (ако такава съществува) да се разсее в пространството и е още по-малко вероятно тя въобще да се образува. Колкото по-ниска е температурата, толкова по-бавно се движат атомите и молекулите на газовете. По-малко вероятно е някои от тях да имат скорости, по-големи от скоростта на избягване, по-малка е вероятността атмосферата да се разсее, но вероятността тя въобще да се образува е по-голяма.

Марс има същата повърхностна гравитация като, тази на Меркурий, но той се намира на почти 4 пъти по-голямо разстояние от Слънцето и затова е значително по-студен. И ако температурата на

повърхността на Меркурий достига 350°C , то средната температура на повърхността на Марс е само 20°C ^[1].

Да разгледаме Титан — най-големия спътник на Сатурн. Повърхностната гравитация на Титан вероятно не надвишава половината от тази на Марс. Но Титан има повърхностна температура около -180°C или само 90 градуса над абсолютната нула. Поради това той притежава атмосфера, която е по-плътна от тази на Марс и вероятно е почти толкова плътна, колкото и земната.

Колкото по-малко масивни са атомите или молекулите, толкова по-бързо се движат те при дадена температура, толкова по-вероятно е те да избягат в пространството, и толкова по-трудно е те да бъдат задържани в състава на атмосферата.

Така например гравитационното поле на Земята е достатъчно интензивно, за да задържа атомите на аргона (с атомно тегло 40). То може също така да задържа въглеродния двуокис, тъй като въглеродният атом има атомно тегло 12, а двата, кислородни атома имат общо атомно тегло 32, което прави *молекулно тегло* 44.

По същия начин гравитационното поле на Земята е достатъчно интензивно, за да задържа кислорода (молекулно тегло 32) и азота (молекулно тегло 28), но не и хелия (атомно тегло 4) или водорода (молекулно тегло 2).

Ако постепенно веществото, формиращо една планета, нарасне и стане достатъчно за създаването на гравитационна сила, която да може да задържа дори хелия и водорода, то тогава планетата започва да расте бързо, понеже хелият и водородът са най-разпространените гравитационни елементи. Планетата се уголемява като търкаляща се снежна топка, понеже колкото по-голяма става, толкова по-интензивно ще е нейното гравитационно поле и тя все по-ефективно ще натрупва хелий и водород.

Това става по-лесно на по-големи разстояния от Слънцето, където е по-студено и атомите и молекулите на леките газове се движат по-бавно. В резултат се образуват планетите гиганти Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, които се намират на по-големи разстояния от Слънцето. Техните плътности са малки, защото са изградени главно от леки елементи.

Образуваните по-близо до Слънцето планети, където температурите са по-високи, не могат да задържат леките елементи. Те

са изградени главно от по-малко разпространени атоми, които се задържат от електромагнитните сили. Затова във вътрешната част на Слънчевата система се образуват по-малки планети, формирани от скален материал и метали с висока плътност.

[1] Средната температура на повърхността на Марс е значително по-ниска от приведената тук. Тя е около -70°C . — Б.ред. ↑

3.
ПЛЪТНАТА МАТЕРИЯ

НЕДРАТА НА ПЛАНЕТИТЕ

Когато частиците, формиращи една планета, се сближават — нараствайки отначало до размерите на камъчета, после до заоблени каменни грамади и планини и накрая до цели светове — те се загряват. Гравитацията предизвиква ускорително движение навътре към центъра. Колкото по-големи стават нарастващите фрагменти, толкова по-бързо те се движат и толкова по-голяма *кинетична енергия* притежават (*кинетична* произлиза от гръцки език и означава „движение“). По-големите фрагменти, така наречените *планетезималии*, притежават толкова голяма енергия, че при ударите си в този нарастващ свят могат да издълбаят огромни кратери в него. Тези кратери се унищожават от други катастрофални удари, които издълбават повърхността с още по-големи кратери, и остават само няколко от тях за неопределено дълго време.

Ние виждаме кратерите, които бележат последните сблъсъци, формирали повърхността на Луната, на Меркурий, на Марс и на двата малки негови спътника Фобос и Деймос. Ние със сигурност бихме ги видели и на Венера, ако можехме да надникнем под облаците ѝ, както и на спътниците на Юпитер, ако имахме достатъчно детайлни снимки.

Несъмнено Земята също е получила своя дял от кратери. На нея обаче могат да се видят само слаби следи от тях, понеже течащата вода и действието на живата материя са ги разрушили.

Сумарната кинетична енергия на сблъскващите се взаимно бързо движещи се тела не се губи. Енергията въобще не се губи, тя може само да се трансформира в друга форма. В нашия случай кинетичната енергия се превръща в топлина и се концентрира в центъра на образувания свят. Това е така и за Земята, както несъмнено и за всички други достатъчно големи светове, които са могли да получат съществено количество кинетична енергия при своето образуване. Тази вътрешна топлина в крайна сметка е продукт на енергията на гравитационното поле, което се концентрира все повече и повече в процеса на образуването на една планета.

Що се отнася до Земята, отдавна е установено, че недрата ѝ са горещи. При прокопаването на дълбоки галерии в Земята с навлизането в дълбочина температурата постоянно нараства. Признаци за вътрешната топлина на Земята са горещите извори и вулканите (които вероятно са породили у древните идеята за огнения ад под земята).

Съвременните познания за вътрешността на Земята се основава на анализа на сеизмичните вълни, които се пораждаат при земетресенията и се разпространяват в дълбините на планетата. От посоката на движението им, от времето на разпространение и от начина, по който те променят или не променят внезапно направлението си, могат да се направят изводи за свойствата на земните недра. Смята се, че температурата постоянно се увеличава с приближаването към центъра на Земята, където тя достига 5000°C (почти толкова, колкото е температурата на повърхността на Слънцето, а тя е 6000°C).

Фактът, че в земните недра бушуват горещи пламъци, означава, че голямата част от вътрешността на Земята е била (и все още е) в течно състояние след образуването на планетата и след като тя достигнала размери, близки до сегашните. Това означава, че ако тя е образувана от различни вещества, които не са били предварително смесени, те ще се разделят, като по-плътните видове ще се придвижат по-близо до центъра, а другите ще изплуват над тях.

Това наистина е така. Земята е образувана предимно от скални силикати и смес от желязо и никел в съотношение около 9 към 1. Металите се слягат към центъра, където образуват *желязно-никелово ядро*. Около него се намира силикатната *мантия*. Мантията е в твърдо състояние, защото нейната температура в най-горещата ѝ част (която, разбира се, е и най-дълбоко) вероятно не надвишава 2700°C и не е достатъчна, за да разтопи скалите. Ядрото има значително по-висока температура и тя е достатъчно висока, за да се разтопи желязото. Ето защо ядрото на Земята е течно.

Топлината във вътрешността на Земята се е натрупала в ранните стадии на нейната история — преди 4 600 000 000 години (един милиард години понякога се нарича *еон*^[1], затова бихме могли да кажем, че Земята се е образувала преди 4,6 еона). Вероятно преди 4 еона ударите върху повърхността ѝ от големите планетезималии са се прекратили и след този момент не се е добавяло съществено

количество кинетична енергия към това, което Земята вече е имала. Гравитацията вече била свършила работата си по формирането на Земята.

Изглежда, че за изминалите оттогава 4 еона вътрешната топлина на Земята изтекла малко по малко в околното пространство и планетата се охладила. Скалният материал в мантията и в земната кора съвсем сигурно е лош проводник на топлина, затова вътрешната топлина на Земята всъщност изтича много, много бавно, но 4 еона е наистина много дълго време.

Фактически Земята съдържа като част от себе си и малки количества от елементите уран и торий, които под действието на ядрените и слабите сили се разпадат бавно с течение на еоните и по този начин освобождават топлина. (След изминалите 4,6 еона половината от първоначалното количество на урана и 4/5 от първоначалното количество на тория все още не са се разпаднали.) Освобождаваната от радиоактивните елементи топлина не е много голяма, но тя се натрупва с течение на еоните — тя е поне толкова, колкото е и изтичащата вътрешна топлина на Земята. Това, което са започнали гравитационните сили, сега се поддържа от ядрените и слабите сили — следователно земните недра няма да се охладят още много еони.

Естествено е една по-голяма от Земята планета да получи и по-голямо количество кинетична енергия в процеса на формирането си. Първо телата, които бомбардират нарастващата планета, имат стотици пъти по-големи маси. Второ, понеже гравитационното поле става все по-силно, тези тела се удрят в планетата с по-големи скорости. И масата, и скоростта имат своя принос в кинетичната енергия. Една планета, по-голяма от Земята, ще бъде по-гореща в недрата си (а една по-малка планета ще бъде по-студена).

Да разгледаме Юпитер. През 1974 и 1975 година две космически сонди — „Пайъниър-10“ и „Пайъниър-11“, минаха много близо до планетата (на 100 000 km от повърхността ѝ) и от получените данни учените можаха да извлекат информация за температурата в недрата на огромната планета.

Разстоянието от външния облачен слой до центъра на Юпитер е 71 400 km. Когато стигнем на 2900 km под повърхността на облачния слой (което е само 4% от разстоянието до центъра на Юпитер),

температурата вече ще бъде 10 000°C, двойно повече от тази в центъра на Земята.

На дълбочина 24 000 km под облачния слой, което е 1/3 от разстоянието до центъра на Юпитер, температурата е 20 000°C. В самия център температурата достига изключително високата стойност 54 000°C, което е 9 пъти повече от температурата на слънчевата повърхност.

Но гравитационните взаимодействия пораждат в недрата на планетата не само висока температура. Те пораждат също така и високо налягане.

Под действието на гравитационното поле най-външните слоеве на планетата се привличат към центъра и се слягат върху по-долните слоеве, които също се привличат към центъра и се слягат върху още по-дълбоките слоеве. Тази серия от слягания съпровожда целия път до центъра, всеки по-дълбок слой предава надолу натиска на всичко, което лежи отгоре му, и добавя своя собствен натиск, така че с проникването в дълбините на планетата налягането постоянно се повишава.

Налягането често се измерва чрез тегло, разпределено върху определена площ — например с броя на грамовете, натискащи върху един квадратен сантиметър. Нека разгледаме нашата атмосфера. Тя се привлича от Земята с достатъчна сила, за да упражни върху земната повърхност значително налягане.

Върху всеки квадратен сантиметър от земната повърхност действа натиск (или *тегло*, както често се нарича този натиск) от 1033,2 g въздух. Можем следователно да кажем, че атмосферното налягане на морското ниво е 1033,2 g/cm², което ние наричаме 1 *атмосфера*. Същото налягане действа и върху нашите тела, но във всички направления както навътре, така и навън, така че то се компенсира, и ние не го чувствуваме.

Налягането на водата в океанските дълбини е много по-високо от налягането на въздуха, понеже водата е много по-плътна от въздуха и има по-голяма маса. В най-дълбоките части на океаните налягането на водата е малко повече от 1 000 000 g/cm² или около 1000 атмосфери. Живите създания, подложени на това налягане и отвътре, и отвън, се чувствуват много добре при тези условия. (Ако обаче едно дълбоководно животно бъде издигнато на повърхността, вътрешното

му налягане ще намалее слабо, докато външното ще спадне изключително много. Неговите клетки ще се пръснат и то ще умре. При обратните условия, например когато налягането върху нас силно се увеличи, ние също ще умрем.)

В недрата на Земята налягането нараства още повече, защото скалният материал и металите са по-плътни от водата и дълбочината е по-голяма (стълбовете от метали и скално вещество, които натискат върху слоевете отдолу, са по-дълги от стълбовете въздух, натискащи земната повърхност и от стълбовете вода, които натискат върху дъното на моретата).

Така на дълбочина 2200 km, което е 1/3 от разстоянието до центъра на Земята, налягането е вече 1 000 000 атмосфери или 100 пъти по-голямо от налягането в най-дълбоките места на океана. На дълбочина 4000 km то е 2 500 000 атмосфери. В центъра на Земята то вероятно е 3 700 000 атмосфери. Това гигантско налягане кара течното ядро постепенно да се втвърдява и то става твърдо в самия център независимо от огромната температура, така че вътре в течното желязно-никелово ядро съществува малко централно твърдо желязно-никелово ядро.

Естествено е условията в Юпитер отново да са по-екстремални. Върху централните му области оказват натиск стълбове вещество, 11 пъти по-големи от стълбовете, които тежат върху земното ядро (въпреки че веществото на Юпитер не е толкова плътно като земното). Ядрото на Юпитер понася налягане 10 000 000 атмосфери.

[1] Авторът често използва на страниците на тази книга термина *еон* в смисъл на интервал за време от 1 000 000 000 години. В действителност *еонът* (нарича се още *кална*) е период от староиндийското летоброене, който трае 4 320 000 000 години. Староиндийските ери се състоят от гигантски периоди. След изтичането на всеки такъв период всичко живо умира. Точно тези периоди се наричат *еони*. Всеки *еон* е само един ден от живота на Брама. — Б.ред. ↑

СЪПРОТИВА СРЕЩУ НАЛЯГАНЕТО

Какво става с веществото във вътрешността на световете, че те могат да издържат това огромно налягане?

За да отговорим на този въпрос, нека да разгледаме една маса, върху чиято повърхност сме поставили някакъв обект, например една книга. Земната гравитация привлича надолу тази книга. Ако книгата беше в състояние да се движи свободно, тя би паднала, реагирайки на земната гравитация, и би продължила непрекъснато да пада към центъра на Земята, ако нямаше нещо, което да я спира.

Но има нещо, което все пак я спира — масата. Бъдете сигурни, масата също се привлича надолу, но тя не пада, защото я спира подът, който от своя страна не пада, защото го спират стените на сградата, които пък не падат, защото ги държи фундаментът на сградата, който пък се държи от...

Ако се съсредоточим само върху книгата и масата, то тогава защо книгата в отговор на земното привличане просто не пробива масата?

Защото не може. Книгата е направена от атоми, масата — също. Очертанията на всички атоми — и на книгата, и на масата — са формирани от електронни обвивки. Това означава, че съществува някаква, така да се каже, електронна повърхност на книгата, а също и електронна повърхност на масата.

Двете електронни повърхности се отблъскват взаимно и понеже електромагнитните сили са много по-големи от гравитационните, то цялото привличане на голямата Земя не може да принуди книгата да пробие масата поради съпротивата на отблъскващите се електрони. С други думи, електромагнитните сили се противопоставят на гравитационните и между тях се установява равновесие, при което книгата лежи спокойно върху масата, без да я пробие надолу в отговор на гравитационното привличане, и без да се издига над нея в резултат на електромагнитното отблъскване.

Ако обаче теглото на обектите върху масата се направи достатъчно голямо, например ако се струпат върху нея достатъчно масивни книги, масата ще се счупи в най-слабото си място. Атомите,

от които е съставена масата, ще се раздалечат в точките, където циментиращото действие на електромагнитните сили е най-слабо.

Ако се натовари някакъв друг обект, например восъчен блок, молекулите на восъка под действието на теглото ще се хлъзнат една върху друга и ще се отместят много бавно. Восъчният блок ще се деформира и товарът ще потъне във восъка не в самото вещество, а надолу от първоначалната повърхност, понеже восъкът ще изтече встрани, освобождавайки пътя на товара. (После е възможно восъкът обратно да залее потъналия в него товар.)

Във вътрешността на Земята протичат и двата процеса под действие на теглото на най-външните нейни слоеве. Има например пукнатини, които представляват слабите точки на земната кора. В действителност земната кора е съставена от множество големи плочи, които непрекъснато се раздалечат, сближават и се блъскат косо една в друга. Едно внезапно движение на веществото от едната страна на пукнатините спрямо другата води до неочакваното му разкъсване под действието на взаимния натиск и като резултат се получават земетресенията. На някакво разстояние под повърхността на Земята топлината прави скалите по-податливи на бавна деформация по подобие на восъка и *магмата*, както наричаме нагорещените скали, се промъква през слабите места на по-твърдите горни пластове и води до вулканични изригвания.

Ако обаче навлизаме все по-дълбоко и по-дълбоко в земните недра, имаме по-малък шанс да срещнем пукнатини и разкъсвания и деформирането протича по-плавно. Нещо друго трябва да се случи с веществото на големи дълбочини под действието на голямото налягане. Това друго нещо е *уплътняването*.

В лабораторни условия учените най-добре познават ефектите на увеличаване на налягането за газовете. Газовете се състоят от бързи молекули, отделени една от друга с разстояния, които са големи в сравнение с техните размери. Ако газовете се сгъстят, молекулите идват по-близо една до друга и известна част от празното пространство, така да се каже, „изчезва“. Газовете следователно лесно се свиват до по-малки обеми под действието на налягането. Те могат да бъдат сгъстени, до обем 1/1000 от първоначалния или още по-малък, преди да „изчезне“ цялото празно пространство и молекулите да влязат в контакт една с друга.

При течностите и твърдите тела обаче молекулите вече са в контакт една с друга и затова не могат да се свият чрез „изчезване“ на празно пространство като газовете. Ето защо като че ли нищо не се случва с течности или твърди тела, когато те се намират под действието на някакво налягане, способно да сгъсти газовете. Течностите и твърдите тела следователно са „несвиваеми“.

Това е достатъчно вярно за обикновените условия, при които работят хидравличните преси и при които стоманените ферми крепят небостъргачите.

Ако се упражни налягане върху течности или твърди тела, тогава се уплътняват самите атоми. Електроните се приближават към ядрото. Това става, дори и при най-слабите налягания — например като това на книгата върху масата. Най-външните електрони се придвижват навътре по равнината на контакта. Разстоянието, на което електроните се придвижват навътре под действието на характерните за всекидневния живот налягания, е толкова микроскопично, че то е просто неизмеримо малко.

Атомите се уплътняват и електроните се преместват по-близо до ядрото, а силата на отблъскване между електроните в съседните атоми (които също са изместени навътре от налягането) нараства. При всички случаи се достига до ново равновесие. Налягането отвън свива атома като пружина, докато противоположното действие отвътре не се увеличи до състояние на равновесие с него.

Ако при обикновени условия налягането предизвиква неизмеримо малко уплътняване, то при *достатъчно* налягане уплътняването на атомите става измеримо и електроните забележимо се придвижват навътре. Това означава, че атомите на веществата под налягане заемат по-малко място, т.е. в даден обем имаме по-голяма маса, или казано по друг начин — плътността нараства...

Можем тогава да очакваме, че в земните недра плътността на изграждащото ги вещество се увеличава и ще стане по-висока, отколкото би била, ако това вещество беше на повърхността само под действието на атмосферното налягане.

Действително плътността на веществото на Земята се увеличава с увеличаване на дълбочината и на налягането, което се упражнява върху него. Веднага щом Кавендиш определил масата на Земята, станало ясно, че Земята не може да има една и съща плътност

навсякъде, че в дълбините си тя трябва да бъде много по-плътна, отколкото на повърхността.

Океанът има плътност 1 g/cm^3 , а скалите от външната кора на Земята, въпреки че се различават по плътност една от друга, имат средна плътност около $2,8 \text{ g/cm}^3$, докато общата средна плътност на Земята е $5,52 \text{ g/cm}^3$.

Понеже външните слоеве на Земята имат плътност, по-малка от $5,52 \text{ g/cm}^3$, то вътрешните слоеве трябва да са по-плътни от $5,52 \text{ g/cm}^3$. Със сигурност ядрото на Земята се състои от желязно-никелова стопилка и тя, разбира се, е по-плътна от скалния материал над нея. Плътността на желязото, чието съдържание в ядрото е най-голямо, тук на повърхността, е $7,86 \text{ g/cm}^3$. Тя обаче съвсем не е достатъчна, за да даде средната плътност на Земята. Това, което определя средната плътност на Земята, е нарастването на плътността под действието на налягането и уплътняването.

Земната мантия се простира под повърхността на дълбочина около 2900 километра или на около $4/9$ от разстоянието до земния център. В целия зает от нея обем химичният състав на мантията не се променя значително и една проба от нейното вещество, извадена на повърхността, би имала плътност малко над 3 g/cm^3 . Плътността на мантията обаче постоянно се увеличава с дълбочината и в долната ѝ част достига около 6 g/cm^3 . Средната плътност на мантията е $4,5 \text{ g/cm}^3$.

На дълбочина 2900 километра се преминава от околната мантия в течното желязно-никелово ядро и се получава рязък скок на плътността, тъй като желязото е по-плътно от скалния материал. Независимо от това, че желязото на повърхността има плътност $7,86 \text{ g/cm}^3$, под натиска на многокилометровата мантия плътността на ядрото във външната му част е около $9,5 \text{ g/cm}^3$. Тази плътност нараства с проникването в дълбините на ядрото и в самия център на Земята тя е около 12 g/cm^3 . Средната плътност на ядрото е $10,7 \text{ g/cm}^3$. Обаче дори максималната плътност, която може да се достигне в ядрото, е само половината от плътността, която има осмият на повърхността на Земята. Ако земното ядро се състоеше от осмий, то налягането върху него би увеличило плътността му до около 30 g/cm^3 .

По-напред, вече казахме, че ако Земята има една и съща плътност навсякъде, гравитационното привличане постоянно ще намалява с проникването навътре в нея и в центъра ѝ ще стане нула. Поради промените на плътността в земните недра това не е съвсем така. Толкова голяма част от масата на Земята е концентрирана в нейното сравнително малко течно ядро — 31,5% от масата и 16,2% от обема на Земята — че гравитационното привличане се увеличава слабо със спускането ни надолу. Наистина, ако силата на нашето въображение ни отведе на границата между мантията и ядрото, гравитационното привличане, действащо върху нас, ще бъде 1,06 пъти по-голямо от това на повърхността. Но при по-нататъшно проникване в ядрото гравитационното привличане в края на краищата ще започне да намалява и ще стигне нулева стойност в центъра на Земята.

В центъра на Земята атомите имат само 85% от диаметъра, който биха имали на повърхността. Електроните са навлезли на разстояние около 15% по-близо до ядрото и това малко, навлизане е достатъчно, за да породи насочен навън противодействащ натиск, уравниващ всички неприятности, които насоченото навътре гравитационно привличане на огромната Земя е могло да причини. Това е още едно доказателство колко по-голяма е електромагнитната сила от гравитационната.

ЗВЕЗДИТЕ

Става ясно, че всички обекти с размери поне като тези на Юпитер са стабилни благодарение на електромагнитните сили.

Започвайки от отделните газови молекули и преминавайки през малките частици прах, по-големите частици с размери на речни камъчета, заоблените каменни грамади и планините, всичко това съществува в свързано състояние само заради действието на електромагнитните сили. Гравитационната сила на такива малки тела е толкова незначителна, че може да се пренебрегне въобще.

Когато имаме работа с обекти, чиито размери са от порядъка на големите астероиди, разбрахме, че гравитационните полета на тези обекти са вече в състояние да привличат веществото навътре със забележима сила. Следователно вътрешните области на тези обекти се уплътняват забележимо под действието на гравитацията и това все по-ясно се проследява при нарастване размерите на разглежданите обекти: Луна — Земя — Сатурн — Юпитер. Във всички случаи атомите на обектите се уплътняват до достигане на такова ниво на компресия, когато насочената навън уравновесяваща сила е в състояние да балансира действащото навътре гравитационно привличане.

Така установеното равновесие е постоянно във времето.

Да си представим едно тяло като Земята или Юпитер, което е съвсем само във Вселената. В такъв един свят гравитационните и електромагнитните сили ще останат непроменени вечно и, доколкото знаем, материалната структура на самото тяло ще остане завинаги такава, каквато е. Може би ще има слаби разтърсвания, подобни на земетръсите, когато планетното вещество се намества на мястото си малко по малко. Планетата бавно ще изстива, докато не ѝ остане топлина нито на повърхността, нито в центъра, и нейните океани и атмосфера ще замръзнат, но всички тези промени от астрономична гледна точка могат да се нарекат тривиални.

Равновесието не е равновесие между равностойни партньори. Въпреки че електромагнитната сила е невъобразимо по-голяма от

гравитационната, точно тя ще загуби борбата.

Електромагнитната сила независимо от своята големина действа само посредством отделния атом. А всеки отделен атом дълбоко в недрата на планетата се уплътнява и, така да се каже, не вика за помощ съседите си, които са уплътнени по същия начин. Когато този атом достигне максималната си способност да се съпротивлява на компресията, това се случва и на всички други атоми, намиращи се при същото налягане. Ако налягането продължи да нараства, всеки атом поотделно и всички те заедно изчерпват възможностите си за съпротива.

А гравитационната сила, колкото и да е слаба първоначално, ще се усилва неограничено в процеса на натрупване на веществото на едно място, понеже всяко късче вещество добавя своето гравитационно поле към общото. Докато съпротивата срещу уплътняването има своите предели, то силите, предизвикващи това уплътняване, могат да нарастват неограничено.

Електромагнитната сила противодейства на уплътняването и издържа (представете си какви големи усилия й струва това) на натиска на земните пластове, предизвикан от гравитационното поле на Земята. Тя издържа върху себе си (с агонизиращи усилия, както бихме могли да си представим в нашата фантазия) много по-големия натиск на много по-масивните недра на Юпитер, привлечани от неговото значително по-мощно гравитационно поле.

Добре тогава, какво би станало, ако на едно място струпаме повече вещество, отколкото има в Юпитер? Няма ли да дойде момент, когато гравитационното поле ще стане достатъчно интензивно и налягането в центъра достатъчно голямо, за да колапсират съпротивляващите се атоми — точно както масата в един момент се счупва под действието на прекалено голямата тежест върху нея?

Можем ли наистина да твърдим, че е възможно съществуването на материални струпования, по-големи от Юпитер? Може би има някакви причини, поради които в природата обектите не могат да нарастват повече от размерите, които има Юпитер.

Не, разбира се. Юпитер може да е най-голямата планета, която наблюдаваме, но ние имаме близо до нас един далеч по-голям от него обект — Слънцето.

Слънцето е толкова по-голямо от Юпитер, колкото Юпитер от Земята. Неговият диаметър е 1 391 400 km, което е 9,74 пъти повече от диаметъра на Юпитер. Ние трябва да наредим една до друга почти 10 планети като Юпитер, за да покрием слънчевия диаметър. Сравнете това с 11-те земни размера, които са необходими за получаването на диаметъра на Юпитер.

И ако Юпитер е 317,9 пъти по-масивен от Земята, то масата на Слънцето е 1049 пъти по-голяма от тази на Юпитер.

Друг факт, който потвърждава огромния размер на Слънцето в сравнение с която и да е планета, дори и с Юпитер, е неговата повърхностна гравитация. Гравитационното поле на видимата повърхност на Слънцето е точно 28,0 пъти по-силно от това на земната повърхност и 10,6 пъти по-силно от полето на повърхността на Юпитер.

Скоростта на избягване от повърхността на Слънцето е 617 km/s или 55 пъти по-голяма от тази на Земята и 10,2 пъти от тази на Юпитер. Фактически дори на разстояние 149,5 милиона километра от центъра на Слънцето скоростта на избягване от Слънцето все още остава 40,6 km/s.

Тъй като разстоянието от 149,5 милиона километра всъщност е разстоянието между Земята и Слънцето, то следва, че скоростта на избягване от Слънцето от мястото, където е Земята, е значително по-висока от скоростта на избягване от самата Земя. Това означава, че когато се праща спътник до Луната, Марс или Венера и скоростта му е достатъчна, за да го освободи от земната гравитация, тази скорост не е непременно достатъчна, за да освободи спътника и от слънчевата гравитация. Такъв спътник може да не обикаля вече около Земята, но ще остане в орбита около Слънцето.

Досега само два направени от ръката на човека обекта са достигнали такива скорости, които да ги освободят както от земната, така и от слънчевата гравитация и да могат да напуснат Слънчевата система.^[1] Става дума за двете изпратени към Юпитер сонди „Пайъниър-10“ и „Пайъниър-11“. Това бе осъществено при прелитането им покрай Юпитер, за да може неговото гравитационно поле да ги ускори по подходящ начин (във всеки случай скоростта на избягване от Слънцето там, където е Юпитер, е по-малка от тази при Земята).

Има и по-съществени разлики между Слънцето и Юпитер. Юпитер е много по-голям от Земята, но той все още е планета. И Юпитер, и Земята, поне що се отнася до повърхностите им, са студени и биха били тъмни, ако не отразяваха слънчевата светлина.

Слънцето обаче е звезда. То свети със своя собствена светлина, ослепителна и огнена.

Не е ли просто едно съвпадение това, че Слънцето е много по-масивно от всички планети, които са ни известни, и това, че то ни ослепява със собствена светлина? Или и двете са взаимосвързани?

Бихме могли да поспорим дали големината и собствената светлина вървят заедно, като направим това по следния начин.

Както видяхме по-рано в книгата, при формирането си всеки свят превръща кинетичната енергия от падането на образуващото го вещество в топлина. Колкото по-голям е този свят, толкова повече е вътрешната топлина. Земята е нажежена до бяло в центъра си, а Юпитер е далеч по-горещ.

Тогава Слънцето, което е по-голямо от Юпитер, ще бъде също така и много по-горещо в центъра си — може би достатъчно горещо, за да не могат горните слоеве на Слънцето да изолират добре повърхността му и тя да не може да остава повече, студена. Бихме могли да поспорим дали вътрешната топлина на обект с големината на Слънцето е достатъчна, та при изтичането си навън да поддържа слънчевата повърхност нагрята до бяло с температура 6000°C .

Неприятното на този възглед за структурата на Слънцето е това, че лесно може да се покаже, неговата несъстоятелност.

В крайна сметка Слънцето щедро „излива“ енергия с огромен темп и със сигурност е правило това и през цялото време на писаната история на човечеството. Изглежда, че това е ставало и през много от вече отминалите милиони години, за което съдим от следите, оставени от живота през епохите. И все пак, ако цялата енергия на Слънцето е била получена от кинетичната енергия по време на образуването му, то Слънцето просто не би имало достатъчно енергия, за да бъде такова, каквото го познаваме.

През 1853 г. немският физик Херман Лудвиг Фердинанд фон Хелмхолц (1821–1894) се опитал да пресметне какво количество кинетична енергия ще е необходимо, за да се поддържа излъчването на Слънцето. Той получил, че Слънцето би трябвало да се свива около 25

милиона години от кълбо с първоначални размери 300 милиона километра до кълбо със сегашните му размери, за да генерира енергията, изразходвана от него през цялото това време.

Но при диаметър 300 милиона километра Слънцето би запълнило цялата орбита на Земята и следователно тя не би могла да бъде по-стара от 25 милиона години. Но това не е възможно. Биолозите и геолозите били съвсем сигурни, че Земята е много по-стара.

Това означавало, че в действителност Слънцето черпи енергия от някакъв друг източник, а не от собственото си свиване; че то е разпръсквало тази енергия във вид на светлина и топлина през цялата история на Земята, без да се охлади ни най-малко. През целия XIX век обаче не бил известен такъв енергиен източник, който би могъл да осигури енергията на Слънцето, без да бъдат предизвикани трудности при обясняване на механизма му.

Обратът дойде с началото на нашия век, когато бе изяснен строежът на атома. Бе открито атомното ядро и стана ясно, че в него се крие енергия, много по-голяма от енергията на електроните, откъдето ние извличаме познатите ни форми на енергия.

Следователно Слънцето изобщо не е едно обикновено огнено кълбо. То е, така да се каже, кълбо от ядрен огън. Някъде в неговия център съществува енергия, освободена по някакъв начин от ядрените сили, чиято маса е хиляди пъти по-голяма от тази на електромагнитните.

[1] Такива обекти има вече 4 на брой. Заедно със споменатите „Пайъниър-10“ и „Пайъниър-11“ извън границите на Слънчевата система се отправиха и американските станции „Войджър-1“ и „Войджър-2“. Последната от тях напусна системата през август 1989 г. — Б.ред. ↑

ИЗРОДЕНАТА МАТЕРИЯ

Средната плътност на Слънцето е $1,41 \text{ g/cm}^3$ — стойност, малко по-голяма от тази на Юпитер. Такава е плътността на течностите и твърдите тела, които се състоят от комбинации между атомите на най-леките елементи. Такава плътност определено не е характерна за газовете. Дори най-плътният газ на Земята има плътност само малко над $1/100$ от слънчевата.

Още повече, че стойността $1,41 \text{ g/cm}^3$ представлява само *средната* плътност на Слънцето. Веществото дълбоко в недрата му, което се намира под мощния натиск на горните слоеве, привлечени надолу от огромната слънчева гравитация, трябва да е уплътнено значително повече от средната стойност.

Сигурно е, че най-външните слоеве на Слънцето са съставени само от газ, понеже едно от нещата, които можем да видим в телескоп, са големи кълба светещ газ, които се изхвърлят над повърхността. Още повече, че повърхностната температура на Слънцето е 6000°C и няма нито едно известно ни вещество, което да бъде течно или твърдо при такава температура и при нормално налягане.

Недрата на Слънцето трябва да бъдат значително по-горещи от повърхността му, а налягането там трябва да е огромно. Дори през 90-те години на миналия век беше естествено да се предполага, че при такава налягане слънчевото вещество е уплътнено в нагорещени до бяло твърди тела или течности и че това обяснява голямата плътност на Слънцето. (Сега вече е известно, че тази картина всъщност се отнася за строежа на Юпитер.)

А подробното изучаване на свойствата на Слънцето през първата четвърт на нашия век показва, че дори в самия му център веществото му е газообразно. Това е изглеждало абсолютно невъзможно на учените от 90-те години на миналия век, но за учените от следващите поколения това е било напълно естествено, понеже вътрешният строеж на атома беше вече известен. Беше станало ясно, че малкият атом представлява всъщност една рехавата структура от частици, много по-малки от него.

Ето как изглеждат нещата сега.

В центъра на Земята атомите са уплътнени и тяхната съпротивителна сила, породена от електромагнитното отблъскване, е достатъчно голяма, за да държи цялото вещество на горните слоеве на планетата като множество миниатюрни Атласи^[1]. Атомите в центъра на Юпитер са още по-силно уплътнени и издържат на натиска на далеч по-голямата маса на тази гигантска планета.

Но и малките Атласи не са безгранично силни. Масата на Слънцето, която е хиляда пъти по-голяма от тази на Юпитер, под действието на огромната гравитация достига и надминава границите на съпротивителните сили на свързаните структури на атомите. Налягането в центъра на Слънцето е 100 000 000 000 атмосфери или 10 000 пъти повече от това в центъра на Юпитер.

Постоянното натрупване на вещество усилва гравитационното поле и идва такъв момент, когато то преодолява съпротивата на електромагнитните сили, държащи атомите в свързано състояние. Тогава атомите, така да се каже, се срутват вътре в себе си.

Електронните обвивки се смачкват и изчезват под действие на налягането и електроните вече могат да се движат, без да изпитват препятствията, които им налагат тези обвивки. Те се събират заедно и образуват особен вид безструктурен електронен флуид, заемащ значително по-малък обем, отколкото имат електроните в обвивките на свързаните атоми. Когато те се събират заедно, електромагнитното отблъскване между тях силно се увеличава и електронният флуид може да издържи далеч по-голямо гравитационно уплътняване в сравнение с неразрушените атоми.

Атомните ядра се движат свободно в този електронен флуид и могат да се сближават толкова, колкото им диктува случаят. Те дори могат да се удрят едно в друго.

При обикновените атоми, които съществуват на Земята (и даже в центъра на Юпитер), електронните обвивки действуват като „буфери“. Електронните обвивки на даден атом не могат да проникнат много навътре в обвивките на друг атом и доколкото ядрата на атомите се намират в центъра на тези обвивки, те остават относително отдалечени едно от друго. След като електронните обвивки се смачкат и електроните се свият в електронен флуид, който е много по-компактен, средното разстояние между атомните ядра намалява значително.

Материя, в която електронните обвивки са разрушени и в която ядрата се движат свободно в електронния флуид, се нарича *изродена материя*. Изродената материя може да бъде много по-плътна от обикновеното вещество. Ядрата на атомите са много по-тежки от електроните и именно те дават най-голям принос в сумарната маса на всяко тяло. Ако по някакъв начин заставим ядрата в изродената материя да се сближат повече, отколкото в нормалното вещество, ще получим много повече маса в единица обем, а следователно и много по-висока плътност.

Ядрата, които заемат само една милионна от една милиардна част от обема на неразрушените атоми, въпреки високата плътност могат свободно да се движат насам-натам точно по същия начин, както правят това атомите и молекулите на обикновените газове. Затова изродената материя, независимо от високата си плътност се държи като газ и има характерните свойства на газовете — ако щете, можете да я наричате „ядрен газ“.

През 1907 г. в една своя книга швейцарският астроном Якоб Роберт Емден (1862–1940) изложил за първи път концепцията, че Слънцето се състои изцяло от газ. Тази идея получила плът и кръв през 1916 г. в трудовете на английския астроном Артър Стенли Едингтън (1882–1944).

Той доказал, че ако Слънцето представлява газово кълбо, изградено от обикновени атоми в най-външните си слоеве и от разрушени атоми в най-дълбоките си слоеве, то слънчевото вещество ще има поведение на обикновен газ. От лабораторните изследвания на газовете знаем, че винаги съществува равновесие между силата, която се стреми да уплътни газа, и температурата, която се стреми да го разшири.

Затова и в Слънцето трябва да има равновесие — гравитационното привличане трябва да се компенсира от температурата в недрата му. Големината на гравитационното поле на Слънцето и способността му да уплътнява веществото са известни. Едингтън се заел да определи каква трябва да е температурата в Слънцето, за да се получи ефект на разширяване, достатъчен за компенсиране на гравитацията.

Резултатите били изненадващи. Огромното компресиращо действие на слънчевата гравитация се отразява на плътността на

слънчевото вещество и в околностите на центъра на Слънцето тя достига 100 g/cm^3 , което е 4 пъти повече от плътността на най-плътния елемент, съществуващ на земната повърхност. И въпреки тази голяма плътност в ядрото си Слънцето се държи така, сякаш се състои изцяло от газ. Температурата в центъра на Слънцето е $15\,000\,000^\circ\text{C}$. Такава висока температура е необходима, за да може веществото на Слънцето да заеме обема, който има, независимо от гравитацията. Затова средната му плътност е само $1,41 \text{ g/cm}^3$ (загадъчното тук, както виждате, не е в това, че плътността е толкова голяма, а по-скоро в това, че тя е толкова малка).

Кое причинява тази огромна температура в ядрото на Слънцето? Още от времето на Ръдърфорд станало ясно, че това може да бъде само ядрена енергия. *Ядрените реакции*, при които ядрата поглъщат, отделят и пренасят адрони, генерират много повече енергия от *химичните реакции*, при които атомите поглъщат, отделят и пренасят електрони. Ядрените реакции са продукт на ядрените сили, които са много по-големи от електромагнитните сили, чийто продукт са химичните реакции.

Тогава следващият въпрос е кои точно ядрени реакции са причина за голямата мощ на Слънцето?

За да си отговорим на този въпрос, трябва да знаем нещо за химичния състав на Слънцето и да имаме някакви разумни представи за това, какви атомни ядра има в неговия център, а оттук и какви ядрени реакции са възможни там.

За щастие химичният състав на Слънцето може лесно да се установи чрез анализ на неговата светлина. Светлината се състои от вълни с много малка дължина, а слънчевото излъчване представлява смес от всички възможни дължини на вълните.

Различните атоми излъчват светлина с определени, характерни само за тях дължини на вълните. Също така те поглъщат светлинни лъчи, чиито дължини на вълните са точно същите, които сами излъчват. С инструмент, наречен *спектроскоп*, слънчевата светлина може да се разложи в *спектър*, в който всички дължини на вълните са подредени^[2]. В спектъра на Слънцето има хиляди тъмни линии. Те представляват дължините на вълните, които се поглъщат от атомите в най-външните слоеве на слънчевото вещество. Положенията на тези

линии в спектъра могат да се определят много точно, а оттам могат да се идентифицират различните видове поглъщащи атоми.

Още през 1862 г. шведският физик Андерс Йонас Ангстрьом (1814–1874) откри водород в Слънцето. Познанията за химичния състав на Слънцето постоянно се обогатяваха и през 1929 г. американският астроном Хенри Норис Ръсел (1877–1957) успя да го определи вече с най-големи подробности.

Оказа се, че около 90% от всички атоми в Слънцето са атоми на водорода и затова най-правдоподобно беше да се предположи, че в центъра на Слънцето има предимно ядра на водорода, които представляват отделни протони. Тогава ядрените реакции, необходими за поддържането на огромните складове енергия, която Слънцето постоянно излъчва, най-вероятно са реакции, в които участвуват ядрата на водорода. Там не може да има достатъчни количества атомни ядра от някакъв друг вид, които да генерират цялата необходима на Слънцето енергия, за да може то да съществува всичките тези 5 милиарда години.

През 1938 американският физик от немски произход Ханс Албрехт Бете (1906) използвал знанията за ядрените реакции, натрупани в лабораторни условия, за да разбере какво би могло да става в недрата на Слънцето.

При огромните налягания и плътности в слънчевото ядро водородните атоми — протоните — са много близо един до друг и не са защитени от електронни обвивки. При гигантската температура в ядрото на Слънцето те се движат със скорости, далеч по-големи от тези, които са възможни на Земята. Съчетанието от близост и скорост означава, че протоните се удрят взаимно доста често, при това с огромна сила. След такива взаимни удари те понякога остават заедно, като *се сливат* в по-големи ядра.

Подробностите за това, което става там, все още са дискуссионни, но основните резултати са сигурни. В центъра на Слънцето водородните ядра се сливат, за да образуват ядра на хелия — следващият по сложност елемент. За да се образува едно хелиево ядро, състоящо се от четири нуклона — два протона и два неутрона — трябва да се слоят четири протона.

В това се състои следователно и фундаменталната разлика между Слънцето и една планета.

При планетите насоченото навътре гравитационно привличане води до уплътняване на атомите, при което електромагнитните сили на електронните обвивки генерират уравниващ натиск, противодействащ на гравитацията.

При Слънцето много по-голямото гравитационно привличане не може да се компенсира от съпротивлението на атомите при уплътняването и атомите, така да се каже, се разрушават от налягането. Вместо това гравитацията се уравнива от топлинното разширяване, генерирано от ядрените реакции, които не могат да протичат при по-ниските температури в планетните недра.

Очевидно трябва да съществува някаква критична маса, под която атомите издържат на уплътняването и тялото все още е планета. Над тази маса атомите се разрушават, пламват ядрени реакции и тялото вече е звезда. Тази критична маса има стойност, която се намира в интервала между масите на Юпитер и на Слънцето.

Обекти с маси, много по-малки от слънчевата, които несъмнено са звезди, са известни на астрономите. Една от звездите, включена в каталога на Лютен под номер 726-8В, има маса само $1/25$ от слънчевата, но ние все пак виждаме пламъчето, на нейната слаба светлина. Масата на звездата Лютен 726-8В е само 40 пъти по-голяма от масата на Юпитер, но това е звезда, а не планета.

Впрочем има нещо съмнително и в самия Юпитер. Той излъчва в космическото пространство около три пъти повече енергия, отколкото получава от Слънцето.^[3] Откъде идва този излишък от енергия?

Може би Юпитер все още продължава слабо да се свива и кинетичната енергия на това свиване се превръща в топлина. Може би също така атомите в центъра на Юпитер се намират при температури и налягания, близки до границата им на издръжливост, поради което е възможно протичането на слаби реакции на водороден ядрен синтез, достатъчни да обезпечат излъчването от планетата на допълнително количество топлина.

Ако това е така, то Юпитер е на ръба на възпламеняването на ядрените реакции. Разбира се, няма опасност от едно действително ядрено възпламеняване, защото Юпитер не е достатъчно голям и ще си остане завинаги на ръба на възпламеняването.

[1] В древногръцката митология титанът Атлас е държал небето на раменете си и не му е давал да падне върху Земята. — Б.ред. ↑

[2] Ние чувствуваме различните дължини на вълните като разлика в цвета и най-яркият пример за спектър в природата е дъгата. ↑

[3] По съвременни данни, получени при полетите на автоматичните космически станции от фамилията „Войджър“, Юпитер излъчва около 2 пъти повече енергия, отколкото получава от Слънцето. — Б.ред. ↑

4.
БЕЛИТЕ ДЖУДЖЕТА

ЧЕРВЕНИ ГИГАНТИ И ТЪМНИ СПЪТНИЦИ

Разликата между планетите и звездите е много по-дълбока. Тя не се крие само в това, че планетите са по-малко масивни от звездите или пък че планетите са студени и тъмни, а звездите — горещи и блестящи.

Планетите се намират в състояние на глобално статично равновесие. За една планета това равновесие (между свиващото действие на гравитационно привличане и разширяващото действие на електромагнитното отблъскване) се установява веднъж завинаги. Доколкото знаем, ако няма външни влияния, то се запазва за вечни времена. Ако си представим, че Земята е сама във Вселената, тя ще замръзне бързо и ще стане безжизнена, но нейната физична структура ще си остане, същата най-вероятно завинаги.

А звездите се намират в състояние на динамично равновесие. За да запази една звезда структурата си, нещо вътре в нея непрекъснато трябва да се променя. Разбира се, насочената навътре гравитация като цяло не се променя, но дължащото се на температурата в центъра на Слънцето разширяване, уравновесяващо гравитацията, зависи от ядрените реакции, при които се поглъща водород и се произвежда хелий. Слънцето остава такова, каквото е, само защото с изключително постоянство в продължение на милиарди години *всяка секунда* 600 000 000 000 kg водород се превръщат в 595 800 000 000 kg хелий^[1].

За щастие количеството водород в Слънцето е толкова голямо, че дори при този темп на превръщане не трябва да се страхуваме за нашето близко бъдеще. Слънцето изгаря водород в своята ядрена пещ вече 5 милиарда години и при все това е останало достатъчно за поне още 5–8 милиарда години.

Но дори тези 5–8 милиарда години не са цялата вечност. Какво ще стане, когато се изчерпи водородът?

Дотолкова, доколкото астрономите могат да кажат, изследвайки ядрените реакции и природата на различните звезди, които те виждат, изчерпването на водорода е прелюдия към глобални промени в структурата на звездите.

Когато например Слънцето изразходва водорода в центъра си и натрупа там хелий, ядрото му ще се свие, защото по-тежките хелиеви ядра генерират по-мощно гравитационно поле. Ядрото ще стане по-плътно и по-горещо. Температурата на ядрото ще започне да се покачва рязко и допълнителната топлина ще принуди външните области на Слънцето да се разширят неимоверно.

Въпреки, че тогава общата топлинна енергия на външните области на Слънцето ще бъде значително повече, отколкото е сега, тя ще бъде разпределена върху много по-обширна повърхност. Всеки участък от повърхността ще получава по-малко топлина, отколкото сега, и новата повърхност ще бъде по-студена от сегашната. И ако в момента Слънцето има повърхностна температура 6000°C , то повърхността на разширеното Слънце едра ли ще се нагрее повече от 2500°C . При тази по-ниска температура то ще свети с червена светлина. Това съчетание от огромни размери и рубиново излъчване е дало названието на този стадий от живота на звездите — *червен гигант*. Съществуват звезди, които вече са достигнали стадия „червен гигант“, например Бетелгейзе и Антарес.

Червеният гигант, в който ще се превърне нашето Слънце, ще се разшири достатъчно, за да погълне орбитата на Меркурий и може би дори тази на Венера.^[2] Земята тогава ще бъде напълно необитаема, животът на нашата планета ще стане невъзможен още в самото начало на разширяването на Слънцето. (Може би тогава човечеството, ако все още съществува, ще напусне Земята и ще си потърси нов дом на някоя планета, обикаляща около друга звезда, или на специално построени колонии далеч в космическото пространство.)

Когато Слънцето достигне максималното си разширяване като червен гигант, то вече ще е изгорило и последните остатъци от водорода си. Обаче тогава центърът на Слънцето ще е станал достатъчно горещ (най-малко $100\,000\,000^{\circ}\text{C}$), за да накара атомите на хелия, които са били образувани от водорода през изминалите дотогава еони, да се слоят в по-големи ядра, а те пък от своя страна да се слоят в още по-големи ядра, и така нататък. Накрая ще се образуват ядра на желязото, състоящи се от 26 протона и 30 неутрона.

Енергията, получена в резултат на този процес на последователно уголемяване на ядрата, е само около 6% от енергията, получена преди това в процеса на сливането на водородните ядра.

След образуването на желязото процесите стигат до задънена улица — не може да се получи повече енергия посредством ядрени реакции.

Затова след изразходването на водорода и след достигането на максимално разширяване на червения гигант не му остава повече от един милиард години живот (може би дори значително по-малко) като обект, поддържан от протичането на ядрени реакции.

След като ядрените реакции отслабнат и се прекратят, не остава нищо, което да може да се съпротивлява на насоченото към центъра на звездата неизтощимо привличане на гравитационното поле, създадено от собствената маса на червения гигант. Гравитацията е изчаквала милиарди години, действайки търпеливо и неуморно, докато съпротивата срещу нея не отмре окончателно, и на раздутото Слънце, както и на всеки друг червен гигант, не му остава друг изход, освен да се свие.

Това свиване ни отвежда направо на магистралния път към черните дупки. По този път има две места, където трябва задължително да спрем, за да можем да продължим по-нататък.

Първата спирка по този път започва с разказа за немския астроном Фридрих Вилхелм Бесел (1784–1846). Той бе един от многото, които се опитваха да измерят разстоянията до звездите, и стана един от първите, който успя да направи това.

Звездите имат свое характерно движение (*собствено движение*), но то, разбира се, ни се струва незабележимо поради изключително големите разстояния до тях. (Помислете колко по-бавно изглежда движението на един самолет високо в небето в сравнение с друг, който лети доста по-ниско).

Освен собственото движение ние можем да забележим, че звездите сякаш се движат и поради промяната на ъгъла, под който ги виждаме от Земята, обикаляща по елиптичната си орбита около Слънцето. Тъй като Земята се движи именно по този начин около Слънцето, звездата би трябвало да опише като отражение на това движение една мъничка елипса в небето (при условие, че се избавите от влиянието на собственото ѝ движение и от другите странични ефекти). Колкото звездата е по-далеч, толкова по-малка е елипсата. Ако измерим чрез наблюдения с телескоп ъгловите размери на тази елипса (наречени *паралакс*), ще определим разстоянието до звездата.

През 1838 г. Бесел обявил, че е решил задачата по определянето на разстоянието до една доста слаба звезда, наречена 61 Cygni^[3]. Оказало се, че 61 от Лебед се намира на около 150 трилиона километра от Земята. Дори светлината, която се движи със скорост 299 792,5 километра в секунда, не може да измине това гигантско разстояние бързо. На светлината са ѝ необходими 11 години, за да пропътува от тази звезда до нас. Следователно 61 от Лебед се намира на разстояние *11 светлинни години* от нас.

Бесел продължил да се опитва да определя разстоянието до други звезди и се спрял на звездата Сириус, която по множество причини би трябвало да е по-близка до нас от 61 Лебед. Една от причините е, че Сириус е най-бляскавата звезда на небето и тази яркост може да се дължи на нейната относителна близост.

Бесел нощ след нощ внимателно изучавал положението на Сириус и забелязал начина, по който звездата изключително бавно се движи на фона на другите звезди, следвайки хода на собственото си движение, което е по-голямо от средното за звездите. Той очаквал, че това движение ще доведе до отмествания, които по някакъв начин ще формират елипса в резултат на движението на Земята около Слънцето. Такава елипса наистина имало, но той открил, че върху нея се наслаждава вълнообразно движение, което няма нищо общо с начина, по който Земята се движи около Слънцето.

След внимателен анализ на това загадъчно движение на Сириус Бесел стигнал до извода, че звездата се движи по своя собствена елипса и извършва една обиколка по тази елипса за около 50 години.

Единственото нещо, което може да накара една звезда да се движи по такава елипса, е някакво неизвестно дотогава гравитационно поле. По времето на Бесел, както впрочем и по наше време, не било известно нищо друго, което може да бъде причина за такова движение. Нещо повече, такова гравитационно поле, което е достатъчно силно, за да промени пътя на една звезда и да я накара да опише такава елиптична орбита, която може да се забележи и измери от голямо разстояние, може да бъде породено единствено от достатъчно голяма маса. А такава маса може да има само някаква все още неизвестна звезда.

Бесел не могъл да види нищо в околностите на Сириус, което би могло да послужи като източник на гравитационно поле, но все пак

там трябвало да има такъв източник. В крайна сметка той решил, че някъде на подходящо място там се намира някакво вещество с голяма маса, но това вещество трябва да е скрито в звезда, която не свети, а е тъмна. Това би могло да бъде например гигантска планета с размерите на звезда. От този момент нататък астрономите започнали да говорят за „тъмния спътник“ на Сириус.

Бесел продължил изследванията си и забелязал, че друга една ярка звезда — Процион — също има подобно вълнообразно движение и той направил извода, че тя също трябва да има тъмен спътник. Изглеждало дори, че тъмните спътници са достатъчно разпространени, но този факт се забулвал от невъзможността тези тъмни спътници да се наблюдават директно.

Днес ние бихме се въздържали да направим такова заключение. Сега ние знаем, че всеки обект с маса на звезда *трябва* да запали в недрата си ядрени реакции и да блесне подобно на нашето Слънце. За да има едно небесно тяло маса на звезда и да остане при това несветещо, трябва да се удовлетвори цяла група от условия, които са много различни от тези, характерни за нашето Слънце.

Обаче за Бесел и за неговите съвременници тъмните спътници не са изглеждали никак загадъчни. Според тях звездата може да престане да свети по някакви причини. Тя би могла да изчерпи запасите си от енергия (каквито и да са те, та нали Бесел не е могъл да знае за съществуването на ядрените реакции) и да продължи да се движи в пространството толкова голяма, колкото е била и по-рано и със също такава силно гравитационно поле, каквото е било винаги, но да бъде вече студена и тъмна.

Би ли могъл Бесел да предположи какви странни обекти е открил? Естествено той не е могъл и да подозира за връзката на тези обекти с червените гиганти, тъй като по негово време дори и във фантазията си хората не са могли и да си представят такава връзка.

[1] Недостигащите 4 200 000 000 килограма се превръщат в излъчване, което постоянно изтича навън от Слънцето във всички посоки. ↑

[2] Естествено, ако една звезда е по-голяма от Слънцето, то тя се разширява още повече. Звездата Антарес е толкова голяма, че ако

мислено я поставим на мястото на Слънцето, нейното гигантско кълбо би погълнало орбитите на Меркурий, Венера, Земята и Марс. ↑

[3] Cygnus е латинското название на съзвездието Лебед, а Cygni е родителният падеж от Cygnus. 61 Cygni е астрономическият запис на името на звездата под номер 61 от съзвездието Лебед. — Б.ред. ↑

СВЪРХПЪЛЪТНОСТ

„Тъмнината“ на тъмните спътници изчезнала през 1862 г., благодарение на американския телескопостроител Алвън Греъм Кларк (1832–1897). Той изработил лещов обектив за телескопа, поръчан, от университета в щата Мисисипи точно преди началото на Гражданската война в САЩ. (Войната попречила той да бъде доставен на поръчителя, вместо това телескопът бил отправен в Чикагския университет.)

Когато обективът бил готов, Кларк решил да направи последен тест в условията на реално наблюдение и да се убеди дали той работи добре. По време на теста той го насочил към Сириус и забелязал слаба искрица светлина близо до звездата. На това място върху нито една от звездните карти не било означено нищо.

Отначало Кларк си помислил, че тази искрица се дължи на несъвършенството на обектива и че част от светлината на Сириус по някакъв начин се е отклонила. Обаче по-нататъшните проверки показали, че обективът няма никакви дефекти. Той не могъл да направи нищо, за да премахне тази искрица или да я накара да промени положението си. Нещо повече, това положение като че ли точно съвпадало с мястото, където по това време трябвало да се намира предполагаемият тъмен спътник на Сириус.

Заклчението било, че Кларк видял тъмния спътник. Той бил много слаб, с блясък само 1/10 000 от блясъка на Сириус, но не бил съвсем тъмен. И така, „тъмният“ спътник на Сириус станал „слабият“ спътник на Сириус и сега го знаем като Сириус В, а самият Сириус бил наречен Сириус А. Сириус представлява система от две звезди или *двойна звезда*.

През 1895 година американският астроном от немски произход Джон Мартин Шеберле (1853–1924) открил искрица светлина в близост до друга ярка звезда — Процион. Неговият „тъмен“ спътник бил също такава слаба звезда, която сега наричаме Процион В.

В действителност това по същество не променило много нещата, но означавало, че щом спътниците не са напълно изгаснали звезди, те

са поне отмиращи. Независимо от това, че те не са престанали да светят, те угасват с времето.

Обаче още до момента, когато Шеберле открил слабия спътник на Процион, нещата започнали да се променят.

През 1893 година немският физик Вилхелм Вин (1864–1928) показал, че природата на светлината, която се излъчва от който и да е нагрят обект (било то някаква звезда или пламъците на огъня) зависи от температурата на този обект. Човек може да изследва дължината на светлинните вълни и характера на тъмните линии в спектъра и да стигне до твърдия извод, че светлината се излъчва под влиянието на температурата.

По закона на Вин всяка умираща звезда по пътя си към тъмнината се охлажда и би трябвало да почервенява. Обаче Сириус В и Процион В са слаби, но бели на цвят.

Изследването на спътниците само с невъоръжено око не е достатъчно. Необходим е спектър, за да могат дължините на вълните на тъмните линии в него да бъдат подробно изучени. Това не е толкова лесно, тъй като спътниците са така слаби и близки до ярките си партньори, че те се изгубват в техните лъчи.

Независимо от това през 1915 година американският астроном Уолтър Сидни Адамс (1876–1956) успял да улови светлината от Сириус В в спектроскоп и получил спектър, който можел да бъде изследван. След като този спектър бил изучен, вече нямало съмнение, че Сириус В *не е* умираща звезда. Тя е гореща почти колкото Сириус А и значително повече от нашето Слънце.

Сириус А има повърхностна температура $10\,000^{\circ}\text{C}$, а Сириус В — 8000°C . Съответната температура на повърхността на Слънцето е само 6000°C .

От температурата на Сириус А можем да узнаем колко ярка трябва да бъде всяка единица площ от нейната повърхност — тя е 4 пъти по-ярка от съответната единица площ на Слънцето. От видимия от Земята блясък и от разстоянието до Сириус, — което е 8,8 светлинни години, ние можем да узнаем също колко ярка трябва да бъде цялата повърхност на звездата. Можем да пресметнем, че Сириус А трябва да излъчва 35 пъти повече светлина от Слънцето. За да генерира толкова много светлина (знаейки колко излъчва всяка

единица площ от повърхността ѝ), Сириус А трябва да е около 1,8 пъти по-голяма от Слънцето или да има диаметър 2 500 000 km.

(С идването на новия век астрономите започнаха да осъзнават, че Слънцето, царувало до този момент като най-славното небесно тяло, от чиято енергия зависят всички живи същества на Земята, в крайна сметка е една средна звездна и нищо повече. Сириус А е двойно по-голяма от Слънцето, почти два пъти по-гореща от него и над 30 пъти по-ярка. Но ние не трябва да се чувстваме онеправдани. Ако Сириус А замести Слънцето на нашето небе, ще ни залее наистина ослепителна светлина — дори прекалено — и тогава земните океани ще се изпарят, а Земята не след дълго ще се превърне в мъртъв свят.)

Загадката обаче се крие в Сириус В. При неговата повърхностна температура всяка единица площ от повърхността му трябва да отдава по-малко светлина от единица площ на Сириус А. За да обясним тогава защо Сириус В е толкова слаб в сравнение със Сириус А, трябва да направим извода, че Сириус В има по-малка — и то много по-малка излъчваща повърхност. При температурата на Сириус В е необходима повърхност, която е само $1/2800$ от тази на Сириус А.

При такава повърхност диаметърът на Сириус В трябва да е само $1/53$ от този на Сириус А, т.е. само 47 000 km. Ако това е така, тогава Сириус В има размерите на планета, тъй като това грубо съответствува на размерите на Уран или Нептун. Неговият диаметър е само около $1/3$ от диаметъра на Юпитер и обемът му е само около $1/30$ от този на Юпитер. Фактически диаметърът на Сириус В е само 3,7 пъти по-голям от земния.

Откритието на Адамс означавало, че Сириус В е звезда от съвършено нов клас — нагорещена до бяло звезда, но с големина на джудже в сравнение с обикновените звезди като Слънцето. Сириус В е бяло джудже, а съвсем скоро се оказало, че и Процион В е също такава джудже.

Ако не само размерите, но и масата на Сириус В беше като тази на планетите, той не би могъл да продължава да свети и да бъде толкова горещ. Обекти с размерите и масата на Уран или Нептун просто нямат такава залягане в недрата си, което да е в състояние да възбуди огъня на ядрените реакции.

Че масата на Сириус В не е като планетните маси, няма съмнение независимо от неговите размери. Не е възможно толкова

голяма звезда като Сириус А да се отклонява от праволинейното си движение, ако Сириус В няма звездopodobна маса — в противен случай нямаше да съществува такова отклонение.

От разстоянието, което ни дели от Сириус А и Сириус В, и от видимото им разделяне на небето можем точно да изчислим какво е истинското разстояние между тях. Сириус А и Сириус В са отдалечени на около 3 000 000 000 km един от друг, така че средното разстояние между тях е малко по-голямо от разстоянието между Уран и нашето Слънце. Но докато на Уран са необходими 84 години, за да обиколи Слънцето, то на Сириус В му трябва само 50 години, за да се завърти около Сириус А.

От това може да се пресметне, че интензитетът на гравитационните полета на Сириус А и Сириус В е 3,4 пъти по-голям от този на Слънцето и Уран. Това означава, че Сириус А и Сириус В, взети заедно, имат 3,4 пъти по-голяма маса от сумарната маса на Слънцето и Уран (или само на Слънцето, понеже приносът на Уран в общата маса е толкова малък, че може да се пренебрегне).

В действителност Сириус В не се върти около Сириус А. Двете звезди обикалят около общия гравитационен център на системата. Бихме могли да си ги представим като двата края на гира, свързани с дървена пръчка, които се въртят бързо около някакъв общ център. Ако двете топки в краищата на гирата имат една и съща маса, гравитационният център ще бъде точно в средата между тях. Ако едната има по-голяма маса от другата, този център ще бъде по-близо до по-голямата маса, като отношението на разстоянията между топките и гравитационния център съответствува на отношението между масите на топките.

Що се отнася до Слънцето и неговите планети, то неговата маса е толкова голяма в сравнение със сумарната маса на всички планети, че общият гравитационен център е много близо до геометричния център на Слънцето и ние практически не грешим, когато казваме, че планетите се въртят около Слънцето. Същото може да се каже и за Луната и нейното въртене около Земята, понеже Земята е 81,3 пъти по-масивна от Луната и общият център на системата Земя — Луна е 81,3 пъти по-близо до Земята. Всичко това може да се каже и за която и да е друга система „планета — спътник“ от слънчевото семейство.^[1]

Обаче в системата Сириус А — Сириус В масата е разпределена повече или по-малко еднакво, така че общият им гравитационен център е разположен в пространството между тях. И двете звезди обикалят около този център — следователно и двете променят значително своето положение при движението си. (Ако това не беше така, то Бесел не би забелязал отчетливото вълнообразно движение на Сириус по небето.)

Положението на общия гравитационен център на Сириус А и Сириус В може да се определи от техните орбити. От това положение се оказва, че масата на Сириус А е 2,5 пъти по-голяма от тази на Сириус В. След като общата им маса е 3,4 пъти по-голяма от слънчевата, то Сириус А — тази най-великолепна звезда на нашето небе — е 2,4 пъти по-масивна от нашето Слънце, а Сириус В — тази едва забележима искрица — има маса почти колкото на Слънцето.^[2]

Това, че Сириус А е 2,4 пъти по-масивен от Слънцето, не предизвиква изненада — та той е по-голям, по-горещ и по-ярък от него. Обаче свойствата на Сириус В са удивителни. При размери като на Уран или Нептун масата му е почти равна на слънчевата.

Всичко това означава, че Сириус В трябва да има много голяма плътност. Неговата *средна* плътност трябва да е някъде около 35 000 g/cm³, което е 3000 пъти повече от плътността на веществото, образуващо земното ядро, и 350 пъти повече от плътността на веществото в ядрото на Слънцето.

По времето, когато Адамс определил размерите на Сириус В, това изглеждало действително потресаващо, понеже такива плътности били смятани за невъзможни. Но четири години преди откритието на Адамс Ръдърфорд създаде теорията си за строежа на атома и показал, че голямата част от масата му е съсредоточена в неговото извънредно малко ядро. Учените веднага се възползували от новото знание, но мисълта за това, че разрушените атоми могат да се свиват много повече, отколкото това е възможно при атомите в свързано състояние, е била трудна за възприемане. Затова имало доста скептицизъм по въпроса, възможно ли е да съществуват такива бели джуджета.

[1] Това наистина може да се каже за всички системи „планета-спътник“ в нашата Слънчева система с изключение обаче на една — двойката, образувана от Плутон и неговия спътник Харон. — Б.ред. ↑

[2] Масите на Сириус А и Сириус В са съответно 2,14 и 1,05 слънчеви маси. Приведените от автора стойности не отговарят на действителността. — Б.ред. ↑

АЙНЩАЙНОВОТО ЧЕРВЕНО ОТМЕСТВАНЕ

Обаче скоро след откритието на Адамс възникнал и друг начин за разглеждане, на този въпрос, но вече от съвсем друга гледна точка.

През 1915 г. швейцарският физик от немски произход Алберт Айнщайн (1879–1955) публикувал своята обща теория на относителността, която представлявала нов възглед за Вселената като цяло. Според тази нова теория трябвало да съществуват някои явления, които могат да се наблюдават, но които не биха могли да съществуват, ако старите възгледи се окажеха правилни. Например, когато светлината е излъчена от тяло с голяма маса, силното гравитационно поле на тялото според общата теория на относителността трябва да окаже въздействие върху светлината.

Айнщайн, позовавайки се на работата на немския учен Макс Карл Ернст Лудвиг Планк (1858–1947) от 1900 г., показал, че светлината трябва да се разглежда не само като вълни, но като вълни, събрани в пакети, които в някои случаи се държат като частици. Тези светлинни частици се наричат *фотони* от гръцката дума, която означава „светлина“.

Когато са в покой, фотоните имат маса, равна на нула — в този случай те не са източник на гравитационно поле, нито пък могат да реагират по познатия ни начин. Обаче фотоните никога не се намират в покой, те винаги се движат със скорост (във вакуум) $299\,792,5\text{ km/s}$. (Така се държат и всички останали частици, които нямат маса.) Когато се движат с такава скорост, фотоните притежават определена енергия — действието на гравитационното поле не може да измени скоростта на фотоните във вакуум (нищо не може да я промени), но това действие може да промени посоката на движение на светлината и да намали енергията ѝ.

Такова отместване на светлината било забелязано през 1919 г. На 29 май същата година имало пълно слънчево затъмнение, което можело да се наблюдава на о. Принсипи близо до бреговете на Африка. В близост до затъмненото Слънце обикновено могат да се видят някои по-ярки звезди, чиито лъчи сякаш се плъзгат покрай Слънцето. Според

теорията на Айнщайн тази светлина, преминавайки покрай Слънцето, трябва да се отклони съвсем малко към него — затова самите звезди сякаш слабо се приближават към слънчевия диск в сравнение с обичайното си положение. Видимите положения на близките до Слънцето звезди били измерени много внимателно първо по време на затъмнението и за втори път половин година след това, когато Слънцето било вече на противоположната страна на небето и не могло да окаже никакво влияние върху светлината на тези звезди. Оказало се, че светлината има поведение, каквото предсказвала теорията на Айнщайн, и това послужило като потвърждение на общата теория на относителността.

Естествено астрономите били нетърпеливи да направят още проверки на теорията. Например как светлината губи енергия в гравитационното поле? Светлината, която напуска Слънцето, трябва да губи енергия под влияние на неговата гравитация. Ако фотоните бяха обикновени частици, които имат маса, тяхната скорост би трябвало да се намали при отдалечаването им от слънчевата повърхност. Но тъй като фотоните имат маса на покой нула, такова нещо не се случва, а вместо това всеки фотон ще губи малко от своята енергия.

Тази загуба на енергия би трябвало да се детектира в слънчевия спектър. Колкото по-голяма е дължината на вълната на даден фотон, толкова неговата енергия е по-малка. В спектъра, където светлината е подредена по дължини на вълните от виолетовия (с най-малка дължина на вълната) до червения цвят (с най-голяма дължина), съществува плавен преход от високата енергия на виолетовото до ниската енергия на червеното.

Ако слънчевата светлина губи енергия под действието на гравитацията, то всяка част от нея с дадена дължина на вълната ще се отмести към червения участък на спектъра. Такова *червено отместване* би могло да се детектира по тъмните линии в слънчевия спектър, като се сравнят техните положения със същите линии в спектрите на обекти, намиращи се в слабо гравитационно поле — например със спектрите на нагорещени обекти в някоя земна лаборатория.

За съжаление няма смисъл да се търси такова айнщайново червено отместване в слънчевия спектър, тъй като този ефект там е

минимален и дори мощното гравитационно поле на Слънцето не може да генерира измерим ефект.

Тогава Едингтън (който пръв разработил теорията за вътрешния строеж на Слънцето и бил голям пропагандатор на теорията на относителността) съобразил, че ако Сириус В при своя малък размер е и наистина много масивен, то това би могло да даде търсения отговор. Всъщност върху светлината влияе не толкова пълното гравитационно привличане на звездата, колкото силата на гравитацията при нейната излъчваща повърхност, откъдето светлината прави началния си скок в космическото пространство.

Така интензитетът на гравитационното поле на Слънцето е 333 500 пъти по-голям от земния, но повърхността на Слънцето е толкова далеч от центъра му: че повърхностната гравитация там е само 28 пъти по-голяма от тази при повърхността на Земята.

А какво можем да кажем за Сириус В? Тя има масата на Слънцето, концентрирана в обект с размерите на Уран. Има и същата гравитационна сила като слънчевата, но ако стъпите на повърхността ѝ (естествено, само въображаемо), ще бъдете много по-близо до нейния център, отколкото ако направите същото на повърхността на Слънцето.

Затова повърхностната гравитация на Сириус В е около 840 пъти по-голяма от слънчевата и 23 500 пъти по-голяма от земната. Айнщайновото червено отместване би трябвало да е много по-силно изразено в спектъра на Сириус В, отколкото в слънчевия.

Едингтън предложил на Адамс, който бил експерт по Сириус В, да изследва отново нейния спектър и да се опита да детектира такова червено отместване. През 1925 година Адамс направил такъв опит и установил, че *наистина* съществува точно такова червено отместване, каквото предсказва теорията на Айнщайн.

Всичко това дава не само още едно неоспоримо потвърждение на общата теория на относителността. След като теорията е вярна, това е и силно доказателство, че Сириус В наистина е толкова масивен и толкова компактен, колкото Адамс твърдеше. Само в този случай той би имал достатъчно голяма повърхностна гравитация, за да генерира наблюдаваното червено отместване.

Така през 1925 година учените установили съществуването на бели джуджета. Тогава отпаднали и последните съмнения.

Огромното привличане на повърхността на Сириус В предполага и огромна скорост на избягване. Ако от повърхността на Земята се изстреля ракета без друг източник на енергия освен първоначалния тласък, тя трябва да има скорост поне 11,25 km/s, за да напусне завинаги Земята. От повърхността на Слънцето тази скорост трябва да е 617 km/s, а от повърхността на Сириус В — около 3300 km/s.

Дори 11,25 km/s е голяма скорост по стандартите на Земята. Така че скорост 3300 km/s е направо огромна — това е 1/90 от скоростта на светлината.

ОБРАЗУВАНЕ НА БЕЛИТЕ ДЖУДЖЕТА

Сега нека погледнем отново какво ще стане, когато нашето Слънце достигне стадия на червен гигант и изразходва цялата ядрена енергия в недрата си. Гравитационното привличане, на което до този момент се е противопоставял разширяващият ефект на топлината, ще започне да свива Слънцето (както това става сега при други звезди, достигнали вече този стадий) до някакво състояние, когато на гравитацията ще започне да се противопоставя нещо друго вместо топлината.

Когато Слънцето се свива, то става все по-плътно, докато не достигне състояние, в което свързаните атоми се допират едни други, както е например при планетите като Земята и Юпитер. Но голямата маса на звездното вещество генерира достатъчно силно гравитационно поле, което може да разруши тези намиращи се в свързано състояние атоми. Така че при звездите свиването продължава. И ако процесът въобще достига до някакво уравновесяване, то се дължи на субатомните частици, изграждащи самите атоми.

Какво представляват тези субатомни частици и по какъв начин те се променят със стареенето на Слънцето (или на всяка друга звезда)?

В началото Слънцето (или всяка друга звезда) е изградено предимно от водород. Водородът се състои от ядро, в което се съдържа само един протон с единичен положителен заряд, уравновесен от един обикалящ около ядрото електрон с единичен отрицателен заряд, който представлява останалата част на атома.

Със стареенето на Слънцето водородът малко по малко се изчерпва, понеже всеки четири водородни ядра се сливат и образуват едно хелиево ядро. Тъй като хелиевото ядро е съставено от два протона и два неутрона (които са електрически неутрални), ние можем да кажем, че когато целият водород се изразходва, половината от протоните в звездата ще са се превърнали в неутрони. Когато звездата се превърне в червен гигант, хелиевите ядра продължават да участвуват в други реакции на термоядрен синтез и накрая се превръщат в ядра на желязото. При този процес в неутрони се

превръщат и други протони, и в крайна сметка накрая звездата представлява смес от протони и неутрони в съотношение 45 към 55.

Какво става междувременно с електроните?

Всеки път, когато положително зареденият протон се превръща в електрически неутрален неутрон, нещо трябва да става с положителния заряд. Зарядът не може да се превърне в нищо. Той се изхвърля от новосинтезираното ядро заедно с минимално количество маса. Това малко количество маса е достатъчно, за да генерира частица като електрона, само че с положителен заряд. Този положително зареден електрон се нарича *позитрон*. От всеки четири протона, слели се в едно хелиево ядро, се образуват два позитрона.

Веднъж образувани, позитроните задължително се сблъскват с електроните, които в неизброимо количество присъствуват в Слънцето (както и в състава на цялата обикновена материя). Положителният електричен заряд не може да изчезне сам по себе си, не може да изчезне и отрицателният заряд, но двата могат да се унищожат взаимно, ако се срещнат. Когато един позитрон и един електрон се сблъскат, тогава се получава *взаимна аниhilация* на заряда и масата, които се превръщат във високоенергетични фотони, наречени *гамма-лъчи*, непритежаващи нито заряд, нито маса.

За времето на живот на Слънцето като нормална звезда около половината от неговите електрони ще се разрушат по описания начин. Останалата половина е достатъчна, за да уравни заряда на половината от протоните, които са се запазили като такива.

При превръщането на протоните в неутрони и при взаимната аниhilация на електроните и позитроните се губи значително количество маса. Тя се превръща в това огромно количество радиация, което Слънцето излъчва за времето на целия му живот, докато то работи като водороден термоядрен реактор. Маса се губи и по още една причина, понеже Слънцето постоянно изпуска поток от протони във всички посоки. Това е така нареченият *слънчев вятър*.

Цялата тази загуба представлява само малка част от масата на Слънцето. По времето, когато Слънцето (или някоя друга единична звезда) приключи своя стадий на червен гигант и стане готово за ново свиване, то е запазило 98% от първоначалната си маса. Именно тази маса сега започва да се свива.

Електроните, протоните и неутроните притежават и вълнови свойства, и свойства на частици. Колкото по-голяма е масата на частицата, толкова по-къси са нейните вълни, толкова по-силно се изразяват свойствата ѝ на частица. Колкото по-малка е масата ѝ, толкова по-дълги са свързаните с нея вълни и вълновите ѝ свойства са по-силно изразени.

Протоните имат много по-голяма маса от електроните — те са 1836 пъти по-масивни. Неутроните от своя страна са 1838 пъти по-масивни от електроните. Протоните и неутроните са частици с изключително малки размери и се асоциират с много къси вълни. Електроните се асоциират със сравнително дълги вълни и следователно заемат много по-голямо пространство от протоните и неутроните.

При колапса на една звезда след преминаване на границата, при която атомите се разрушават, сравнително големите електрони са първите, които, така да се каже, започват да се допират помежду си.

Допрените един до друг електрони са много по-компактни, отколкото когато влизат в състава на атомите. Така например Сириус В и Слънцето имат почти еднакви маси, но Сириус В заема обем само 1/27 000 от обема на Слънцето. (Това различие в обемите наподобява разликата между пространството, което заемат стотици наредени плътно едно до друго топчета за тенис на маса, и пространството, което биха заели същите тези топчета, ако бъдат смачкани и раздробени на отделни пластмасови парчета.)

Дори след като електроните са се допрели помежду си, по-малките (но с по-голяма маса) протони, неутроните и образуванията от тях атомни ядра, все още намират достатъчно място, за да се движат. Тези ядра са разположени много по-компактно, отколкото когато влизат в състава на атомите, но те все още разполагат с достатъчно място, понеже разстоянията между тях са много големи в сравнение със собствените им размери.

Що се отнася до атомните ядра, бялото джудже с плътността, която има, все още в по-голямата си част представлява „кухо“ пространство. Например в Сириус В, който може да се смята за електронен флуид, атомните ядра заемат само 1/4 000 000 000 от неговия обем. Следователно атомните ядра в белите джуджета имат поведение на обикновен газ.

Естествено веществото на бялото джудже няма еднакви свойства навсякъде. Това се отнася и за другите масивни обекти. Ако си представим, че се движим от повърхността към центъра, ще видим как налягането се увеличава.

Бялото джудже има почти нормална обвивка — това е най-външният му слой, в който атомите са в свързано състояние и се притеглят силно от интензивната повърхностна гравитация, но не чувствуват теглото на слоевете над тях, понеже такива няма. В тази „атмосфера“ на бялото джудже могат да съществуват голям брой атоми от различни видове, дори и малко водород, който е избягнал участие в термоядрения синтез по време на целия живот на звездата, понеже никога не е бил част от звездните недра. Атмосферата има дебелина само няколко десетина метра.

Ако си представим, че навлизаме навътре във веществото на белите джуджета, ще видим, че атомите от атмосферата постепенно се разпадат на електрони и ядра, като и едните, и другите се движат свободно. Там продължават да протичат известен брой ядрени реакции до пълното изчерпване на водорода. Ако продължим да се спускаме надолу, ще видим, че идва момент, когато електроните се допират помежду си и започнат да се съпротивляват на по-нататъшното гравитационно свиване. Колкото повече са свити те, толкова по-силна е съпротивата им срещу гравитацията и точно тази съпротива е спряла по-нататъшното свиване на звездата до стадия на бяло джудже.

Веществото в недрата на бялото джудже има значително по-голяма плътност от средната плътност на цялата звезда. Плътността в центъра достига $100\,000\,000\text{ g/cm}^3$.

След образуването си бялото джудже, разбира се, е много нагорещено, понеже кинетичната енергия на свиването се е превърнала в топлина. Новообразуваното бяло джудже има температура на повърхността над $100\,000^\circ\text{C}$.

Тъй като бялото джудже излъчва топлина в околното пространство, пълната му енергия трябва да намалява. Една много малка част от енергетичните загуби ще бъде компенсирана от ядрени реакции, които протичат в нормалното вещество, изграждащо горните му слоеве. Постепенно бялото джудже се охлажда. Известни са стари бели джуджета с повърхностни температури не повече от 5000°C .

Тази загуба на топлина не оказва голямо влияние върху структурата на бялото джудже. Обикновените звезди ще колапсират, ако загубят топлината си, понеже това, което се съпротивлява на гравитационното свиване, е родената в техните недра топлина. Бялото джудже се съпротивлява на гравитационното привличане чрез насочено навън налягане на своите уплътнени електрони, което не зависи от температурата. Електроните се противопоставят на по-нататъшно свиване еднакво ефективно както когато са студени, така и когато са горещи.

Тогава, както може да се предположи, загубата на топлина ще продължи, без това да доведе до значителни промени в структурата на бялото джудже, докато накрая то не изстине и не престане да свети. То се превръща в *черно джудже* и ще продължи да се охлажда по-нататък с еоните, докато неговата енергия не спадне дотолкова, че да се изравни със средната енергия на цялата Вселена — няколко градуса над абсолютната нула.

Това е много бавен процес — продължителността на живота на цялата Вселена от създаването и до днес няма да стигне, за да може което и да е бяло джудже да изчерпи напълно енергията си. Всички образувани досега бели джуджета днес все още светят, но като мине достатъчно време, те ще изгаснат.

Дотук в тази книга ние разглеждахме два вида вечни обекти — т.е. обекти, които могат да се съпротивляват на гравитационното привличане неопределено дълго време. Едни от тях са обектите от планетен тип, които поради малката си маса никога не могат да запалят ядрен огън, а гравитационният им натиск е уравновесен завинаги от силата на налягането на атомите в техните недра.

Има (или ще има някой ден) и черни джуджета, които са били достатъчно масивни и са запазили някога ядрен огън, но с времето те са изгорели. При тях гравитационният натиск е уравновесен завинаги от насочената навън сила на налягане на уплътнените електрони.

Всички обекти, които виждаме на небето извън нашата слънчева система, както и самото Слънце, *не са* вечни обекти. Обикновените звезди, които виждаме, са временни структури, които горят по пътя си към стадия на черно джудже (или, както ще видим, по пътя към други още по-странни обекти).

Ние също виждаме в междузвездното пространство облаци от прах и газ, но под действието на собственото им гравитационно поле по-голямата част от тези облаци ще кондензират евентуално до образуването на звезди, а след това също ще тръгнат по пътя към черните джуджета. Някои от облаците ще кондензират до тела с извънредно малка маса и няма да могат да запалят ядрени реакции — тогава те ще се превърнат в *планетни тела*. Ако някои от облаците избягнат кондензацията и се разсеят, присъединявайки се към малките количества обикновени атоми, молекули и частици прах, които запълват пространството между звездите и галактиките, то тогава те биха могли да се разглеждат като отделни свръхмалки планетни тела.

И така, планетните тела и черните джуджета са единствените два класа вечни обекти във Вселената и в тази книга ние вече ги разгледахме.

Наблюдават се няколкостотин бели джуджета, но това не е никак много, като се има предвид, че звездите по небето са милиарди и милиарди. Припомнете си обаче, че белите джуджета светят слабо поради малките си размери. Тяхната яркост е само $1/1000 \div 1/10\ 000$ от тази на обикновените средни звезди и следователно можем да ги видим само ако се намират много близо до нас.

Ние виждаме толкова малко бели джуджета, защото на разстоянията, при които нормалните звезди изглеждат достатъчно бляскави и могат да се наблюдават и изучават, белите джуджета изглеждат много слаби и не могат да се разпознават, а понякога дори не могат и да се видят. Единственият начин тогава, по който действително бихме могли да съдим за броя на белите джуджета, е да изследваме непосредствените околности на Слънцето.

В пространството с радиус 35 светлинни години около Слънцето съществуват около 300 звезди. От тях 8 са бели джуджета. Ако приемем, че това е обичайното съотношение (ние нямаме причина да мислим, че това не е така), тогава бихме могли да кажем, че между 2% и 3% от всички звезди са бели джуджета. Само в нашата Галактика вероятно съществуват около 4 милиарда бели джуджета.

5.
ВЗРИВЯВАЩАТА СЕ МАТЕРИЯ

ГОЛЕМИЯТ ВЗРИВ

Наистина защо съществуват толкова много бели джуджета? Защо само в нашата Галактика те са 4 милиарда?

В крайна сметка звездата не става бяло джудже, докато не изразходва изцяло ядреното си гориво, а нашето Слънце например все още има достатъчно от него, за да му стигне за още милиарди години. Това се отнася и за неизброимите 135 милиарда звезди, които влизат в състава на нашата Галактика. Защо тогава 4 милиарда от тези звезди са изчерпали горивото си, разширили са се и после са колапсирали?

Нека да погледнем нещата от друга страна. Защо белите джуджета са толкова малко? Ако няколко милиарда звезди са изчерпали ядреното си гориво и са колапсирали, защо това не са направили всички останали звезди?

За да си отговорим на тези въпроси, ние преди всичко трябва да знаем каква е възрастта на Вселената и оттам преди колко години са се образували звездите. Ние трябва да имаме представа колко време са протичали ядрените реакции и колко време те още ще протичат.

Но как е възможно да определим възрастта на Вселената?

Доста неочаквано отговорът дойде от изследванията на звездните спектри.

От спектрите на звездите можем да определим дали дадена звезда се приближава до нас или се отдалечава и с каква скорост става това. Ако спектралните линии се отместват към червения край на спектъра, това означава, че звездата се отдалечава от нас, а когато спектралните линии се отместват към виолетовия край — звездата се приближава.

Разбира се, бихме могли да се запитаме дали червеното отместване е предизвикано от отдалечаването на звездата или от действието на гравитацията, описано в предишната глава. Отговорът е, че повечето звезди нямат необходимата плътност, за да породят забележимо гравитационно червено отместване. Следователно можем да приемем, че всяко наблюдавано червено отместване се дължи на отдалечаване от нас.

Естествено е някои звезди да се отдалечават от нас, а други да се приближават, така че червените и виолетовите отмествания се срещат почти поравно.

От 1912 г. астрономите започнаха да изследват спектрите на галактиките (огромни отдалечени струпвания на милиони, милиарди или дори трилиони звезди, подобни на нашия Млечен път), които се намират извън нашата Галактика. През 1917 година се изясни, че всички галактики, с изключение на двете най-близки до нас, показват в спектрите си червено отместване и следователно се отдалечават от нас. Освен това тези червени отмествания са по-големи от тези на звездите в нашата Галактика.

След изучаването на спектрите на все повече и повече галактики стана ясно, че *всички* галактики (освен двете най-близки) имат червено отместване и то постоянно нараства с разстоянието.

Като взел под внимание всичко това, американският астроном Едуин Пауъл Хъбл (1899–1953) открил през 1929 г. това, което сега наричаме закон на Хъбл. Според този закон скоростта, с която дадена галактика се отдалечава от нас, е директно свързана с разстоянието до нея. Това означава, че ако галактиката А се отдалечава от нас със скорост 5,6 пъти по-голяма от скоростта на галактика В, то тогава галактиката А е 5,6 пъти по-отдалечена от нас от галактиката В.

Не е лесно да се определи темпът на увеличаване на скоростта на отдалечаващата се галактика с разстоянието. Отначало астрономите смятали, че скоростта нараства доста бързо, но по-новите данни показаха, че това увеличаване е много по-малко от първоначално предвижданото. Сега според пресмятанията на астрономите скоростта на отдалечаване достига 16 километра в секунда за всеки милион светлинни години разстояние. Например галактика, която се намира на 10 000 000 светлинни години, се отдалечава със скорост 160 km/s, друга галактика, която е на 20 000 000 светлинни години — със скорост 320 km/s, а трета галактика — на 50 000 000 светлинни години — с 800 km/s и т.н.

Но защо това е така? Защо трябва всички галактики да се отдалечават от нас и защо скоростта им на отдалечаване е пропорционална на разстоянието им до нас? Какво ни прави център на Вселената?

Ние не сме център!

През 1917 г. холандският астроном Вилем де Ситер (1872–1934) показал на базата на уравненията на общата теория на относителността, че от теоретична гледна точка Вселената трябва да се разширява. Естествено отделните галактики и куповете от галактики, в които влизат от дузина до няколко хиляди галактики, се управляват от гравитационното привличане. Но някои отделни галактики (или купове от галактики), които са отдалечени от съседите си на достатъчно големи разстояния и гравитацията не им оказва силно влияние, носят белега на общото разширяване на Вселената. Това означава, че всяка отделна галактика се движи, отдалечавайки се от всички други галактики с постоянна скорост.

От гледна точка на която и да е галактика би изглеждало, че всички други галактики (освен онези, които са членове на нейния куп, ако има такъв) се разбягват от нея. Нещо повече, постоянната скорост на разширяване зависи само от разстоянието, така че до закона на Хъбл ще достигнем без значение в коя галактика живеем.

Ако галактиките се разбягват все по-далеч една от друга и с времето Вселената става все по-стара, тогава като погледнем назад във времето (все едно да гледаме един филм отзад напред), ще видим как галактиките се приближават все повече една към друга. Вселената ще става все по-компактна, с други думи — по-млада. И ако се върнем далеч назад във времето, ще видим как всички галактики се концентрират в една огромна маса вещество.

През 1927 година белгийският астроном Жорж Льомер (1894–1966) изказал предположението, че всичко това е наистина така — че преди милиарди години цялото вещество на Вселената било локализирано на едно място и образувало структура, която той нарекъл *първичен атом*. Други я нарекли *космическо яйце*.

Колко дълго е просъществувало космическото яйце и как се е образувало, Льомер не се осмелил да предположи, но в един момент то трябва да се е взривило. Това е била най-голямата експлозия, която Вселената въобще е изпитала. Това е взривът, създал Вселената такава, каквата я знаем. Американският физик от руски произход Джордж Гамов (1904–1968) го нарекъл *Големият взрив*.

От големите разлитащи се фрагменти на космическото яйце се образували звездите и галактиките и поради все още чувстващата се сила на Големия взрив, насочена навън, Вселената се разширява дори и

днес. През последните 50 години от нашия век бяха натрупани все повече доказателства за Големия взрив и днес всички астрономи приемат, че началото на Вселената е било именно такава.

Обаче възниква големият въпрос — кога е станал този Голям взрив. Астрономите знаят (или мислят, че знаят) точно с каква скорост се разширява сега Вселената. Ако се приеме, че тя винаги е била една и съща и ще се запази такава, то като погледнем напред във времето, Вселената ще продължи да се разширява винаги, галактиките ще се раздалечат все повече и повече. Най-накрая астрономът, който наблюдава Вселената от Земята, ще вижда само нашата Галактика и онези галактики, които образуват една част от нашия локален куп от галактики (наречен Местна група). Всичко друго ще бъде твърде далеч, за да се наблюдава.

От друга страна, ако обърнем поглед назад във времето и приемем, че Вселената постепенно ще се свива с постоянна скорост, то тя ще достигне състоянието на първичния атом за 20 милиарда години.

Обаче отделните галактики си взаимодействуват гравитационно. Това може и да не е достатъчно, за да спре разширението, но е достатъчно, за да го забави. Тогава в бъдеще скоростта на разширяване ще става все по-малка и по-малка и ще мине повече време, отколкото досега предполагахме, преди всички далечни галактики извън Местната група да изчезнат от погледа ни. Също така това означава, че в миналото, когато галактиките са били по-близо една до друга, гравитационното привличане между тях е било по-голямо. Следователно изтеклото време от космическото яйце или Големия взрив трябва да е било по-малко от 20 милиарда години.

Ние не можем да сме сигурни в каква степен гравитационните сили във Вселената забавят темпа на разширяването. Всичко зависи от това, какво количество вещество има (средно) в единица обем от космическото пространство — с други думи, каква е средната плътност на материята във Вселената.

Ако плътността е достатъчно голяма, то тогава и ефектът на забавяне ще бъде достатъчен, за да сведе темпа на разширяване евентуално до нула. Разширяването на Вселената евентуално ще спре. Щом веднъж това се случи, Вселената под действието на собствената си гравитация ще започне да се свива — отначало много бавно, след това все по-бързо и по-бързо до образуването на ново космическо

яйце, което отново ще се взриви. Това може да се случва многократно и такава Вселена ние наричаме *пулсираща Вселена*. Американският астроном Алън Рекс Съндидж (1928) изказал твърдението, че космическото яйце се образува и взривява всеки 80 милиарда години.

Ако плътността на материята във Вселената е достатъчно голяма, за да спре разширението на галактиките (тази плътност трябва да е $6 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3$, или около един протон и един неутрон на всеки 350 000 кубически сантиметра пространство), то Големият взрив вероятно е станал преди около 13,3 милиарда години.

В действителност астрономите все още не са напълно сигурни каква точно е средната плътност на веществото във Вселената, затова ние не можем да знаем кога всъщност е станал Големият взрив и дали Вселената е пулсираща или не.

Днес общото мнение е, че средната плътност на веществото не е достатъчно голяма, за да пулсира Вселената, затова Големият взрив трябва да е станал в интервала преди $13,3 \div 20$ милиарда години.

В тази книга ще направим разумното предположение (имаме допълнителни доказателства за това), че възрастта на Вселената е 15 милиарда години.

Ако Вселената има такава възраст, това означава, че и звездите не могат да бъдат по-стари.

Но те биха могли да бъдат по-млади. Слънцето например трябва да има възраст, по-малка от тази, защото в противен случай то би изразходвало вече ядреното си гориво, би се разширило до червен гигант и би колапсирало до бяло джудже.

Възможно ли е белите джуджета да са останки на много стари звезди, които са светили от момента на сътворението на Вселената, а звездите, които все още светят чрез ядрени реакции, да са се образували доста по-късно и да са доста по-млади?

Във всичкото това има нещо вярно, но то далеч не изчерпва пълния отговор. След Големия взрив трябва да са се образували много звезди и ако те всички бяха достигнали стадия на бяло джудже, то в нашата Галактика би имало много повече бели джуджета, отколкото са в действителност. Тогава да разгледаме отново Сириус А и Сириус В. Изглежда логично да предположим, че тази двойка звезди се е образувала по едно и също време (точно както сравнително

едновременно са се образували Слънцето и планетите), но ето че едната е бяло джудже, а другата — не.

Възможно ли е възрастта да не е единственият фактор, който е от значение? Не изгарят ли някои звезди по-бавно ядреното си гориво в сравнение с другите? Или някои звезди имат повече гориво от другите в началния си стадий? Дали на някои звезди просто не им трябва повече време, за да стигнат до стадия на колапс?

Отговорът на тези въпроси дойде също от изследването на спектрите.

ГЛАВНАТА ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТ

Нека започнем с това, че една звезда се ражда от облак прах и газ, който се върти бавно и който под действието на собствената си гравитация бавно се кондензира. След като този газово-прахов облак (разпилян в пространството след Големия взрив) започне да се кондензира, гравитационното привличане става все по-интензивно и процесът на свиване се ускорява.

При кондензацията на облака температурата и налягането в центъра му нарастват и накрая достигат до такива стойности, че атомите там се разрушават и започват ядрени реакции. Звездата се ражда в момента, в който се запалва ядреният огън.

Времето на кондензация не е много дълго в сравнение с целия живот на звездата, който трае милиарди години. Колкото по-голям и по-масивен е бил облакът в началото, толкова по-силно е гравитационното привличане и кондензирането става по-бързо. На звезда с масата на Слънцето ще са необходими 30 милиона години, за да запали ядрения си огън, а на звезда с 10 пъти по-голяма маса й трябва само 10 000 години. От друга страна — на звезда с маса само 1/10 от слънчевата ще са й необходими 100 милиона години, за да се превърне в звезда.

Естествено звездите, които виждаме на небето, вече са достигнали до стадия на ядрено горене. Те продължават да излъчват енергия с почти еднакъв темп през дълъг период от време. Действителният темп, с който звездата генерира и излъчва енергия, зависи от нейната маса.

Когато Едингтън изчислил температурата в недрата на звездите, той стигнал до заключението, че колкото по-масивна е една звезда, толкова по-големи са гравитационните сили, които я удържат във вида, който има. Това означава, че колкото е по-масивна една звезда, толкова трябва да е по-висока температурата в недрата й, за да има тя такива размери при тази гравитация. Колкото по-висока е вътрешната й температура, толкова повече енергия ще се генерира и излъчи от звездата. С други думи, колкото по-масивна е една звезда, толкова по-

ярка ще бъде тя. Правилото на Едингтън се нарича *зависимост маса — светимост*.

Когато изследваме звездния свят, виждаме, че се образува правилна последователност, която започва от много горещите и много ярки звезди с голяма маса през звездите с по-малка маса и яркост към звездите с много малка маса и яркост, чиито повърхности са доста студени. Тя се нарича *главна последователност*, тъй като обхваща около 90% от всички звезди, които познаваме. (Останалите 10% са необикновени звезди като червените гиганти и белите джуджета.)

Спектрите на звездите от главната последователност формират своя последователност. Когато се движим по главната последователност в посока на по-студените звезди, постепенното падане на температурите се отразява на вида на тъмните линии в спектрите. Следователно звездите могат да се разделят на *спектрални класове* в зависимост от вида на тъмните линии.

Спектралните класове, на които се разделят звездите от главната последователност, са О, В, А, F, G, К и М. От тях звездите от клас О са най-масивни, най-ярки и най-горещи, а тези от клас М са с най-малка маса, най-студени и с най-малка светимост. Всеки спектрален клас се разделя на подкласове, номерирани от 0 до 9. Така ние имаме класове В0, В1, В2 и така нататък до В9, след което следва А0. Нашето Слънце е от спектрален клас G2.

В таблица 9 са представени масите и светимостите на звездите в зависимост от спектралния им клас.

Разпределени ли са тези звезди поравно?

Отговорът е не.

Обикновено във Вселената големите обекти винаги представляват някакво изключение и са по-малко разпространени от малките обекти от същата категория. Големите животни са по-малко на брой от малките (сравнете броя на слоновете с този на мухите), броят на големите скали е по-малък в сравнение с пясъчинките, планетите са по-малко от астероидите и т.н.

Таблица 9. Главната последователност

Спектрален клас	Маса (Слънце=1)	Светимост (Слънце=1)
O5	32	6 000 000

B0	16	6000
B5	6	600
A0	3	60
A5	2	20
F0	1,75	6
F5	1,25	3
G0	1,06	1,3
G5	0,92	0,8
K0	0,80	0,4
K5	0,69	0,1
M0	0,48	0,02
M5	0,20	0,001

Ако по аналогия очакваме броят на масивните и ярки звезди да бъде по-малък от този на по-малките и по-слаби звезди с по-ниска маса, ще бъдем прави.

От звездите, които се виждат, астрономите правят дедуктивното заключение, че около 3/4 от всички звезди в нашата Галактика са от спектрален клас М, който включва най-малките и най-слаби звезди. В таблица 10 са представени подробно разпределенията на звездите, според спектралните им класове.

(Можем, разбира се, да предположим, че всичко, което е вярно за нашата Галактика, важи и за мнозинството други галактики. Нямаме причини да смятаме, че нашата Галактика е необикновена.)

Таблица 10. Количество звезди в спектралните класове

Спектрален клас	Относителен процент	Брой на звездите в Галактиката
О	0,0002	20 000
В	0,1	100 000 000
А	1	1 200 000 000
F	3	3 700 000 000
G	9	11 000 000 000

К	14	17 000 000 000
М	73	89 000 000 000

Другият въпрос е свързан с това, дали звездите от различните спектрални класове изразходват ядреното си гориво за различно време и следователно дали някои звезди остават в главната последователност по-дълго от други, като забавят неизбежния си колапс.

Ако приемем, че всички звезди започват живота си със състав предимно от водород, който е главното ядрено гориво, ще видим, че колкото по-масивна е звездата, толкова по-голям запас от гориво има тя. Звезда от клас О5, която е 32 пъти по-масивна от Слънцето, *би трябвало* да има (както можем да предположим) и 32 пъти по-голям запас гориво. Бихме могли да допуснем, че това гориво ще ѝ стигне за 32 пъти по-дълъг живот и че тя ще остане 32 пъти по-дълго върху главната последователност — или 160 пъти по-дълго от пребиваването на звезда от клас М5 върху тази последователност.

Звездите обаче не изразходват ядреното си гориво с еднакъв темп, а в зависимост от масата си. Колкото по-масивна е звездата, толкова по-силно нейното гравитационно поле свива веществото ѝ, колкото по-горещо е нейното ядро, толкова по-добре се уравновесява гравитационното свиване. А колкото е по-горещо ядрото, толкова повече гориво в една секунда трябва да се изразходва, за да се запази високата температура. Казано накратко, колкото по-масивна е една звезда, толкова по-бързо тя изразходва ядреното си гориво.

Едингтън фактически показал, че при движението от звезди с по-малка маса към по-масивни звезди темпът на изразходване на ядреното гориво нараства по-бързо от тяхната маса. С други думи, независимо че звезда О5 има 32 пъти повече ядрено гориво от Слънцето, тя ще го изразходва 10 000 пъти по-бързо. Следователно тя ще изразходва своето по-голямо количество ядрено гориво много по-бързо от Слънцето, чиито запас от гориво е по-малък. Аналогично Слънцето изразходва по-бързо горивото си от една слаба звезда от клас М5, чийто запас е само 1/5 от слънчевия.

Накратко, колкото по-масивна е една звезда, толкова по-малко стои тя на главната последователност, по-бързо се превръща в червен гигант и колапсира. Продължителността на живот на различните спектрални класове е дадена в таблица 11.

**Таблица 11. Продължителност на живот в
главната последователност**

Спектрален клас	Продължителност (години)
O5	1 000 000 или по-малка
B0	10 000 000
B5	100 000 000
A0	500 000 000
A5	1 000 000 000
F0	2 000 000 000
F5	4 000 000 000
G0	10 000 000 000
G5	15 000 000 000
K0	20 000 000 000
K5	35 000 000 000
M0	75 000 000 000
M5	200 000 000 000

Тъй като звездите, които първи колапсират, са по-големи и се срещат по-рядко, това обяснява и относително ниския брой на белите джуджета. Нито една звезда от спектрални класове К или М, които представляват заедно 8,7% от всички звезди, не е успяла още да изразходва ядреното си гориво дори да е започнала да излъчва непосредствено след Големия взрив. Вероятно само звездите от класове О, В, А, F и част от G са напуснали главната последователност, но това са само около 10% от всички звезди.

Дори и след тези съображения ние все още не сме обяснили напълно малкия брой бели джуджета. Ако всички звезди в Галактиката са се образували скоро след Големия взрив и други звезди повече не са се раждали, то не би трябвало да съществуват звезди в Галактиката, които да са по-големи и по-ярки от сравнително малките звезди от спектрален клас G. Тези по-ярки звезди би трябвало вече да са се разширили и колапсирали. Но това не е така. И сега на небето могат да се видят изключително ярки звезди — дори звезди от клас О.

Ясно е, че звездите с голяма светимост, които съществуват сега, не са могли да живеят през цялото време на живот на Вселената. Те трябва да са се образували сравнително късно. Нашето Слънце (спектрален клас G2) трябва да е далеч по-младо от Вселената, в противен случай то сега трябваше вече да бъде бяло джудже. В действителност Слънцето вероятно се е зародило преди около 5 милиарда години, когато Вселената е била вече на 10 милиарда години. В Галактиката съществуват места, където се вижда, че и сега се раждат звезди, но на същите места съществуват и звезди, образувани преди милиарди години.

Краткоживеещите звезди ще светят дълго, дълго време в небето, ще се появяват и ще умират, а звездите джуджета ще продължават постоянно да светят.

Ако предположим още, че Вселената ще се разширява безкрайно, то всички звезди, дори и най-малките, ще изразходват ядреното си гориво, после ще се разширят и колапсират. И много трилиони години след нас Вселената ще се състои само от два вида тъмни „вечни“ тела — черни джуджета, които са пепелта на звездите, и черни планетоподобни тела, които никога не са били звезди.

Дали ще сме прави, ако приемем, че краят е именно такъв? Дали всеки достатъчно голям обект, който може да стане звезда, свършва като бяло джудже, което накрая се охлажда до черно? Няма ли други обекти във Вселената, които да са по-странни дори и от белите джуджета?

Да, на хоризонта се наблюдават и по-странни обекти. Не забравяйте, че ние вървим по пътя към черните дупки.

ПЛАНЕТАРНИТЕ МЪГЛЯВИНИ

Когато една звезда колапсира до бяло джудже, нейното вещество под влияние на собствената ѝ гравитация се свива, заемайки все по-малък обем, докато не се превърне в компресиран електронен флуид в ядрото на звездата, който има достатъчно съпротивителни сили, за да спре колапса на слоевете вещество, лежащи над него.

Колкото по-масивна е колапсиращата звезда, толкова по-силно ще се свие тя и много по-силно ще компресира електронния флуид.

Нека направим още една аналогия — това е почти като при гумите на автомобилите. Теглото на една кола свива въздуха в гумите. Колкото повече се свиват гумите, толкова по-голям става насоченият навън натиск на въздуха, за да може да издържи теглото на колата. Ако поставим багаж в колата, въздухът в гумите ще се свие още, докато натискът отново не стане достатъчен, за да издържи допълнителното тегло. Колкото по-голямо тегло има колата, толкова по-силно се свива въздухът в гумите.

Ако разсъждаваме аналогично за звездите, ще видим, че положението там е съвсем същото — колкото по-масивно е бялото джудже, толкова по-малък размер ще има то. Така масата на бялото джудже, носещо името Ван Маанен 2, е само $3/4$ от масата на Сириус В. Следователно то не е толкова силно свито, поради което диаметърът му е почти същият като този на Юпитер, т.е. 3 пъти по-голям от диаметъра на Сириус В. От друга страна, някои сравнително масивни бели джуджета не са по-големи по обем от нашата Луна.

Но колко масивно и колко малко по размери може да бъде бялото джудже? В крайна сметка, ако натоварваме все повече и повече една кола ще дойде момент, в който материалът на гумите ѝ няма да издържи все по-голямото налягане на свивания се въздух и гумите евентуално ще се спукат.

Дали и в ядрата на белите джуджета съществува също такава състояние, при което те просто не могат да удържат веществото, което ги натиска надолу.

Този въпрос беше разгледан от американския астроном от индийски произход Субманян Чандрасекар (1910). През 1931 година той успя да докаже, че съществува една критична маса (*граница на Чандрасекар*), отвъд която бялото джудже не може да съществува, понеже над тази маса електронният флуид независимо от степента си на свиване не може да издържи теглото на веществото над себе си. Ядрото на такава звезда просто ще продължи да колапсира навътре.

Посочената от Чандрасекар критична маса е 1,4 пъти по-голяма от слънчевата. Границата ще бъде малко по-висока, ако бялото джудже се върти бързо, понеже тогава центробежната сила ще помага на веществото да се издига нагоре. Обаче белите джуджета не се въртят достатъчно бързо, за да има този ефект някакво значение за тях.

Границата на Чандрасекар не е много висока. Всички звезди от спектралните класове О, В и А заедно с по-масивните звезди от спектрален клас F имат повече от 1,4 слънчеви маси. Животът на тези звезди е и най-краткотраен — такива звезди, образувани през ранните дни на Вселената, със сигурност вече са се разширили и колапсирали. В какво колапсират те? Биха ли могли някои от тях да се превърнат в много масивни бели джуджета далеч над границата на Чандрасекар, доказвайки по този начин, че извършеният от него анализ е бил грешен?

Може и така да се мисли, но фактите говорят, че всички изследвани досега бели джуджета имат маси под границата на Чандрасекар и колкото повече бели джуджета изследваме, толкова по-сигурна изглежда тя.

Другата алтернатива е по-масивните от границата на Чандрасекар звезди да губят част от масата си на някакъв стадий преди или по време на колапса.

Тази алтернатива може да ни се стори изсмукана от пръстите — как би могла една звезда да загуби маса? Фактически ние познаваме няколко начина една звезда да загуби маса, нещо повече, толкова е вероятна загубата на маса при масивните звезди, че можем да смятаме това за неизбежно.

Да разгледаме случая, когато всяка намираща се на главната последователност звезда идва до своя край, понеже ядреното ѝ гориво намалява под критичното. Тогава тя се разширява до червен гигант и после колапсира.

Колкото по-масивна е звездата, толкова по-горещо е нейното ядро по време на разширяването ѝ. Съчетаването на по-голяма маса с по-висока температура поражда по-голям червен гигант. И отново — колкото по-масивна е звездата, толкова по-бързо се свива тя, когато ѝ дойде времето, понеже гравитационното поле, което довежда до това свиване, е по-голямо.

Да разгледаме една звезда, значително по-масивна от Слънцето, която се е издула до размерите на доста голям червен гигант. Най-външните слоеве на този гигант, които са много далеч от по-плътните вътрешни слоеве, се намират под действието на сравнително слабо гравитационно привличане. Когато звездата започне да се свива, вътрешните ѝ слоеве се устремяват бързо надолу, изоставяйки външните по-тънки слоеве над себе си. Свиващата се част от звездата се нагрива неимоверно, понеже енергията на падащата при свиването материя се превръща в топлина. Получава се топлинен взрив, който издухва най-външните слоеве — те до този момент са падали надолу сравнително бавно. Този взрив отново ги отправя надалеч.

Ако една звезда е достатъчно масивна и образува достатъчно обемист червен гигант, ще колапсират само вътрешните ѝ части, а външните ѝ части ще бъдат издухвани във вид на турбулентна газова обвивка. В този случай, въпреки че звездата е над границата на Чандрасекар, свиващата се от звездата част може да бъде под тази граница и следователно може да образува бяло джудже.

В резултат се получава бяло джудже в газова обвивка. Бялото джудже е много горещо, понеже трябва да излъчи в пространството огромното количество енергия на своя колапс. Това излъчване е във вид на ултравиолетови лъчи и по-твърда радиация. Газовата обвивка поглъща тази високоенергетична радиация и я превръща в меко оцветените лъчи на флуоресценцията.

Това, което ние виждаме от Земята, е звезда с мъглив пръстен около нея. В действителност там има обвивка, но частите от нея, които са пред звездата и зад нея (най-близките до нас и най-отдалечените от нас), се виждат трудно, понеже там газовите слоеве са най-тънки. А встрани от звездата зрителният лъч минава през цялото вещество на обвивката чак до нейния край. Поради това обвивката ни изглежда като кръгче цигарен дим. Най-забележителен пример за това е така наречената „Пръстеновидна мъглявина“ в съзвездие Лира.

Такива мъглявини се наричат *планетарни мъглявини*, защото изглежда, че газовата обвивка обикаля звездата по орбита, подобна на планетите.

Известни са около 1000 планетарни мъглявини, като, разбира се, трябва да съществуват много повече, които ние не виждаме. Всяка една от известните планетарни мъглявини има малка, гореща и плътна звезда в центъра си — вероятно бяло джудже. В действителност бели джуджета са фиксирани със сигурност само в няколко планетарни мъглявини.

Ако централните звезди в планетарните мъглявини са наистина бели джуджета, те трябва да са се образували съвсем неотдавна и вероятността да са излъчили голямата част от топлинната енергия, с която са се сдобили по време на падането, е малка. Фактически това са звезди с най-висока повърхностна температура — от 20 000°C до над 100 000°C в някои случаи.

Газовите обвивки, които наблюдаваме, изглежда имат, доколкото това може да се каже, около 1/5 от масата на Слънцето, но е вероятно да има и по-масивни обвивки. Някои астрономи предполагат, че звездите могат да губят повече от половината от масите си под формата на газови обвивки. И ако това е така, то например звезди с маси 3,5 пъти по-големи от слънчевата могат да изгубят достатъчно маса по време на образуването на планетарна мъглявина, за да може колапсиращото ядро да слезе под границата на Чандрасекар и да образува бяло джудже.

Естествено газовата обвивка на планетарната мъглявина, издухана от енергията на колапсиращото ядро, се отдалечава от звездата. Скоростта на това отдалечаване може да се измери и типичните нейни стойности са между 20 и 30 km/s.

В процеса на отдалечаването на газовата обвивка тя се разпростира върху все по-голям и по-голям обем и плътността на веществото ѝ става все по-ниска и по-ниска. Понеже обвивката се отдалечава все повече от централната звезда, всяка нейна част получава все по-малко от излъчваната от звездата енергия и флуоресцира все по-слабо. В резултат на това при уголемяването си обвивката става все по-бледа и по-незабележима.

При типичните планетарни мъглявини газовата обвивка се намира на разстояние 1/4-1/2 светлинни години от централната звезда

— това е около 500 пъти по-далеч, отколкото Плутон от нашето Слънце.

Вероятно са били необходими от 20 000 до 50 000 години разширяване, за да се отдалечи обвивката на такова разстояние, но това е кратък период от време за живота на белите джуджета. Простият факт, че виждаме газова обвивка, е определено доказателство, че бялото джудже се е образувало съвсем наскоро.

Около 100 000 години след образуването на бяло джудже газовата обвивка ще се разшири до такава степен, че ще стане твърде тънка, за да можем да я наблюдаваме от Земята. Възможно е следователно белите джуджета да нямат газови обвивки само защото са на възраст повече от 100 000 години.

Образуването на планетарна мъглявина не е единственият начин, по който една звезда може да изгуби маса. Съществуват още множество начини да се срещнем с взривяваща се материя. Големият взрив е може би най-голямата и впечатлителна демонстрация на такова явление, но съществуват и „малки“ взривове от един или друг вид, които обаче са достатъчно грандиозни, за да бъдат изумително величествени.

НОВИТЕ ЗВЕЗДИ

Всеки, който с невъоръжено око нощ след нощ наблюдава ясното небе, участва в нещо като спектакъл на несравнимо спокойствие и неизменност. Тази неизменност дотолкова се е смятала за знак на сигурност в този променящ се свят, отразен в писаната история на човечеството, че на всяка необичайна промяна — затъмнение, падаща звезда, комета — се е гледало със страх.

Тези очевидни промени, които всеки случаен наблюдател може да забележи, не са свързани със звездите. Те са явления, характерни за нашата Слънчева система. Обаче за един внимателен наблюдател промени стават даже и в света на звездите. На небето внезапно може да се появи нова звезда там, където преди не е било наблюдавано нищо. Това не е падаща звезда, защото тя остава на едно място, но не е и обичайна звезда. С времето тя ще избледнее и ще изчезне.

Най-големият астроном на древността Хипарх от Никея (190–120 г. пр.н.е.) през 134 година пр.н.е. наблюдавал такава нова звезда и това го вдъхновило да състави първата звездна карта, за да могат в бъдеще тези неканени гости да се разпознават по-лесно.

Една изключително ярка нова звезда се появила през ноември 1572 година в съзвездието Касиопея и датският астроном Тихо Брахе (1546–1601) написал за нея специална книга, озаглавена *De Nova Stella* (което на латински означава „За новата звезда“). От заглавието на тази книга терминът *нова* започнал да се употребява за всички новопоявяващи се понякога звезди.

В известен смисъл този термин не е точен, понеже в действителност новите не са никакви новообразувани звезди и не се създават в момента от нищото или от някакво незвездно вещество. А след като изчезнат, те не се превръщат отново в нищо или пък в незвездно вещество.

След изобретяването на телескопа през 1608 г. станало ясно, че съществуват милиони звезди, които са твърде слаби, за да могат да се видят с невъоръжено око. Някои от тези звезди по никакви причини биха могли да станат по-ярки за кратък период от време и след това

отново да отслабнат. Възможно е една много слаба звезда, която може да се наблюдава само с телескоп, да увеличи яркостта си така, че да може да се види с невъоръжено око, а след това да отслабне отново под границата на чувствителността на обикновеното човешко зрение. Във времената преди изобретяването на телескопа е изглеждало, че такава звезда се появява от нищото и се превръща пак в нищо.

Тази представа за нещата би се затвърдила силно, ако някой наистина беше наблюдавал как някоя слаба звезда увеличава блясъка си и надминава границата на чувствителността на обикновеното зрение, но това се случило едва през 1848 г., когато една нова звезда за първи път бе забелязана да действа по описания начин. Английският астроном Джон Ръсел Хинд (1823–1895) успял да наблюдава как една слаба и невидима дотогава с просто око звезда започнала да увеличава блясъка си. В максимума си нейният блясък достигнал пета звездна величина и в този момент тя би могла да бъде видяна като една от достъпните за невъоръжено око слаби звезди от всеки, който гледа в този участък от небето. После тя отслабнала.

След появата на фотографията станало възможно да се снимат части от небето по различно време и чрез сравняването на различните снимки може да се установи дали някоя звезда е променила блясъка си. По такъв начин били открити много нови, но снимките не давали възможност те да се фиксират в момента на увеличаване на блясъка им. Те не доказвали, че това представлява необичайно явление, както се е мислело по-рано. Според сегашните оценки вероятният брой на появяващите се нови в нашата Галактика е средно 30 за година.

Но какво предизвиква появата на нова?

Каквото и да е то, то трябва да е нещо като експлозия. Звездата, която се превръща в нова, трябва да стане хиляди, дори десетки хиляди пъти по-ярка, отколкото е била в началото. Нещо повече увеличаването на яркостта става много бързо — за по-малко от един ден или дори за по-кратко време. След като звездата достигне максимума си, спадането на блясъка ѝ никога не е толкова бързо, колкото нарастването. Със спадането на блясъка намалява и темпът на отслабването му, като в крайна сметка са необходими години, за да се върне звездата в първоначалното си състояние.

Внезапната експлозия, водеща до увеличаването на блясъка, вероятно е експлозия в буквалния смисъл на думата. Внимателното

изучаване на спектъра на новите показва, че от тези звезди се изхвърлят газове обвивки.

Може ли взривът на една нова да роди планетарна мъглявина? Дали този взрив не е последното издихание на блясъка на една звезда, преди тя да колапсира в бяло джудже?

Най-вероятно не. Преди да се образува бяло джудже, звездата трябва да бъде червен гигант. В действителност наблюдаваните преди взрива си звезди, които след това стават нови, нямат вид на червени гиганти. Освен това изхвърленият при взрива на новите газ има маса само около 1/50 000 от слънчевата. А една планетарна мъглявина е минимум десет хиляди пъти по-масивна.

Можем ли да очакваме, че съществуват и други видове взривни процеси освен тези, при които се образуват планетарните мъглявини?

На пръв поглед шансовете за съществуването на такива процеси са минимални. В края на краищата мнозинството звезди очевидно са стабилни — като например нашето Слънце. Свиването, причинено от гравитационното привличане, и температурното разширяване са уравнили и звезди като Слънцето могат да светят милиарди години, без изобщо да има каквато и да било внезапна промяна в размерите и температурата им. Разбира се, съществуващите слънчеви петна охлаждат малко Слънцето, а слънчевите избухвания леко го нагриват, но тези промени са твърде малки и направо микроскопични в сравнение с промените, протичащи при взрива на новите.

Но не всички звезди са така стабилни като Слънцето. Има например звезди, чийто блясък непрекъснато се променя — понякога в правилен ритъм. В някои случаи тази промяна може да е следствие от частични или пълни затъмнения, предизвикани от по-слаб спътник, който обикаля около по-ярката звезда и периодично се озовава между нея и нас.

В други случаи това може да се дължи на промени в самата звезда.

През 1784 г. английският астроном от холандски произход Джон Гудрайк (1764–1786) — глухоням, починал едва на 21 години — забелязал, че звездата Делта от съзвездие Цфея променя блясъка си. Промяната не била голяма — тя увеличава блясъка си от звездна величина 4,3 до 3,6, а после го намалява отново до звездна величина 4,3^[1], като това се повтаря отново и отново. Когато е най-бляскава,

Делта Цефей е само два пъти по-ярка от минималния си блясък. Сякаш такава промяна не би могла да бъде забелязана без телескоп, но на практика това не е така.

Обаче природата на промяната е просто изненадваща. С голяма регулярност звездата сравнително бързо увеличава блясъка си и го намалява сравнително бавно, като всеки цикъл на тази промяна трае 5,4 денонощия. През последните 200 години в нашата Галактика са открити около 700 звезди, които променят блясъка си по същия начин, увеличавайки го сравнително бързо и намалявайки го сравнително бавно. Всички тези *променливи* звезди се наричат *цефеиди* в чест на първата открита променлива от този вид.

Цефеидите се различават помежду си по времетраенето на периодите си. Някои имат периоди от 100 денонощия, а периодите на други са значително по-къси и достигат до 1 денонощие. (В действителност съществува отделна група променливи звезди, които много приличат на цефеидите, но периодите им са от 6 до 12 часа. Те се наричат *променливи звезди от тип RR Лири* по името на първата открита такава звезда.)

През 1915 г. американката Хенриета Суейн Ливит (1868–1921) успя да покаже, че периодите на цефеидите зависят от масите и блясъка им. Колкото по-масивни и по-ярки са цефеидите, толкова е по-дълъг периодът им.

Цефеидите пулсират и това е видимата причина те да променят блясъка си. Цефеидите са достигнали такъв стадий на еволюция, когато равновесието между гравитацията и температурата не е вече гладко протичащ процес. Ядреното гориво вероятно е намаляло до такава степен, че температурата вътре в звездата се понижава. Тогава звездата започва да колапсира, при което недрата ѝ се свиват, ядрените реакции се ускоряват и температурата се повишава. Това кара звездното вещество отново да се устреми нагоре, звездата се разширява, налягането в недрата ѝ намалява, те се охлаждат и свиването започва пак.

Колкото по-масивна е звездата, толкова повече време е необходимо за извършването на един пълен цикъл от свиване и разширяване. Този стадий от звездната еволюция е краткотраен от гледна точка на астрономичната скала за време и след него настъпват

финалните промени, водещи до разширяването на звездата до червен гигант и след това до колапс.

Може ли да се мисли, че новите са цефеиди, при които наблюдаваме екстремални пулсации? Например, ако процесът на пулсиране все по-силно обхваща звездата, то накрая разширяването може би се превръща в експлозия, която изхвърля външните части на цефеидата и нейният блясък временно се увеличава, но не двойно или тройно, а десетки хиляди пъти повече. Загубата на маса може временно да успокои цефеидата и да я върне отново към състояние на умерена пулсация, която с времето пак може да доведе до експлозия. Би могло да има няколко такива експлозии преди финалното разширяване и следващия го колапс.

Има наистина звезди, които се наблюдават като *повторни нови* — те са избухвали по два или дори три пъти за краткия, ненадвишаващ един век период от време, чрез който астрономите са наблюдавали такива звезди внимателно. Освен това всички цефеиди, дори и най-малките, са значително по-масивни от Слънцето. Те са големи и ярки — точно от този вид звезди, които трябва да загубят маса, за да останат в границата на Чандрасекар и да образуват бяло джудже.

Всичко това изглежда добре свързано, но тази представа не отговаря на истината. Изследването на звездите, които стават нови — преди избухването им и след като отново се успокоят — показва, че те просто не са цефеиди. Те дори не са масивни звезди — те са малки и слаби, въпреки че имат високи повърхностни температури.

Съчетанието от малки размери и слаб блясък предполага бели джуджета. Те обаче са толкова компактни и плътни и имат толкова висока повърхностна гравитация, че трябва да са много стабилни. Как при тях би могло да се достигне до експлозивно разширяване?

Предположението, направено през 1955 г. от американския астроном от руски произход Ото Струве (1897–1963), че всяка нова звезда е член на *тясна двойна система* и е една от обикалящите на сравнително малко разстояние помежду си звезди, като че ли спечели най-голяма популярност. По-голямата звезда от двойката, която ще наричаме А, достига края на своето пребиваване върху главната последователност преди своя по-малък спътник В. При разширяването на А до червен гигант част от нейното вещество се разпилява върху В, която все още не е започнала да се разширява. Така В увеличава масата

си, а А — намалява своята. В този случай А може директно да се свие до бяло джудже, без да образува планетарната мъглявина, въпреки че началната ѝ маса е била някъде над границата на Чандрасекар.

От своя страна идва ред и В да напусне главната последователност — нейното време на живот намалява поради натрупването на маса, предизвикано от разширяването на А. Когато В се разшири до червен гигант, тя на свой ред отдава това, което е получила — част от веществото ѝ се разпилява върху А, която в този момент е бяло джудже.

Повърхностната гравитация на А е изключително висока и разпиляното върху нея вещество претърпява рязко свиване. Понеже това вещество съдържа някои атоми, способни да участвуват в атомни реакции, то може много бързо да предизвика ядрен взрив, след като се е натрупало достатъчно вещество при достатъчна степен на уплътняване. Ядреният взрив освобождава значителна енергия и произвежда огромно количество светлина, което води до внезапното мълниевидно избухване, възприемано от нас като нова, и до изхвърлянето на светец нажежен газ. Новата може да се повтори, ако от разширяващата се звезда продължи да изтича допълнително количество вещество.

Това е начинът звездата В евентуално да колапсира до бяло джудже, независимо че е придобила достатъчно маса при разширяването на А и че е надминала малко границата на Чандрасекар.

Сириус А и Сириус В щяха да бъдат добър пример за такъв сценарий, ако бяха по-близо една до друга. За съжаление, понеже те се намират на разстояние, по-голямо от това между Слънцето и Уран, те не могат да си влияят една на друга по описания начин.

Когато те двете са се образували (някъде преди около четвърт милиард години), звездата, която сега е Сириус В, трябва да е била по-голямата и по-ярката от двете и масата ѝ вероятно е била 3 пъти по-голяма от слънчевата. Тя е блестяла в небето над Земята (далеч в миналото, в епохата на динозаврите) с яркостта на Венера.

Сириус В не е стояла дълго върху главната последователност — тя се е разширила до червен гигант, после с около $2/3$ от масата си е образувала планетарна мъглявина, която вече е невидима. Но част от изхвърлената маса е била уловена от далечната Сириус А, която увеличила блясъка си и по този начин съкратила живота си. Ако

Сириус А беше значително по-близо до Сириус В, тя щеше да улови много повече от веществото на външните слоеве на Сириус В и щеше да има достатъчно маса, за да напусне и тя главната последователност скоро след своя спътник. При такова развитие на нещата Сириус сега би представлявал двойка бели джуджета.

Но такъв, какъвто е в действителност, Сириус А ще се разшири до червен гигант някъде в далечното бъдеще и после ще образува планетарна мъглявина. Тогава Сириус В ще улови достатъчна част от образувалата се газова обвивка, и ще избухне като нова. Това би било изключително впечатляващо зрелище за потомците на човечеството, доживели да го видят.

Сега познаваме два начина, по които масивните звезди могат да се освободят от достатъчно количество маса, за да слязат под границата на Чандрасекар и да образуват бели джуджета. Тези два начина — образуването на планетарни мъглявини и обмяната на материя между компонентите на тесни двойни системи — са подходящи за звезди с умерени размери, чиято маса не надвишава повече от 3 пъти слънчевата. Но съществуват и по-масивни звезди. Какво става с тях? Нека се върнем към въпроса за новите.

[1] Когато блясъкът се увеличава, стойността на звездната величина намалява. ↑

СВРЪХНОВИТЕ

Преди откриването на телескопа единствените нови, които били регистрирани със сигурност, били само най-ярките от тях.

Новата, за която Тихо Брахе написа своята книга и която даде име на явлението, е пример за такава звезда. Новата на Тихо Брахе в своя максимум на светимост била пет до десет пъти по-ярка от планетата Венера и вероятно 100 пъти по-ярка от най-ярката постоянна звезда Сириус. Тя се виждала и през деня, а през нощта хвърляла слаба сянка, която се забелязвала, ако нямало Луна на небето.

През 1604 г. друга ярка нова се появила в съзвездието Змиеносец. Тя имала блясък само $1/30$ от този на новата на Тихо Брахе и била три пъти по-ярка от Сириус. Оттогава на небето не са се появили други такива ефектни звезди като тези две.

Има обаче случай на по-ранно появяване на такава ярка нова — тя се появила през юли 1054 г. в съзвездието Телец. Не съществуват писмени доказателства, че тя е била наблюдавана в Европа, която точно тогава излизала от „тъмните векове“ и астрономията като наука в това време почти не съществувала. Обаче до нас са достигнали писмени сведения от астрономите в Китай и Япония.

Новата от 1054 г. също като звездата на Тихо Брахе била много по-ярка от Венера. Тя била по-ярката от двете и се наблюдавала на небето при дневна светлина в продължение на 23 денонощия. След достигането на своя максимум тя бавно отслабнала, но трябвало да изминат почти две години, преди нейният блясък да слезе под нивото на чувствителност на невъоръженото око.

Защо някои нови са много по-ярки от другите? Логично е да се предположи, че те са били по-близо до нас и затова са изглеждали по-ярки.

През 1885 г. обаче нова се появила в небесния обект, наричан тогава *мъглявината Андромеда*. Мъглявината Андромеда е дифузно светло петно, за което астрономите смятали, че е облак от прах и газ вътре в нашата Галактика. Новата те наблюдавали точно в посоката на облака, но тя не била много впечатляваща, защото в максимума си

достигнала едва седма звездна величина и не станала достатъчно ярка, за да се наблюдава без телескоп.

През следващите години астрономите много внимателно наблюдавали мъглявината Андромеда и открили в пределите ѝ многобройни нови. Всичките те не биха могли да се намират случайно в една посока — това не би могло да бъде просто съвпадение. След всичко това се оформило схващането, че мъглявината Андромеда е далечна звездна система, чийто блясък е много слаб и звездите в нея не могат да се наблюдават като отделни обекти, освен в случаите, когато една от тях се превърне в нова. След 1920 г. вече се наложило мнението, че мъглявината Андромеда е много далечна галактика и по размери е дори по-голяма от нашата Галактика.

Всички нови, наблюдавани в галактиката Андромеда след 1885 г., били извънредно слаби, но по нищо друго не се отличавали от нормалните нови в нашата Галактика.

Новата от 1885 г. била нещо по-различно. Тя била много по-ярка от нормалните нови както в галактиката Андромеда, така и в нашата. Нейният блясък бил толкова силен, че тя се откроявала на фона на всички звезди от галактиката Андромеда. В максимума си тя била 10 милиарда пъти по-ярка от нашето Слънце и 100 000 по-ярка от една обикновена нова. Такива звезди били наречени *свръхнови*. И така, новата от 1885 г. след дълги размисления била наречена S от Андромеда — тук S означава свръхнова.

След като това било установено, станало ясно, че ярките нови от 1054, 1572 и 1604 г. били също свръхнови, само че в нашата Галактика.

Свръхновите са звезди, които се срещат много рядко. Астрономите ги наблюдават от време-навреме, тук-там, в една или друга далечна галактика. При появяването си свръхновата лесно може да се открие. Веднага щом в някоя галактика блесне звезда и достигне максимума на своя блясък, който я кара да свети толкова ярко, колкото всички останали звезди от галактиката, взети заедно, астрономите знаят, че става дума за свръхнова. Изглежда, че броят на свръхновите за всяка галактика е 3 за хилядолетие, а на обикновените нови — 30 000 за същото време. С други думи, на всеки десет хиляди нови има една свръхнова.

Трудно е детайлното изследване на свръхновите в далечните галактики, намиращи се на разстояние милиони светлинни години от

нас. Една свръхнова от нашата Галактика би ни била от полза, но за нещастие такава не е наблюдавана след 1604 г. и няма близък обект от този тип, който да е бил изследван някога с телескоп. Фактически за изминалите от 1604 г. досега четири века най-близката наблюдавана свръхнова е S от Андромеда.

Ясно е, че явлението свръхнова представлява огромен взрив на особено голяма и масивна звезда. Нищо друго не може да предизвика излъчване, което е 10 милиарда пъти по-мощно от слънчевото.

Нещо повече, свръхновите изхвърлят газови обвивки, в сравнение с които планетарните мъглявини изглеждат като джуджета. Най-добре известният пример за такава обвивка е мъглявината в съвездието Телец, която се наблюдава на мястото на голямата свръхнова от 1054 г. Там се вижда гигантски облак от светещ газ.

Този облак за първи път бил наблюдаван през 1731 г. от английския астроном Джон Бевис (1693–1771). През 1844 г. ирландският астроном Уилям Парсънс, лорд Рос (1800–1867) внимателно го изследвал с голям телескоп, построен от самия него, и установил, че облакът има влакнеста структура с неправилна форма, наподобяваща щипките на рак. Той го нарекъл Ракообразна мъглявина и това е името, с което облакът е известен и до днес.

Детайлното изследване на газа в Ракообразната мъглявина показва, че той все още продължава да се движи навън със скорост 1300 километра в секунда. (Тази скорост на разширяване е много по-голяма от скоростта в планетарните мъглявини и сама по себе си е доказателство за несравнимата сила на взрива на свръхновата.) Имайки предвид тази скорост, можем да пресметнем, връщайки се в миналото, че цялото количество газ е било събрано в центъра на мъглявината точно по времето на взрива на свръхновата от 1054 г.

Астрономите се връщат назад в миналото и за други мъглявини. Ако в някоя част на небето се наблюдават тънки газови влакна, които приличат на част от обвивка, астрономите предполагат, че в центъра на такава структура някога трябва да е избухнала свръхнова. От скоростта на разширяване на обвивката те могат дори да пресметнат преди колко време се е взривила свръхновата. През последните 20 000 години в нашата Галактика са избухнали 14 свръхнови, чиито следи се наблюдават днес (включително и тези три, за които говорихме). Те би трябвало да са 60 или 65, ако броят им е толкова, колкото в другите

галактики. Следите на останалите около 50 на брой свръхнови ние не можем да наблюдаваме, тъй като те се намират в далечните части на Галактиката, които са скрити от нас зад облаци прах.

По останките на свръхновите можем да открием, че най-близката свръхнова се е взривила в съзвездие Корабни платна. Тази свръхнова породила газовата обвивка, наречена мъглявината Гъм (по името на австралийския астроном Колин С. Гъм, починал при нещастен случай като скиор през 1960 г., който пръв я изучил подробно през 1950 г.) Нейният център се намира на разстояние само 1500 светлинни години от нас. За сравнение можем да кажем, че разстоянието до Ракообразната мъглявина е 4500 светлинни години. Най-близкият край на мъглявината Гъм е на разстояние само 300 светлинни години от Земята.

Свръхновата в съзвездие Корабни платна, която породила мъглявината Гъм, е избухнала някъде преди около 15 000 години, когато свършвал последният ледников период на Земята. В своя максимум тя няколко дни е блестяла с блясъка на пълната Луна и ние можем само да завиждаме на онези праисторически човешки същества, които са били свидетели на тази великолепна гледка.

Какво предизвиква появата на свръхнови?

Колкото по-масивна е една звезда, толкова по-висока е температурата на недрата ѝ във всички стадии от нейната еволюция. Във вътрешността на една наистина масивна звезда температурата достига такива високи стойности, каквито при по-малките звезди не се достигат никога, понеже не могат да бъдат достигнати по принцип. Така че, за да обясним явлението свръхнова, ние трябва да изясним процесите, които протичат при тези високи температури.

Американският астроном от китайски произход Хонг Ичю (1952) предложил интересно обяснение. Ядрените реакции в недрата на звездата, казва той, пораждаат два вида безмасови частици, които се движат със скоростта на светлината. Едната е фотонът — фундаменталната частица на светлината и на електромагнитното излъчване въобще. Другата частица е *неутриното*.

Тези два вида частици имат различни свойства.

Фотоните веднага се поглъщат от веществото и се създават отново с не по-малък темп. Те се раждат отново и отново се поглъщат безброй пъти и само в кратките интервали време между раждането и

поглъщането те наистина се движат със скоростта на светлината. Поради това на фотоните е необходим около един милион години, за да пропътуват от ядрото на звездата, където са се родили, до повърхността, откъдето отлитат в пространството. Така че изтичането на енергия от централните области на звездата посредством излъчване на фотони е много слабо и това е бавен равномерен процес, който може да продължи милиарди години.

Неутрино след образуването си не взаимодействува изобщо (или взаимодействува съвсем слабо) с веществото и — веднъж образувано в недрата — то преминава през горните слоеве на звездата със скоростта на светлината, като че ли там няма нищо. На неутрино му трябват само три секунди, за да премине от ядрото на нашето Слънце до неговата повърхност и след това да излети в космическото пространство. А за 12 секунди то ще измине разстоянието от недрата до повърхността на най-големите звезди от главната последователност. Всяка енергия, отдадена под формата на неутрино, изтича почти мигновено от звездите.

При нормалните звезди обаче процентът енергия, отдаден под формата на неутрино, е много малък, затова ние обикновено вземаме предвид само енергията на фотоните.

Хонг Ичю обаче смята, че при изключително високи температури — да кажем 6 милиарда градуса — протичат такива ядрени реакции, които образуват неутрино в големи количества. Температурата в недрата на Слънцето сега е около 15 000 000°C и тя никога и при никакви условия няма да достигне 6 милиарда градуса. Звездите с достатъчно голяма маса са в състояние да достигнат такава температура и тогава в определен критичен момент изведнъж ще се образуват неутрино в големи количества. Всички те ще напуснат звездата за броени секунди и ще отнесат със себе си тази енергия от звездните недра, която е необходима за поддържането на звездата в равновесие срещу насочения към центъра гравитационен натиск.

В резултат на това ядрото на звездата изведнъж се охлажда, вероятно за броени минути, и звездата колапсира със скорост, която е несравнима с тази на колапса при образуването на планетарните мъглявини.

При масивните звезди, където недрата имат температура 6 милиарда градуса и ядреният синтез е достигнал до изграждане на

атомите на желязото, външните слоеве продължават да бъдат относително студени и са изградени от по-леки атомни ядра. Да си представим, че някой се движи в посока навън от ядрото на звездата, тогава той ще преминава през такива области на звездата, които все по-малко са еволюирали и съдържат все повече по-леки атомни ядра, които могат да се комбинират и да освобождават енергия. Температурите са все по-ниски и затова реакции на ядрен синтез не протичат. В най-външните слоеве на звездата може все още да има големи количества водород.

С внезапния неизбежен колапс на звездата температурата ѝ като цяло се повишава до много високи стойности, понеже гравитационната енергия се превръща в топлина и цялото ядрено гориво се включва в ядрения синтез почти мигновено. Това води до изключително голяма експлозия на свръхновата, след което звездата започва да свети за известно време колкото всички звезди от една галактика, взети заедно.

Във фурията на силния взрив се случват две неща. Първо, образуват се много атомни ядра, които са по-тежки дори от железните, тъй като има голям излишък от енергия, който дава възможност да се образуват такива ядра. Второ, взривът изхвърля големи количества звездно вещество навън във вид на обвивка от горещи газове, съдържаща всички новообразувани сложни атоми, включително и такива, които са пет пъти по-тежки от ядрата на желязото. За период от хиляди години това вещество постепенно се разпространява навън, влакната му изтъняват и то става част от силно разредените газови мъглявини в междузвездното пространство.

От газовите облаци, в които има останки от тези стари звезди, се образуват *млади звезди от второ поколение*.

Звездите от първо поколение, образувани от първичното вещество на Големия взрив, са почти изцяло изградени от водород и хелий. Това се отнася и за техните планети. Атомни ядра, по-сложни от хелиевите, могат да се намерят само в недрата на тези звезди и те биха си останали завинаги там, ако някои звезди не се взривяваха като свръхнови.

Звездите от второ поколение, каквото е нашето Слънце, започват живота си, добавяйки към своя водород и хелий малки количества по-тежки атомни ядра, разпръснати на големи разстояния в

пространството от взривовете на свръхновите. Животът ни би бил немислим без тези по-тежки елементи и всички атоми, изграждащи нашето тяло (освен водорода), са били някога част от ядрата на звездите, които са се взривили като свръхнови.

Огромният взрив на една свръхнова може да изхвърли в пространството девет десети от звездното вещество и само една малка част от него остава в състояние на колапс. Не е трудно да се предположи, че веществото, което остава след взрива на свръхновата, е винаги под границата на Чандрасекар. Затова първоначалната маса на звездата е без значение — тя винаги ще се свие до бяло джудже — бавно, ако масата ѝ е по-малка от 1,4 слънчеви маси, или чрез взрив с все по-нарастваща яркост в зависимост от това, колко масата ѝ надминава тази граница.

Като знаем, че за един милион години в една галактика избухват три свръхнови, и като имаме предвид, че възрастта на Вселената е около 15 милиарда години, бихме могли да пресметнем, че за цялата история на нашата Галактика в нея са избухнали 45 милиона свръхнови. Ако от всеки взрив на свръхнова се е образувало по едно бяло джудже, то техният брой би бил само един процент от броя на съществуващите в нашата Галактика бели джуджета, който бяхме пресметнали.

Това звучи правдоподобно. Ние можем да предположим, че само най-масивните звезди достигат до взрив на свръхнова, а по-малките достигат стадия на бяло джудже след образуване на планетарна мъглявина или чрез плавно свиване. И понеже съществуват много повече звезди с малка маса, би трябвало да има много повече бели джуджета, отколкото взривове на свръхнови. (Не трябва да се забравя обаче, че дори „малките звезди“, които се споменават в тази връзка, не са много по-малки от нашето Слънце. Звездите, които са наистина малки и които са преобладаващото мнозинство, не са живели достатъчно дълго и не са достигнали стадия на разширяване и колапс, дори ако са образувани веднага след Големия взрив.)

И така, можем да предположим, че имаме ясна представа за крайния стадий в живота на звездите — той винаги е бяло джудже, което се охлажда до черно джудже. Но тази представа все още не задоволява някои астрономи...

6. НЕУТРОННИТЕ ЗВЕЗДИ

ОТВЪД БЕЛИТЕ ДЖУДЖЕТА

Открити са отделни звезди с маса от 50 до 70 пъти по-голяма от масата на нашето Слънце. Развитието на такива звезди е съпроводено с взрив, нямащ равен на себе си. Нещо повече, при този взрив трябва да се изхвърлят в пространството 97-98% от веществото и масата, която остава, е само 1,4 пъти по-голяма от слънчевата — тази маса колапсира до бяло джудже.

Естествено този процес е възможен, но какво би станало, ако той не се реализира? Астрономите знаят, че при взрива на свръхновите се изхвърля значително количество вещество, но доколкото на тях им е известно, от никъде не следва, че свръхновата *трябва* да изхвърли достатъчно маса, за да остане колапсиралото тяло под границата на Чандрасекар. Какво би станало, ако след експлозията останалата част от звездата има маса, два пъти по-голяма от тази на Слънцето, и как тази маса колапсира? Ще се образува електронен флуид, който ще се свива, докато не се смачка. Гравитационният натиск ще стане толкова голям, че електронният флуид, свит до краен предел, няма да може да го издържи.

Електроните ще достигнат такава плътност, при която не могат вече да съществуват. В електронния флуид протоните и неутроните се движат свободно. А сега при тази по-висока плътност електроните ще се съединят с протоните и ще образуват нови неутрони. Във всяко парче материя, било то прахов фрагмент или звезда, електроните и протоните са в почти равно количество и поради това в резултат на обединяването им колапсиралата звезда ще се състои предимно от неутрони.

При гравитационния колапс тези неутрони се приближават достатъчно близко един до друг и достигат състояние на постоянен контакт помежду си. Тогава и едва тогава колапсът спира. Ядрената сила, която управлява взаимодействието между масивните частици, задържа неутроните на определено разстояние един от друг. Електромагнитната сила вече не може да уравни гравитационната, както е при планетите, обикновените звезди и дори

при белите джуджета. Сега гравитационната сила се уравнива от ядрената, а тя е много по-голяма от електромагнитната.

Звезда, която се състои от допрени един до друг неутрони, се нарича *неутронна звезда*. Тя е образувана от неутронен флуид, който понякога се нарича и *неутрониум*. Може да се каже, че атомното ядро е изградено от неутрониум и обратно — неутронната звезда представлява гигантско атомно ядро. Неутрониумът има невероятна плътност, достигаща около $1\,000\,000\,000\,000\,000\text{ g/cm}^3$ — това е 10^{15} пъти повече от плътността на обикновената материя.

Ако едно кълбо, което се състои от обикновено вещество, се превърне в кълбо от неутрониум, неговият диаметър ще намалее 100 000 пъти, без да има загуба на маса. И ако Земята, която има диаметър 12 740 km, изведнъж се превърне в неутрониум, тя ще се свие до кълбо с диаметър само 0,127 km. Това кълбо е само 1,5 пъти по-голямо от размерите на обикновен градски жилищен блок, но при все това би побрало в себе си масата на цялата Земя.

Ако Слънцето, което има диаметър 1 400 000 km, също се превърне в неутрониум, то ще представлява кълбо с напречно сечение само 14 km. Това кълбо ще има обема на малък астероид, а масата му ще бъде равна на масата на цялото Слънце.

Както ще видим по-нататък, не е безопасно да си представим неутронни звезди, които да са много по-масивни от Слънцето. Само за яснота нека предположим, че най-масивната известна досега звезда се превръща по някакъв начин в неутрониум без каквато и да е загуба на маса. Това ще бъде кълбо с диаметър само 50 или 60 km.

Бихме могли да си представим дори космическото яйце като гигантско кълбо от неутрониум, което съдържа цялата маса на Вселената — така да се каже една „неутронна Вселена“. То ще има диаметър 300 000 000 km. Ако такава космическо яйце се постави на мястото на нашето Слънце, то ще се простре само до астероидния пояс, независимо че съдържа масата на 100 000 000 000 звезди от нашата галактика плюс масата всички звезди от 100 000 000 000 други галактики.

Не трябва да се мисли, че само звезди с маси над границата на Чандрасекар могат да образуват неутронни звезди. Когато една свръхнова се взривява, колапсът на тази част от звездата, която не е изхвърлена, е толкова внезапен, че тя пада върху електронния флуид с

огромна скорост. Не толкова самата маса, колкото бързото падане разкъсва бариерата на електронния флуид. Този процес е необратим. Веднъж смачкан, електронният флуид не може да се самовъзстанови. Като резултат е възможно да се образува неутронна звезда с маса една пета от тази на нашето Слънце и с диаметър само 8,2 km.

Възможността силата на колапса на свръхновата да смачка електронния флуид дори когато колапсиращата маса е под границата на Чандрасекар, означава, че свръхновите могат да образуват неутронни звезди. Само звезди с недостатъчни маси, за да се получи взрив на свръхнова, достигат до стадия на разширяване с развитие на планетарна мъглявина и могат да образуват бели джуджета.

През 1934 г. американският астроном от швейцарски произход Фриц Цвики (1898–1974) и американският астроном от немски произход Валтер Бааде (1893–1960) първи изказаха идеята за възможността да съществуват неутронни звезди. Няколко години след това американският физик Дж. Роберт Опенхаймър (1901–1967) и неговият ученик Джордж М. Волков създадоха подробна теория по този въпрос.

След това избухна Втората световна война, която изцяло пренасочи вниманието на учените. Опенхаймър например оглави група, която създаде атомната бомба.

Дори и без войната интересът към неутронните звезди сред астрономите не беше голям. В края на краищата въпросът се смяташе за чисто теоретичен. Един астроном може да изчисли точно какво ще стане при взрива на свръхновата. Той може да определи какъв е механизмът на изхвърляне на веществото. Той може да пресметне каква е скоростта на колапса, в каква точка се разрушава електронният флуид и как се образува неутроний. Но всичко това все пак си остава само на книга.

Как може да се докаже правилността на теорията и съществуването на неутронните звезди? Разумно ли е да се предположи, че обект с диаметър от 8 до 15 km, отдалечен от нас на много светлинни години, може да се наблюдава?

Дори ако неутронната звезда има яркостта на най-ярките звезди, поради много малката си повърхност тя би излъчвала едва забележимо. Дори ако най-големият и най-добър телескоп бъде насочен към нея, то ние ще я видим в най-добрия случай като много слаба звезда. Как

можем да докажем, че именно това е търсената неутронна звезда, а не някоя друга обикновена звезда, която просто изглежда слаба, защото е много далече?

Как да постъпим тогава?

Безсмислено е било астрономите да се безпокоят по този въпрос, докато единственият начин, чрез който те са изучавали небето, е бил да се наблюдава излъчваната от небесните обекти светлина. Но с течение на времето астрономите разширили представите си за космичното излъчване и проблемът за откриването на неутронните звезди в крайна сметка стана възможен за разрешаване.

ОТВЪД СВЕТЛИНАТА

През 1911 г. американският физик от австрийски произход Виктор Франсис Хес (1883–1964) успял да покаже, че някакви много енергетични форми на радиация от космическото пространство достигат до земната повърхност. Те били наречени *космични лъчи*.

Космичните лъчи се състоят от много бързи електрически заредени атомни ядра. Те водят началото си от милионите свръхнови в нашата Галактика, избухнали по време на нейния живот. Понеже частиците на космичните лъчи са електрически заредени, те изменят траекториите си под действието на магнитните полета на отделните звезди и на Галактиката като цяло. Те завършват своя път, идвайки до нас от различни посоки, и ние не можем да кажем точно откъде някоя конкретна частица е започнала своето странствуване. Астрономите продължават да се интересуват от космичните лъчи, но те не могат да извлекат информация за отделните звезди, откъдето те са тръгнали.

През 1931 г. американският радиоинженер Карл Гуте Янски (1905–1950) открил съществуването на *микровълни*, които идват до нас от небето. Микровълните са подобни на светлината вълни без електричен заряд, които се движат праволинейно, без да се влияят от магнитните полета. Микровълните, както показва името им, са вълни също като светлинните, но тяхната дължина е около милион пъти по-голяма от тази на светлината.

Микровълните носят името си от гръцката дума *микро*, която означава „малък“. Те принадлежат към групата на излъчване, наречена *радиовълни*, и са най-малките в тази група. (Между другото микровълните често се разглеждат като радиовълни.)

Тъй като микровълните са много по-дълги в сравнение със светлинните, те имат по-малка енергия и се детектират по-трудно. Нещо повече — точността, с която може да бъде определено положението на източника на вълни, намалява с увеличаване на дължината на вълната при равни други условия. Затова е по-трудно да се определи мястото на един източник на микровълни, отколкото на

светлинния. По тази причина известно време не било направено почти нищо за изследването на микровълните.

Съществуването на микровълни в космическото пространство показва, че звездите излъчват във всички дължини на вълните. Оказва се, че както светлината с нейните къси дължини на вълните, така и микровълните се пропускат от земната атмосфера за разлика от вълни с други дължини, които не се пропускат. Атмосферата по една или друга причина е непрозрачна за вълни, по-къси от тези на светлината, за вълни с дължини, по-големи от тези на микровълните, както и за вълни с някои междинни дължини.

В началото на 1950 г. започна изстрелването на ракети в космическото пространство над атмосферата за изследване на тези дължини на вълните, които не се пропускат от нея. В началото космическите апарати престояваха много кратко време извън атмосферата, преди да се върнат отново на Земята.

От 1957 г. първо Съветският съюз, след него и САЩ започнаха да изстрелват спътници в орбита около Земята. Спътниците вече можеха да останат в орбита дълго време. Те носеха на борда си апаратура, която можеше да изследва пълния обхват на идващото от небето излъчване. С подходяща апаратура учените успяха да детектират *ултравиолетовите лъчи*, които имат по-малка дължина от вълните на видимата светлина, *рентгеновите лъчи*, които имат още по-малка дължина, и дори много по-късите *гама-лъчи*.

Бурните процеси изискват по-високи температури и водят следователно до по-високоенергетично излъчване. Всяка звезда може да излъчва светлина, но само звездите, в които протичат бурни процеси — т.е. по-интересните звезди, ще излъчват рентгенови лъчи.

Пример за това е нашето Слънце, което излъчва рентгенови лъчи от най-външния слой на атмосферата си, наречен *корона*. Това е така, защото топлината, излъчена от Слънцето, се поглъща от разпръснатите в короната разредени атоми и тяхната температура се повишава до милиони градуси. (Общата температура на короната обаче не е много висока, тъй като отделните атоми, макар и много горещи, са твърде малко на брой.)

Поради близостта си до нас Слънцето е най-мощният източник на рентгенови лъчи на небето. Ако то се намираще на разстоянието на най-близките звезди, неговото излъчване в този диапазон щеше да бъде

толкова слабо, че не би могло да се детектира. Сириус например е значително по-голяма и по-гореща звезда от нашето Слънце и несъмнено той също излъчва рентгенови лъчи, няколко пъти по-интензивни от слънчевите. Сириус обаче се намира на разстояние девет светлинни години и неговите рентгенови лъчи не могат да се уловят.

Ако рентгеновите лъчи можеха да се детектират от характерните за звездния свят разстояния, те биха свидетелствували за протичането на бурни процеси, но в началото астрономите смятаха, че тяхното детектиране не е възможно. До 1960 г. съществуваше мнението, че Слънцето е единственият източник на рентгенови лъчи в Космоса. Независимо от това астрономите проявяваха интерес към изследването и на нощното небе, тъй като имаше вероятност рентгеновите лъчи на Слънцето да се отразяват от Луната — това би донесло информация за свойствата на нейната повърхност. (Всичко това ставаше още преди астронавтите да кацнат на Луната.)

През 1963 г. под ръководството на американския астроном Хърбърт Фридман (1916) бяха проведени извънатмосферни изследвания за детектиране на отразените от Луната рентгенови лъчи. Такива не бяха намерени, но за голяма своя изненада учените уловиха рентгенови лъчи от други направления. През следващите години бяха изстреляни няколко спътника с единствената цел да картират небето в рентгеновата област. Те успешно определиха положенията на стотици рентгенови източници.

Това показва Вселената в съвършено нов облик. Рентгенов източник, който може да се забележи на звездни, дори и на галактични разстояния, свидетелствува за бурни процеси, силно надхвърлящи всичко, което досега сме познавали.

Съществуването на рентгенови източници отново събуди надеждата, че неутронните звезди могат да бъдат детектирани. След образуването си неутронната звезда в известен смисъл представлява оголено звездно ядро. Температурата на повърхността ѝ е като температурата на звездните недра в обикновените звезди. По теоретични пресмятания такава звезда трябва да свети с повърхностна температура 10 000 000°C.^[1]

Една неутронна звезда с такава температура на повърхността си ще излъчва главно в рентгеновата област. Логически следва въпросът,

дали някои от космичните рентгенови източници не са неутронни звезди.

Естествено това не е единствената възможност. Източник на рентгенови лъчи може да бъде силно нагорещеният газ, изхвърлен при взривяването на свръхнови — механизмът е същият, както и в короната на Слънцето.

Тези две възможности трябва да се разграничат — една неутронна звезда ще изглежда като точка, а газовият облак — като добре очертано петно. Следователно много неща ще зависят от това, дали рентгеновият източник е точков или площен^[2] обект.

Първа била заподозряна като източник на рентгеново излъчване Ракообразната мъглявина. Тъй като това е остатък от огромен взрив на свръхнова в нейния център сред изхвърлените газове може да се намира неутронна звезда. Освен това газът там се намира в състояние на енергетичен хаос. Затова рентгеновите лъчи могат да се породят както от предполагаемата неутронна звезда, ако такава съществува, така и от газа или и от двете, взети заедно.

През 1964 г. се очаквало Луната да покрие Ракообразната мъглявина. При това тя би могла да засенчи нейното рентгеново излъчване. Ако източникът е точков, какъвто е неутронната звезда, при преместването на Луната пред мъглявината неговият интензитет в даден момент изведнъж ще намалее до нула. А ако източник е газът, то интензитетът ще намалява постепенно. В случай че рентгеновите лъчи идват и от двата източника, интензитетът им отначало ще спада плавно, след което ще има внезапен минимум, а след него отново следва плавно покачване, симетрично по форма на началния спад.

По време на покритието на Ракообразната мъглявина от Луната била изстреляна ракета за измерване на интензитета на рентгеновите лъчи. При движението на Луната излъчването постепенно отслабнало. Като че ли източникът бил турбулентният газ в мъглявината. Надеждите за откриването на неутронна звезда повехнали.

[1] Ако космическото яйце беше гигантска неутронна звезда, неговата повърхностна температура ще бъде най-малко 1 000 000 000 000 градуса и то ще излъчва гама-лъчи. ↑

[2] Площни наричаме такива обекти, в които могат да се различават отделни детайли. За разлика от точковите обекти те имат

определена площ. — Б.ред. [↑](#)

ПУЛСАРИ

Междувременно обаче астрономите започнаха да използват в работата си микровълните и науката *радиоастрономия* много бързо се разви, достигайки висока степен на сложност и давайки голяма продуктивност. Астрономите построиха специални детектиращи устройства — *радиотелескопи*, с помощта на които може да се определя с голяма точност положението на източниците на микровълни, както и да се изследват детайлно техните свойства.

В началото на 1960 г. например, радиоастрономите установиха, че някои източници на микровълни променят своя интензитет доста бързо, те като че ли мигат. Учените започнаха да проектират радиотелескопи, специално пригодени да улавят тези много бързи промени. Такъв радиотелескоп беше построен в обсерваторията на Кембриджския университет от Антъни Хюиш (1924). Той беше съставен от 2048 отделни приемни устройства, разположени на площ 18 000 m².

През юли 1967 г. новият радиотелескоп започна да сканира небето. Още първия месец дипломантката Джоселин Бел регистрирала микровълнови импулси, идващи от празно място, разположено между звездите Вега и Алтаир — те също били много бързи. Отначало тя сметнала, че наблюдаваният ефект се дължи на смущения от електроуредите в околността. Но по-късно тя установила, че източниците на тези бързо променящи се импулси се местят регулярно от нощ към нощ заедно със звездите от небесната сфера. Причината за това явление очевидно била извън Земята и това накарало Бел да докладва резултатите от своите наблюдения на Хюиш.

До края на ноември явлението било внимателно изучено. Хюиш очаквал някакви бързи флуктуации, но не чак толкова. Всеки импулс имал продължителност само 1/20 от секундата, а импулсите се излъчвали през интервал около 1 и 1/3 секунди. Те идвали с една наистина забележителна регулярност — по един импулс на всеки 1,33730109 секунди.

Новият радиотелескоп лесно регистрирал тези микровълнови импулси, тъй като те били достатъчно силни. Обикновените радиотелескопи обаче не били пригодени да улавят такива къси импулси. Тъй като мъртвото им време е по-голямо от интервала между импулсите, те могат да измерват само средния интензитет на микровълните. Този среден интензитет е едва 3,7% от максимума на импулсите и затова този максимум останал незабелязан.

Възникнал въпросът, какво крие в себе си това явление? Щом като източникът на микровълните изглежда като точка, то той може да бъде звезда. Импулсите били краткотрайни и това накарало Хюиш да мисли, че източникът е някакъв вид *пулсираща звезда*. Наименованието било съкратено веднага до *пулсар* и именно под това име новите обекти станали широко известни.

Хюиш потърсил по картите от предишните наблюдения други такива обекти и открил още три пулсара. Той проверил още веднъж своите доказателства и на 9 февруари 1968 г. обявил откритието си пред света.

Другите астрономи също започнали с настървение да търсят такива обекти и така бързо били открити още пулсари. До 1975 г. били известни вече 100 пулсара, а броят им в нашата галактика вероятно е около 100 000.

Две трети от пулсарите, чието положение на небето е известно, се намират в областите, където звездите в нашата Галактика са гъсто разположени. Това е сериозно доказателство, че пулсарите са част от нашата Галактика. (Няма причина да предполагаваме, че те не съществуват и в други галактики, но вероятно такива пулсари са твърде слаби, за да бъдат открити при огромните разстояния до галактиките.) Най-близкият известен пулсар е отдалечен на около 300 светлинни години.

Всеки пулсар се характеризира с изключително постоянство на пулсациите, но има разлики в периодите на отделните пулсари. Най-дългият период на пулсация е 3,75491 секунди.

Пулсарът с най-къс период, известен досега, е открит през октомври 1968 г. в Грик Бенк, Западна Вирджиния. Той се намира в Ракообразната мъглявина (и с неговото откритие била направена първата реална връзка между пулсари и свръхнови), като неговия

период е само 0,033099 секунди. Той пулсира 30 пъти в секунда или 113 пъти по-бързо от пулсара с най-дългия известен период.

Но какво може да предизвика тези толкова бързи импулси, които се излъчват с такава фантастична регулярност?

Когато открили първите пулсари, Хюиш и неговите колеги астрономи останали толкова озадачени, че дори предположили съществуването на някаква форма на извънземен разумен живот някъде далеч в пространството, която изпраща тези сигнали. Още преди да влезе в употреба думата *пулсар*, учените използвали за означаване на тези обекти съкращението МЗЧ — т.е. „малки зелени човечета“.

Тази представа за изкуствения произход на сигналите не просъществувала дълго. За генерирането на такива импулси е необходима 10 милиона пъти повече енергия, отколкото човечеството може да произведе. Не изглежда правдоподобно толкова много енергия да се изразходва само за изпращането на регулярни сигнали, които не носят информация. Освен това с откриването на все повече нови пулсари изглеждало невероятно толкова много различни форми на живот да се намират едновременно в еднакъв стадий на развитие и да изпращат сигнали към нас. Затова тази теория бързо била изоставена.

Но все пак нещо трябва да претърпява строго периодични промени — въртене около друго тяло, завъртане около оста си, пулсации — достатъчно бързи, за да предизвикат импулсите.

За да се предизвикат толкова бързи промени с освобождаване на толкова огромно количество енергия, би трябвало да съществува гравитационно поле с мощен интензитет. Астрономите не познавали обекти с такива свойства, но изведнъж се сетили за белите джуджета.

Теоретиците се захванали веднага с тази идея, но не могли да си обяснят как едно бяло джудже може да обикаля около друго, да се върти около оста си или да пулсира с достатъчно кратък период, за да се получи пулсар. Могат да съществуват малки бели джуджета с интензивни гравитационни полета, но те нито са достатъчно малки, нито техните гравитационни полета са толкова интензивни. Те ще се разкъсат и разрушат, ако трябва да обикалят едно около друго, да се въртят около оста си или да пулсират с периоди, по-малки от четири секунди.

Необходим е някакъв обект, по-малък и по-плътен от бяло джудже. Роденият в Австрия астроном Томас Голд (1920) предположил, че пулсарите са именно тези неутронни звезди, които Опенхаймер разглеждаше теоретично. Голд показал, че неутронната звезда е достатъчно малка и плътна и може да се върти около оста си с период четири секунди или по-малък.

Освен това неутронната звезда трябва да има магнитно поле като това на обикновената звезда, но то трябва да е толкова концентрирано и уплътнено, колкото и веществото в нея. По тази причина магнитното ѝ поле е невероятно по-интензивно от полетата на обикновените звезди. При въртенето около оста си неутронната звезда изхвърля електрони, които се улавят от магнитното поле и могат да избягат само през магнитните полюси в двете срещуположни страни на звездата.

Магнитните полюси могат и да не съвпадат с оста на истинското въртене (както е например при Земята). Всеки магнитен полюс прави един оборот около оста на въртене за броени секунди или за части от секундата и разпръсква електроните в пространството (както правят това въртящите се водни пръскачки). След като се изхвърлят, електроните изкривяваха траекториите си под действието на магнитното и на гравитационното поле на неутронната звезда. Губейки енергия, не всички електрони могат да избягат, но тази загубена енергия се излъчва под формата на микровълново лъчение.

По този начин всяка неутронна звезда изстрелва две струи микровълново излъчване от двата срещуположни полюса на миниатюрното си кълбо. Ако струята, изхвърлена от неутронната звезда при въртенето ѝ около оста, пресича лъча на зрение, то при всяко завъртане на звездата на Земята ще се детектира кратък микровълнов импулс. Според изчисленията на някои астрономи само една от всеки сто неутронни звезди изпраща микровълново излъчване в посока към нас, така че от съществуващите 100 000 звезди от този вид в нашата Галактика ние няма да бъдем в състояние да открием повече от 1000.

Голд твърдял още, че ако теорията му е вярна, то през полюсите на неутронната звезда ще изтича енергия и скоростта ѝ на въртене трябва да намалява. Това означава, че колкото по-бърз е един пулсар, толкова по-млад е той, толкова по-бързо ще губи енергия и ще забавя въртенето си.

Най-бързият известен пулсар е пулсарът в Ракообразната мъглявина и вероятно той е и най-младият, който сме имали възможност да наблюдаваме досега, тъй като неутронната звезда в мъглявината се е образувала само преди 900 години при експлозията на свръхнова. В момента на своето образуване пулсарът в Ракообразната мъглявина вероятно се е въртял около оста си 1000 пъти в секунда, като бързо е губел енергия. През тези първи 900 години от неговото съществуване е изтекла над 97% от енергията му и сега той се завърта само 30 пъти в секунда. Вероятно пулсарът ще продължава все повече и повече да забавя въртенето си.

Периодът на пулсара от Ракообразната мъглявина беше изследван внимателно и наистина се установи, че той забавя въртенето си точно според предвижданията на Голд. Всеки ден неговият период се увеличава с 36,48 милиардни части от секундата и при този темп той ще се удвоява веднъж на всеки 1200 години. Същият феномен се наблюдава и при други пулсари, чиито периоди са по-големи от този на пулсара в Ракообразната мъглявина и скоростта им на забавяне е по-малка. Първият открит пулсар, сега означен като CP 1919, има период 40 пъти по-дълъг от този на пулсара в Ракообразната мъглявина и темпът на забавянето му е такъв, че удвояването на периода ще става веднъж на 16 милиона години. Когато пулсарът започва да се върти по-бавно, излъчваните от него импулси отслабват. При периоди, надвишаващи 4 секунди, пулсарите ще отслабнат до такава степен, че няма да могат да се детектират. Обаче пулсарите пребивават в състояние, когато могат да бъдат детектирани в продължение на десетки милиони години.

В резултат на изследването на забавянето на импулсите днес астрономите вече със сигурност знаят, че пулсарите са неутронни звезди.

Понякога пулсарът може да ускори внезапно своя период, като увеличението е много малко, но след това тенденцията към забавяне продължава. Това явление беше открито през февруари 1969 г., когато периодът на пулсара Vela X-1^[1] (намиращ се в остатъка на свръхновата, избухнала преди 15 000 години в съзвездието Корабни платна) внезапно се промени. Внезапната промяна в периода беше наречена на жаргон *глич* от немско-европейската дума, която означава

„приплъзване“, и впоследствие този термин навлезе в научната терминология.

Някои астрономи предполагат, че това приплъзване е в резултат на *звездотресения*, т.е. на преразпределение на масите в неутронната звезда, изразяващо се в скъсяване на диаметъра ѝ с около сантиметър или още по-малко. А може би това се дължи на гигантски метеор, който се забива в неутронната звезда и добавя своята енергия към нейното въртене.

Естествено няма никакви причини да смятаме, че изхвърляните от неутронната звезда електрони губят енергия само във вид на микровълново излъчване. Те ще излъчват и в другите диапазони на спектъра. Ще се излъчват и рентгенови лъчи, както е в случая с Ракообразната мъглявина. Около 10-15% от рентгеновото излъчване на мъглявината се дължи на неутронната звезда в нея. Останалите 85 или повече процента идват от турбулентния газ. Този факт беше обезверил онези астрономи, които още през 1964 г. търсеха неутронна звезда в Ракообразната мъглявина.

Неутронната звезда проблясва и във видимите диапазони на спектъра. През 1969 г. астрономите откриха, че една слаба звезда от шестнадесета величина в Ракообразната мъглявина променя блясъка си през съвсем точни интервали, равни на интервалите на микровълновите импулси. Тези импулси и времето между тях бяха толкова кратки, че беше необходима нова специализирана апаратура за тяхното улавяне. При наблюдение с обикновен телескоп изглеждаше, че звездата има постоянен блясък. Неутронната звезда в Ракообразната мъглявина беше първият открит *оптичен пулсар* — първата и единствена досега видима неутронна звезда.

[1] Vela е латинското название на съзвездие Корабни платна, което се намира на южното небе и не може да се наблюдава от България. Добавката X-1 означава, че това е първият рентгенов източник, регистриран в съответното съзвездие. — Б.ред. ↑

СВОЙСТВА НА НЕУТРОННИТЕ ЗВЕЗДИ

Астрономите все още не са наясно с подробностите по структурата и състава на неутронните звезди. Възможно е на самата повърхност да има тънък слой обикновено вещество, съставен предимно от желязо. Възможно е да съществува даже и газообразна атмосфера от желязо с дебелина вероятно около половин сантиметър. Има също така заредени частици като електрони и атомни ядра, които се задържат от свръхинтензивното магнитно поле на неутронната звезда. Точно тези електрони се изхвърлят от магнитните полюси и генерират импулсите, които улавяме на Земята.

Под тази най-външна обвивка от нормално вещество се намира кора от добре уплътнени железни ядра, които имат характеристики на „твърдо тяло“ независимо от това, че температурата на тази кора е милиони градуси. Външният край на кората има плътност само $100\,000\text{ g/cm}^3$, но тя бързо се увеличава с дълбочината.

Тази твърда повърхност с якост около милиард милиарда пъти по-голяма от якостта на стоманата и с „планини“, високи вероятно не повече от един сантиметър, непрекъснато се пренарежда, за да достигне по-компактна форма. Това пренареждане предизвиква приплъзванията, които намаляват слабо периода на въртене.

С увеличаването на плътността под кората атомните ядра не могат да запазят своята цялост и веществото се превръща изцяло в неутрони. Близко до малкото звездно ядро може би има море от още по-масивни частици, наречени *хиперони*^[1].

Една важна характеристика на неутронната звезда е нейната маса. През 1975 година за първи път беше определена масата на неутронна звезда. Въпросната звезда бе Vela X-1 и нейната маса се оказа 1,5 пъти по-голяма от слънчевата. Този факт сам по себе си е много интересен, тъй като тази маса е малко над границата на Чандрасекар. Нито едно бяло джудже не може да бъде толкова масивно. (Трябва да си припомним, че теоретично е възможно да съществуват също и неутронни звезди, чиято маса е значително под границата на Чандрасекар.)

повърхност (нека приемем, че Слънцето има повърхност в земния смисъл и че човекът би оцелял след един такъв опит) ще тежи почти 2000 kg.

Сега, ако си представим едно тяло с определена маса, което постепенно се свива и става все по-малко, то всеки обект на повърхността му ще се приближава все повече и повече към центъра му. Според закона на Нютон за гравитацията повърхностното привличане (приемаме, че масата на тялото остава същата) се изменя обратнопропорционално^[2] на квадрата на диаметъра.

И така, ако свием една звезда от $1/2$ от първоначалния ѝ диаметър, то повърхностната ѝ гравитация е 2×2 или 4 пъти по-голяма от първоначалната. Ако свием звездата от $1/6$ от първоначалния ѝ диаметър, тогава повърхностната ѝ гравитация е 6×6 или 36 пъти по-голяма от първоначалната и т.н.

Сириус В, който има диаметър $1/30$ от диаметъра на Слънцето, и маса почти колкото слънчевата, трябва да има повърхностна гравитация 30×30 , или 900 пъти по-голяма от тази на Слънцето. Нашият въображаем 70-килограмов човек, който може да оцелее след каквото и да е експеримент, би тежал на повърхността на Сириус В 1 800 000 kg.

Неутронна звезда с масата на Слънцето и диаметър 14 km (или $1/100\ 000$ от слънчевия) трябва да има повърхностна гравитация $100\ 000 \times 100\ 000$, или 10 000 000 000 пъти по-голяма от слънчевата повърхностна гравитация. Нашият 70-килограмов човек би тежал там 20 трилиона kg.

А какво става с периодите на въртене?

Нашата Земя, която има обиколка 40 000 km, се завърта около оста си за едно денонощие. Това означава, че една точка от земния екватор, която описва по-голяма окръжност в сравнение с останалите точки от земната повърхност, обикаля около Земята с постоянна скорост близо половин километър в секунда. Тази скорост намалява постепенно с увеличаването на разстоянието от екватора, било то на север или на юг от него, докато не стане нула на полюсите.

Скоростта на въртене създава центробежен ефект, който се стреми да противодействува на гравитационното привличане. Този центробежен ефект се увеличава със скоростта на въртене, така че той е нула на полюсите и нараства с приближаването към екватора,

достигайки там максимума си. Центробежният ефект се стреми да изтласка веществото навън от центъра на въртене, Най-силно е неговото действие на екватора, така че можем да говорим за *екваториална изпъкналост*. Тя не е голяма. Екваториалният диаметър (разстоянието от една точка на екватора до противоположната ѝ точка през центъра на Земята) е с 43 километра по-дълъг от полярния диаметър (който преминава от единия полюс до другия), т.е. екваториалният диаметър е приблизително с около 1/300 част по-голям от полярния и това число е мярка за *сплеснатостта* на Земята.

Нека сега да разгледаме Юпитер. Юпитер — най-голямата планета — има екваториална обиколка 449 000 km и се завърта около оста си за 9,85 часа. Следователно всяка точка от екватора на тази планета се движи със скорост 12,7 km/s, т.е. над 25 пъти по-бързо от точките на земния екватор.

Независимо че гравитацията на Юпитер е по-голяма, огромната скорост на въртене на планетата заедно с това, че нейното вещество е съставено от по-леки и по-малко компактни елементи в сравнение със земното вещество, довеждат до по-голяма сплеснатост на Юпитер. Екваториалният му диаметър е с 8700 километра по-дълъг от полярния. Неговата сплеснатост е 1/16.^[3]

За сравнение Слънцето има обиколка 4 363 000 km и се завърта около оста си за 25,04 денонощия. Следователно една точка от слънчевия екватор се движи със скорост около 2 километра в секунда. Това е скорост, 4 пъти по-голяма от тази на точка от земния екватор и само 1/6 от скоростта на точка от екватора на Юпитер. Съчетанието от относително малката скорост на въртене на Слънцето и неговата огромна повърхностна гравитация не дава възможност да се измери сплеснатостта му. Поради това ние можем да твърдим, че Слънцето е идеална сфера.

Ние не знаем какъв е периодът на въртене на Сириус В, както и на което и да е бяло джудже, но от периода на пулсация на пулсарите можем да заключим, че една типична неутронна звезда трябва да се завърта за около 1 секунда. Ако нашата неутронна звезда с диаметър 14 km има период на въртене 1 s, тогава всяка точка от нейния екватор ще се движи със скорост около 44 km/s.

Това е скорост 3,5 пъти по-голяма от скоростта на точка от екватора на Юпитер, 21,8 пъти по-голяма от скоростта на точка от

слънчевия екватор и 95 пъти по-голяма от скоростта на точка от земния екватор. Въпреки това, имайки предвид огромния интензитет на гравитационното поле на неутронната звезда, можем да бъдем сигурни, че нейната скорост на въртене, колкото и да е голяма по стандартите на Слънчевата система, няма да е достатъчна, за да премести каквото и да е вещество срещу гравитацията посредством центробежния ефект. Така или иначе, неутронната звезда трябва да е идеална сфера. Ние сме също съвсем сигурни, че и бялото джудже е една идеална сфера.

Ако центробежната сила не е в състояние да премести веществото на белите джуджета и неутронните звезди на забележимо разстояние срещу гравитацията, можем да направим извода, че скоростта на избягване от такива тела трябва да е наистина голяма и ще бъдем прави.

Скоростта на избягване се променя обратнопропорционално на квадратния корен от диаметъра (при предположение, че масата не се променя). И така, ако една звезда се свие до $1/36$ от първоначалния си диаметър, тогава скоростта на избягване ще се увеличи 6 пъти (тъй като 6 е корен квадратен от 36).

Ако продължим тези разсъждения, ще видим, че Сириус В, чиято маса е равна на слънчевата и диаметърът му е $1/30$ от слънчевия, трябва да има скорост на избягване 5,5 пъти по-голяма от тази на Слънцето. Тъй като скоростта на избягване от повърхността на Слънцето е 617 km/s, то тази скорост за Сириус В трябва да е 3400 km/s.

От друга страна, нашата неутронна звезда с маса колкото слънчевата, но с диаметър само $1/100\ 000$ от неговия трябва да има скорост на избягване от повърхността си 316 пъти по-голяма от тази на Слънцето, което е корен квадратен от 100 000. Скоростта на избягване от неутронната звезда трябва да е равна на 617×316 , или почти 200 000 km/s.

Тези стойности на скоростите на избягване са много важни за нас, тъй като представляват нов километричен камък по нашия път към черните дупки. Нека тогава да ги представим в таблица 12.

Таблица 12. Скорости на избягване

Обект	Скорост	на	Скорост	на	избягване	(част от
-------	---------	----	---------	----	-----------	----------

	избягване (km/s)	скоростта на светлината)
Земя	11,2	0,0000373
Юпитер	60,5	0,00020
Слънце	617	0,0020
Сириус В	3 400	0,011
Неутронна звезда	200 000	0,67

За обекти, изградени от нормално вещество, скоростта на избягване в сравнение със скоростта на светлината е незабележимо малка. Дори за Слънцето тази скорост е само 1/500 от скоростта на светлината. При белите джуджета тя е вече 1/100 от нея и самата светлина губи забележимо количество енергия, когато се излъчва в пространството. Точно тази загуба на енергия, изразила се в малкото червено отместване в спектъра на Сириус В, дала възможност на Адамс да определи, че звездата е много плътна.

Неутронната звезда има скорост на избягване около 2/3 от тази на светлината и айнщайновото отместване ще бъде много по-голямо. Ние наблюдаваме рентгеновото излъчване на неутронните звезди и ако гравитационният ефект не беше толкова голям, рентгеновите вълни, които идват до нас, биха били далеч по-къси, отколкото са в действителност. Що се отнася до по-дълговълновото излъчване като видимата светлина и още по-дългите микровълни, голяма част от това излъчване не би съществувало без ефектите, които удължават вълните в гравитационното поле на неутронните звезди.

[1] Хипероните могат да се получават и в лабораториите, но на Земята те се разпадат за по-малко от една милиардна част от секундата. ↑

[2] Под *обратнопропорционално* разбираме изменението в противоположни посоки на повърхностната гравитация и диаметъра. С намаляване на диаметъра повърхностната гравитация се увеличава, а с увеличаване на диаметъра повърхностната гравитация намалява. ↑

[3] Сатурн е малко по-малък от Юпитер, не се върти толкова бързо, гравитационното му поле е по-малко и е по-сплеснат от Юпитер. ↑

ПРИЛИВНИ ЕФЕКТИ

Съществува и друг вид гравитационен ефект, който можем да пренебрегнем на повърхността на Земята, но който е от изключително значение в областта около неутронната звезда. Това е *приливният ефект*.

Интензитетът на гравитационното привличане между два отделни обекта с дадена маса зависи от разстоянието между техните центрове. Например, когато сме на повърхността на Земята, интензитетът на земното гравитационно привличане зависи от разстоянието ни до центъра на Земята.

Не всички ние обаче се намираме на еднакво разстояние от центъра на Земята. Нашите стъпала са почти два метра по-близо до земния център от главата ни. Това означава, че те се привличат по-силно от Земята, тъй като гравитационното привличане се увеличава с намаляването на разстоянието. Това различие в гравитационното привличане между крайните точки на един обект поражда приливния ефект.

В нормални условия приливните ефекти не са големи. Нека си представим човек (от по-едрите) с височина два метра и тегло 90 kg. Ако той се намира на морското равнище в САЩ, стъпалата му ще са на около 6 370 000 m от центъра на Земята. Да допуснем, че разстоянието е точно толкова. Тогава темето му ще е на 6 370 002 m от земния център.

Гравитационното привличане в горната част на главата му е $(6\,370\,000/6\,370\,002)^2$ от гравитационното привличане върху стъпалата му. Това означава, че гравитационното привличане върху краката му е 1,0000008 пъти по-голямо от привличането, действащо върху главата му. Това е равносилно на твърдението, че главата и стъпалата му ще се разтягат едни спрямо други от сила на привличане 0,000071 kg^[1], което е равно на теглото на четири капки вода. Това гравитационно привличане е много малко, за да го усетим — затова ние не чувстваме приливните ефекти, предизвикани от Земята върху нашето тяло.

Приливният ефект е по-голям, ако подложеният на този ефект обект има по-големи размери, така че да се получи по-голяма разлика в силата, упражнена върху двете крайни точки на обекта. Вместо човек нека разгледаме Луната. Тя има диаметър 3475 km и нейният център е на разстояние средно 384 321 km от центъра на Земята. Ако си представим, че Луната винаги се намира на такова разстояние (в действителност в продължение на един месец то слабо се променя в двете посоки), тази част от нейната повърхност, която е обърната към Земята, ще бъде на 382 584 km от земния център, а противоположната — на 386 058 km от него.

Гравитационното привличане върху близката страна на Луната, именно защото е близка, ще бъде 1,018 пъти по-голямо от това върху далечната страна.

Пълната сила на гравитационното привличане на Земята върху Луната (която можем да си представим като теглото, което ще има тя, ако се намира на една платформа на разстояние 384 321 km от земния център) ще е 20 000 000 000 000 000 kg.

Ако цялата Луна се намираще на разстоянието, на което е нейната близка страна, то тя би тежала с 800 000 000 000 000 000 kg повече, отколкото ако се намираще на разстоянието на далечната страна. Тогава можем да кажем, че Луната се разтяга в двете посоки от сила на привличане с именно такава стойност. Силата, еквивалентна на 800 милиона трилиона kg, не е за пренебрегване и затова Луната показва малка изпъкналост в направление към Земята. Диаметърът, който лежи на направлението към Земята, е малко по-голям от перпендикулярния му диаметър.

Същият механизъм работи и по друг начин. Самата Луна привлича Земята и това привличане е по-силно върху близката страна, отколкото върху далечната. И тъй като Земята има по-голям диаметър от Луната, това води до по-голяма разлика в гравитационното привличане и приливният ефект ще се увеличава. Но в сравнение със Земята Луната е по-малко тяло и затова поражда по-слабо гравитационно привличане, което от своя страна ще намалява приливния ефект.

В резултат печели намаляването. По-малкото гравитационно поле на Луната е по-важен фактор от по-големия диаметър на Земята. Ако вземем предвид само гравитацията, лунният приливен ефект

върху Земята би бил $1/81$ от този на Земята върху Луната. Но по-големият земен диаметър малко компенсират тази гравитация и действителният приливен ефект на Луната върху Земята е $1/70$ от земния ефект върху Луната.

Земята забележимо се разтяга в посока към Луната. За твърдото кълбо на Земята това разтягане е около една трета от метъра, а за водите на океаните — над един метър.

Следователно в океана има изпъкналост (и в твърдата кора също, само че по-малка) от страната, която е обърната към Луната, както и друга — от противоположната най-отдалечена страна на Земята. При въртенето си веществото на Земята преминава през едната изпъкналост, а после през другата. В резултат на това океанът приижда към брега и се оттегля обратно два пъти дневно (това движение към брега силно се влияе от очертанията на бреговата линия и от други фактори, които няма да разглеждаме в тази книга). Движението, което океанът извършва два пъти на ден, се нарича прилив и сега става ясно защо явлението се нарича приливен ефект.

Приливните сили на тела като Земята и Луната не са много големи в сравнение с пълната гравитационна сила, но те се променят с времето. С въртенето на Земята и всекидневното преминаване през приливните изпъкналости триенето между водата и дъното в плитките места на океаните превръща част от енергията на въртене в топлина. В резултат на това Земята бавно намалява скоростта си на въртене и продължителността на денонощието бавно се увеличава. Денонощието се удължава с една секунда на всеки 100 000 години. Това не изглежда много, но ако скоростта на намаляване е била постоянна, то в момента на образуването си Земята е имала период на околоосно въртене 12,7 часа.

Земята не може да губи *ъглов момент* (това е характеристика, която отразява темпа на нейното въртене), ако нещо друго в системата Земя — Луна не го „спечели“. Този момент се получава от Луната и в резултат на увеличаването на нейния момент тя бавно се отдалечава от Земята.

Приливният ефект на Земята върху Луната е забавил въртенето на Луната до състояние, в което Луната винаги е обърната с едната си страна към Земята.

Както и гравитацията, приливният ефект като цяло също се изменя с разстоянието между две дадени тела, но не по същия начин.

Нека предположим, че Земята и Луната бавно се приближават една към друга. Променяйки се обратнопропорционално на квадрата на разстоянието между тях, силата на гравитационното привличане при сближаването им ще се увеличава. Ако те дойдат на половината от предишното разстояние, гравитационното им привличане ще се увеличи 2×2 , или 4 пъти. Ако Земята и Луната са на една трета от предишното разстояние, гравитационното им привличане ще се увеличи 3×3 , или 9 пъти, и т.н.

Приливният ефект се увеличава по същия начин, както и пълното гравитационно привличане. По друга причина той ще се увеличава *допълнително*.

Приливният ефект зависи от размерите на тялото, което е подложено на действието на гравитационното поле. Колкото по-голямо е тялото, толкова по-голям е приливният ефект. От значение са не просто размерите на тялото, а размерите му в сравнение с разстоянието до центъра на гравитационното привличане.

Диаметърът на Луната е 3475 km, което представлява 0,009 от разстоянието между Луната и Земята. Ако разстоянието между двете планети стане двойно по-малко, то диаметърът на Луната (който остава непроменен) ще представлява вече 0,018 от това разстояние. С други думи, с намаляване на разстоянието приливният ефект ще се увеличава пропорционално на това намаляване, тъй като отношението на диаметъра на Луната към взаимното разстояние между телата все повече ще нараства.

Следователно съществуват два фактора, които водят до увеличаване на приливните ефекти. Единият фактор отразява увеличение, което е обратнопропорционално на квадрата на разстоянието, а другият отразява увеличение, обратнопропорционално на самото разстояние. Така, ако намалим двойно разстоянието между Земята и Луната, то приливният ефект ще се увеличи 2×2 пъти поради първия фактор и 2 пъти поради втория. Общото увеличение ще бъде следователно $2 \times 2 \times 2$, или 8 пъти. $2 \times 2 \times 2$ е 2, повдигнато на куб — затова казваме, че приливният ефект се променя обратнопропорционално на куба от разстоянието.

Ако разстоянието между две тела се увеличи 3 пъти в сравнение с първоначалното, тогава приливният ефект намалява до $1/3 \times 1/3 \times 1/3$, или $1/27$ от първоначалния. Обратно, когато разстоянието между две тела стане три пъти по-малко от първоначалното, то приливният ефект нараства $3 \times 3 \times 3$, или 27 пъти в сравнение с първоначалния.

Следователно, ако Земята и Луната се приближават една към друга, то приливният ефект на всяко едно от двете небесни тела върху другото ще нараства постоянно и много бързо. (Обаче независимо от разстоянието между тях приливният ефект на Земята върху Луната ще се запази 70 пъти по-голям от приливния ефект на Луната върху Земята.)

При това сближаване, (още далеч преди двете тела да се допрат) идва момент, когато приливният ефект ще стане толкова голям, че самото вещество на Луната ще започне да се разрушава. В този момент Земята, изпитваща само $1/70$ от приливния ефект, който изпитва Луната върху себе си, ще остане цяла, въпреки че огромните приливи и отливи на океаните несъмнено ще разрушат всичко на земната повърхност.

През 1849 г. френският математик Едуард А. Рош (1820–1883) показал, че ако един спътник се крепи само от действието на собствената си гравитация — ако той например е в течно състояние — то когато такъв спътник при въртенето си се приближи до планетата на разстояние, по-малко от 2,44 нейни радиуса, той ще се разруши. Това разстояние се нарича *граница на Рош*. Ако спътникът се крепи като едно цяло и от електромагнитните сили, както е при нашата Луна например, той може да се приближи на разстояние, по-малко от 2,44 земни радиуса, преди приливите да го разтегнат така, че да го разрушат.

Екваториалният радиус на Земята е 6378,5 km, затова границата на Рош на Земята е 15 500 km. Това е само $1/25$ от действителното разстояние до Луната. Ако Луната някога се приближи до Земята под тази граница, тя ще се разруши и нейните частици ще се разпръснат в орбита около Земята. Ще се образува система от пръстени като пръстените на Сатурн, само че много по-големи. Приливни ефекти върху Земята няма вече да има, тъй като различните части на пръстените ще я привличат еднакво във всички посоки.

Разрушаването няма да продължи неопределено дълго. След разпадането на Луната на по-малки фрагменти всяка нейна част поради по-малките си размери ще изпитва по-малък приливен ефект. Най-накрая всички фрагменти ще станат твърде малки и намаляващият приливен ефект няма да може да ги разрушава по-нататък.

Ако един обект е достатъчно малък, приливният ефект няма да може да го разруши дори когато се е допрял до привличащото го тяло. Ето защо един космически кораб може да кацне на Луната без да бъде разкъсан. По същата причина ние и всички други обекти върху земната повърхност оставаме цели. Приливният ефект върху обект с нашите размери и с размерите на предметите около нас е незначителен.

Колкото по-голямо е гравитационното поле толкова по-голям е приливният ефект и толкова по-малки са фрагментите, които се разрушават в границата на Рош.

За да преминем към гравитационни полета по-силни от земното, нека да разгледаме Слънцето, което е 333 500 пъти по-масивно от Земята и следователно има 333 500 пъти по-силно гравитационно поле. По-големият диаметър на Слънцето отправя повърхността му по-далеч от центъра му в сравнение с разстоянието между земната повърхност и земния център. И понеже гравитационната сила се изменя обратнопропорционално на квадрата на разстоянието, то повърхностната гравитация на Слънцето е само 28 пъти по-голяма от земната.

Приливният ефект обаче се изменя обратнопропорционално на куба на разстоянието. Тъй като диаметърът на Слънцето е 109,2 пъти по-голям от земния, трябва да разделим 333 500 (това е интензитетът на гравитационното поле на Слънцето спрямо земния) на $109,2 \times 109,2 \times 109,2$, или 1 302 170. Като разделим 333 500 на 1 302 170, получаваме 0,256.

От това следва, че приливният ефект на Слънцето върху обектите от неговата повърхност е само $1/4$ от приливния ефект на Земята върху обекти от нейната повърхност.

Нека предположим, че Слънцето се свива без загуба на маса. Всеки обект от неговата повърхност ще идва все по-близо до центъра му и приливният ефект върху него ще се увеличава бързо.

Сириус В има маса, равна на масата на Слънцето, и диаметър само $1/30$ от слънчевия. Приливният ефект върху повърхността на

Сириус В ще бъде 30 X 30 X 30, или 27 000 пъти по-голям от този върху слънчевата повърхност и 7000 пъти по-голям от ефекта върху повърхността на Земята.

Ако си представим едно човешко същество (с височина 2 m и тегло 90 kg), застанало на повърхността на бяло джудже, и ако за миг допуснем, че не му влияят излъчването, топлината и гравитацията, това същество все още няма да почувствува голям дискомфорт от приливния ефект на звездата, макар че той е много по-голям от този на земната повърхност. Умножавайки земния ефект на 700, разтягането под действието на приливния ефект ще бъде само 0,5 kg.

Какво можем да кажем за границата на Рош? Тъй като границата на Рош се намира на разстояние 2,44 радиуса на тялото, върху което действа гравитационното привличане, и кубът на 2,44 е 14,53, то приливният ефект, породен от всяко тяло на неговата граница на Рош, е 1/14,53 от приливния ефект върху повърхността на това тяло. Ако приливният ефект на Сириус В е 7000 пъти по-голям от този на Земята и ако двата ефекта се разделят на 14,53, ще се запази същото отношение, т.е. приливният ефект на границата на Рош около Сириус В е 7000 пъти по-голям от приливния ефект на границата на Рош около Земята.

Това означава, че всеки по-голям обект в достатъчна близост до едно бяло джудже ще се разруши на много по-фини части, отколкото ако бъде поставен достатъчно близко до Слънцето или до Земята. Това означава също, че по-малките обекти, които биха оказали съпротива на приливното разрушаване в границите на Рош на Земята и на Слънцето и биха останали цели, ще се разрушат под действието на бялото джудже.

Сега да продължим нататък и да предположим, че обект с масата на Слънцето колапсира до неутронна звезда и има диаметър само 14 km. Всеки обект на повърхността му ще бъде 100 000 пъти по-близо до центъра му, отколкото ако се намираше на повърхността на Слънцето. Следователно приливният ефект на повърхността на неутронната звезда е 100 000 X 100 000 X 100 000 по-голям от този на слънчевата повърхност или милион милиарда пъти повече от слънчевия и четвърт милиона милиарда пъти повече от земния.

Човек е ръст 2 m, който е стъпил на повърхността на една неутронна звезда и е успял да свикне с нейното излъчване, с топлината

и с гравитацията ѝ, ще бъде подложен на разтягане със сила 18 милиарда kg в направление към и от центъра на звездата — естествено, този човек (или всяко друго нещо на негово място) ще се разлети на отделни пращинки. Същото ще се случи и с всеки обект, попаднал в границата на Рош на неутронната звезда, намираща се на 34 km от центъра ѝ — той ще се раздроби на фини пращинки.

(Ще възникне и втори приливен ефект поради факта, че двете страни на едно тяло, намиращо се върху един кълбовиден обект, се привличат към центъра на обекта в леко различаващи се посоки. Това кара тялото да се свива странично. Когато кълбото е достатъчно голямо и неговата повърхност може да се приеме за плоска в пределите на ширината на тялото, този ефект е много малък. Дори и върху неутронна звезда той е достатъчно малък и може да се пренебрегне — естествено, в сравнение с ефекта на разкъсване.)

Човек, намиращ се на разстояние дори 5000 km от центъра на неутронната звезда, ще почувствува сила на разкъсване 45 kg, ако оста на тялото му сочи към центъра на звездата — това без съмнение би било болезнено.

Ако един бъдещ космически кораб с добра защита срещу топлината и радиацията стигне на 5000 km от една неутронна звезда (на такова разстояние тя ще представлява слаб, едва видим с невъоръжено око звездообразен обект), няма да има нищо особено в пълната гравитация, която действа върху него. Корабът ще пада свободно покрай неутронната звезда по крива траектория и отново ще се отдалечи от нея (ако скоростта му е достатъчно голяма). Във всеки случай, върху него няма да действа гравитационна сила, по-голяма от слънчевата — такава ние чувствуваме заедно със Земята и всичко върху нея, когато се движим около Слънцето.

Не е възможно обаче да се елиминира приливният ефект и преминаването на кораба на 5000 km от неутронната звезда ще представлява мъчителен експеримент за екипажа. (На по-близки разстояния до звездата астронавтите ще бъдат убити, а корабът ще се разруши).

През 1966 г. писателят фантаст Лари Нийвън написа един превъзходен разказ, озаглавен „Неутронната звезда“, в която той описва как приливните ефекти почти разкъсват един непредпазлив астронавт, попаднал твърде близо до такава звезда. За тази история

през следващата година той получи наградата Хюго. (Това е награда за научна фантастика, която е еквивалентна на филмовия Оскар).

Но в действителност описаните в романа събития не биха могли да се случат. Приливните ефекти не представляват загадка за астрономите и това е така още от времето на Нютон — преди 300 години. Всяка група учени, която може да построи космически кораб така, че той да е в състояние да се приближи до някоя неутронна звезда, много добре си представя опасността от приливните ефекти и един астронавт (освен ако не стане повреда в оборудването) със сигурност би останал на безопасно разстояние от звездата.

[1] Навсякъде в книгата, където става дума за гравитационна сила или за ефекти, дължащи се на гравитационната сила (напр. приливните ефекти), авторът използва като единица за сила килограмът. Това не е килограмът — единица за маса в СИ, а рядко употребяваната днес единица килограм-сила, която се бележи с kgf. Килограм-силата е основна единица в системата МКГСС, означавана по първите букви на основните единици в нея (метър-килограм-сила-секунда). Тази система се нарича още техническа система единици. Връзката на единицата за сила в нея с единицата за сила в СИ е $1 \text{ kgf} \approx 9,8 \text{ N}$. — Б.ред. ↑

7.
ЧЕРНИТЕ ДУПКИ

ОКОНЧАТЕЛНАТА ПОБЕДА

Дори и сега ние не сме изминали целия път.

Ядрената сила, която поддържа неутрониума, може да окаже съпротива на достатъчно голям гравитационен натиск, който може да накара да колапсират обикновените атоми и даже електронния флуид. Затова неутрониумът издържа теглото на маси над границата на Чандрасекар. Но ядрената сила все пак не е безкрайно голяма. Дори и неутрониумът не може да издържи теглото на една безкрайно нарастваща маса.

Тъй като съществуват звезди 50–70 пъти по-масивни от Слънцето, не е невъзможно, когато започне колапсът, той да предизвика гравитационна фурия, по-голяма и по-интензивна от това, което може да издържи неутронната звезда. Какво става тогава?

През 1959 г., когато Опенхаймър разработвал теорията на неутронните звезди, той отчел тази възможност. Опенхаймър считал, че ако колапсиращата звезда е достатъчно масивна, тя може да се свие с такава сила, че дори неутроните ще потънат надолу под действието на падащото вещество — дори ядрените сили няма да издържат и ще се подчинят на гравитацията.

Кое е тогава следващото място, в което колапсът спира?

Опенхаймър видял, че такова място няма. Когато ядрената сила се предаде, не остава нищо, което да се противопостави на гравитацията. В крайна сметка тази най-слаба от всички сили при едно голямо натрупване на маса се превръща в най-силната. Когато колапсиращата звезда разруши съпротивителната бариера на неутрониума, тогава гравитацията печели своята окончателна победа. След това звездата продължава да колапсира, докато обемът ѝ се свие до нула, а нейната повърхностна гравитация стане безкрайно голяма.

Критичната повратна точка се появява при маса, 3,2 пъти по-голяма от слънчевата. Тъй като нито едно бяло джудже няма маса, 1,4 пъти по-голяма от слънчевата, то не може да продължи да колапсира. Също така и нито една неутронна звезда няма маса, 3,2 пъти по-голяма от слънчевата, и затова тя също не може да продължи да колапсира.

Ако колапсиращата маса надвишава 3,2 пъти слънчевата, то тя не може да спре колапса си нито до стадий на образуване на бяло джудже, нито до стадий на образуване на неутронна звезда — тя трябва да продължи да се свива по-нататък. Нещо повече, всяка звезда от главната последователност с маса над 20 слънчеви маси не може да се освободи от достатъчно маса дори и чрез взрив на свръхнова и не достига стадия на бяло джудже или неутронна звезда. Тя трябва да продължи да се свива до точка. Следователно за всяка звезда от спектрален клас O с изчерпването на ядреното ѝ гориво окончателната победа на гравитацията е сигурна.

(Докато обекти с маси, 3,2 пъти по-големи от слънчевата, *трябва* да колапсират докрай, след като веднъж процесът е започнал, то — както ще видим по-късно — обекти с по-малка маса също *биха могли* евентуално да колапсират по същия начин.)

Какво ще стане, когато гравитацията победи окончателно и дори неутрониумът се предаде? Какво ще стане при по-нататъшното свиване на неутронната звезда?

Повърхностната гравитация на неутронната звезда постепенно нараства, същото става и със скоростта на избягване, тъй като повърхността на колапсиращия обект се приближава все повече към центъра на свиване. По-напред в книгата вече видяхме, че неутронна звезда с маса, равна на слънчевата, има скорост на избягване 200 000 километра в секунда, което е две трети от скоростта на светлината.

Ако веществото на неутронната звезда продължи да се свива, а повърхностната гравитация става по-голяма, то неизбежно ще се стигне до състояние, при което скоростта на избягване ще стане равна на скоростта на светлината. Радиусът на свиващото се тяло, при което това се случва, се нарича *радиус на Шварцшилд*, тъй като той бил изчислен за първи път от немския астроном Карл Шварцшилд (1873–1916). Нулевата точка в центъра се нарича *сингулярност*^[1] на Шварцшилд.

За тяло с маса като тази на Слънцето радиусът на Шварцшилд е почти три километра. Диаметърът е съответно двойно по-голям, т.е. шест километра.

Да си представим тогава неутронна звезда с маса, равна на масата на Слънцето, която при свиването си преодолява неутронната бариера и диаметърът ѝ намалява от 14 до 6 километра. Нейната

плътност ще се увеличи тринадесет пъти и ще стане $17\,800\,000\,000\,000\,000\,000\text{ g/cm}^3$. А повърхностната ѝ гравитация ще бъде $1\,500\,000\,000\,000$ пъти по-голяма от земната, така че едно човешко същество със средно тегло, попаднало на такъв обект, би тежало 100 милиарда kg. Приливният ефект на повърхността на този обект е 13 пъти по-голям от приливния ефект на повърхността на неутронната звезда.

Най-важното свойство на такъв свръхколапсирал обект обаче е самият факт, че неговата скорост на избягване е равна на скоростта на светлината. (Естествено, ако обектът колапсира до размери, по-малки и от радиуса на Шварцшилд, то скоростта на избягване става по-голяма от скоростта на светлината.)

Физиците са сигурни, че не съществува физичен обект с маса, различна от нула, който да може да се движи със скорост, равна или по-голяма от скоростта на светлината. Това означава, че всяко тяло с радиус колкото радиуса на Шварцшилд или по-малък не може да изгуби маса чрез изхвърляне. Нищо, което има маса, не може да избегне последния капан, дори и електроните, които макар и трудно, но успяват да избягат от неутронната звезда.

Върху един свръхколапсирал обект могат да падат най-различни неща, но те не могат да бъдат изхвърлени обратно от него. Сякаш този обект е една безкрайно дълбока дупка в пространството.

Нещо повече, дори светлината, както и всяко друго излъчване, не може да избяга оттам. Светлината се състои от безмасови частици и вие бихте могли да си мислите, че гравитационното привличане, колкото и голямо да е то, не оказва влияние върху светлината. Обаче от айнщайновата обща теория на относителността знаем, че светлината, движейки се в гравитационно поле, губи част от своята енергия и това води до айнщайновото червено отместване. Това е факт, установен още от времето на Адамс, който е детектирал червено отместване при изследването на Сириус В. Когато радиусът на един колапсиращ обект е равен на радиуса на Шварцшилд или по-малък, породената от него светлина губи цялата си енергия и червеното ѝ отместване става безкрайно голямо. Това означава, че няма да се вижда никакво излъчване.

Свръхколапсиралият обект действа не просто като дупка, а като черна дупка, тъй като той не може да излъчва нито светлина, нито

каквото и да е друго излъчване. Точно това е причината описаният обект да се нарича *черна дупка*.

Това едва ли е подходяща дефиниция за астрономически обект, чието съществуване е плод на абстрактните теоретични разсъждения на астрономите. Определението звучи доста общо и обикновено. Другото име, което се предлага, е *колапсар*, съкратено от *колапсира* звезда. Обаче драматичната картина, заложена в названието „черна дупка“, както и голямата му простота като че ли гарантират неговото използване и в бъдеще.

Следователно сега имаме вече четири типа стабилни обекти:

1) *Планетни обекти*, покриващи диапазона от отделните субатомни частици до обектите с маса, около 50 пъти по-голяма от масата на Юпитер, но не повече. Те всички (с изключение на самите субатомни частици) са образувани от свързани атоми и обикновено имат средна плътност под 10 g/cm^3 .

2) *Черни джуджета*, които са бивши бели джуджета, изгубили толкова енергия, че не могат повече да светят и са станали невидими. Те имат маси, достигащи не повече от 1,4 слънчеви маси. Черните джуджета са изградени от електронен флуид, в който свободно се движат атомни ядра, и плътностите им са от порядъка на $20\,000 \text{ g/cm}^3$.

3) *Черни неутронни звезди*, които са бивши неутронни звезди, изгубили толкова енергия, че не могат повече да светят и са станали невидими. Техните маси достигат до около 3,2 слънчеви маси, но не повече. Черните неутронни звезди са изградени от неутрониум и плътностите им са от порядъка на $1\,500\,000\,000\,000 \text{ g/cm}^3$.

4) *Черни дупки*, които не излъчват светлина и масите им могат да бъдат безкрайно големи. Те са изградени от вещество, което не сме в състояние да опишем, и имат неопределено голяма плътност, достигаща до безкрайност.

Но дали тези четири разновидности на обекти са наистина стабилни, дали в тях няма да настъпят някакви по-нататъшни промени независимо от това, каква е продължителност им на живот?

Ако някакъв представител на който и да е от четирите класа се окаже сам във Вселената, то, доколкото можем да предполагаме, той ще бъде стабилен и няма да претърпи никаква забележима промяна. Усложненията идват от това, че нито един от тези обекти не е сам във Вселената. Вселената е огромна смесица от обекти с различна степен

на стабилност. Заедно с нестабилните обекти, като звездите, които еволюират в посока на един от трите крайни стадия на еволюцията, има и такива обекти, които вече са достигнали тези стадии, но все още продължават да излъчват светлина по пътя си към окончателната тъмнина и стабилност.

Какво става след това?

Да разгледаме например Земята. Тя губи част от своята маса, понеже атмосферата много бавно изтича в космическото пространство. Но от друга страна, масата ѝ нараства, понеже тя се сблъсква с множество метеорни тела и прибавя 35 000 000 килограма метеоритно вещество всяко денонощие^[2]. Това не е много в сравнение с цялата маса на Земята, но е значително повече от количеството маса, което тя губи за същото време. Следователно може да се каже, че Земята бавно, но постепенно увеличава масата си.

Аналогично и Слънцето непрекъснато губи маса — отчасти в процеса на превръщане на водорода в хелий и отчасти при изтичането на протони и други частици от неговата повърхност под формата на слънчев вятър. Та обаче също трябва да натрупва маса, тъй като събира прах и метеоритно вещество от пространството, през което преминава при движението си.

Способността да се губи маса е присъща на всички обекти с изключение на черните дупки. (Както ще видим по-нататък, съгласно някои умозрителни съображения има специални случаи, когато черните дупки също могат да губят маса.) Дори неутронните звезди изхвърлят електрони, в противен случай ние нямаше да можем да уловим техните микровълнови импулси. А свръхновите изхвърлят вещество, чиято маса може да е няколко пъти по-голяма от масата на Слънцето.

Въпреки това лесно може да се аргументира тезата за една обща тенденция, която наблюдаваме във Вселената — тенденцията големите обекти да нарастват за сметка на малките. Следователно можем да си представим (просто като една абстрактна концепция), че един обект от планетен тип може да придобие такова количество вещество, че в него да се възбудят ядрени реакции и той да стане звезда — твърде малка звезда наистина — която евентуално ще еволюира до стадий на бяло джудже и накрая ще се превърне в черно джудже.

Бихме могли също да си представим, че след като по един или друг начин някоя звезда е достигнала предполагаемия стадий на стабилно черно джудже, при движението си в пространството тя може да придобие толкова маса, че нейният електронен флуид да се разруши и джуджето да колапсира до неутронна звезда. По същия начин и неутронната звезда би могла да се сдобие с достатъчно маса, за да разбие неутрониума и да колапсира до черна дупка. От своя страна тази дупка, както изглежда на пръв поглед, по никакъв начин не може да губи маса — т.е. само може да трупа вещество без никакви ограничения.

Следователно съществува само един обект, който е стабилен във вечността, и този обект е черната дупка. И тогава в края на краищата в едно много отдалечено бъдеще — ако предположим, че нещата винаги ще се развиват по този начин, по който изглежда, че се развиват сега — можем да направим извода, че Вселената ще се състои само от черни дупки. А съвсем накрая цялата Вселена ще представлява само една-единствена черна дупка, която е погълнала всичко. Цялата Вселена ще колапсира (както съм загатнал в заглавието на тази книга).

А може би всичко не е така просто. Нека се върнем назад, като оставим размишленията за окончателната съдба на Вселената в контекста на черните дупки за малко по-нататък. Сега нека да разгледаме свойствата на черните дупки.

Първото нещо, което трябва да обсъдим, е въпросът за тяхното съществуване. Теоретично черните дупки трябва да съществуват — но съществуват ли те реално?

[1] Думата „сингулярен“ е латинска и е противоположна по смисъл на думата „регулярен“, т.е. правилен. Сингулярност означава „особеност“ и тук трябва да се разбира като особена точка, точка с особени свойства. — Б.ред. ↑

[2] Посочената тук стойност е силно завишена. В действителност оценките за количеството метеоритно вещество, което попада върху Земята, варират от няколко хиляди тона годишно до няколкостотин тона в денонощие. — Б.ред. ↑

ДЕТЕКТИРАНЕ НА ЧЕРНИТЕ ДУПКИ

Да се детектират черните дупки, не е лесно. Детектирането на белите джуджета поради малките им размери и слабия им блясък е далеч по-трудно от детектирането на обикновените звезди. Неутронните звезди, които са още по-малки по размери и още по-слаби, са и още по-трудни за детектиране и ако трябваше да разчитаме само на оптичното им излъчване, те може би никога нямаше да бъдат открити. Тези обекти бяха забелязани само заради микровълновите импулси, които излъчват. Очевидно е, че черните дупки, които не излъчват нито светлина, нито микровълни или някое друго подобно лъчение, винаги ще са много трудни за наблюдаване.

Все пак положението не е съвсем безнадеждно. Нека не забравяме тяхното гравитационно поле. Каквото и да става с масата, която може безкрайно да се натрупва и да се компресира в черната дупка, тази маса трябва да остане да съществува (дотогава, доколкото това ни е известно) и тя трябва да продължи да бъде източник на гравитационно поле.

Разбира се, влиянието на пълното гравитационно привличане на черната дупка на големи разстояния не е по-различно от пълното гравитационно привличане, причинявано от същото количество маса в каквато и да е друга форма. Така например, ако се намираме на разстояние 100 светлинни години от една гигантска звезда, която е 50 пъти по-масивна от Слънцето, нейното гравитационно привличане ще бъде толкова силно намалено поради разстоянието, че трудно бихме го детектирали. Ако по някакъв начин някоя звезда се е превърнала в черна дупка, чиято маса е 50 пъти по-голяма от слънчевата, то нейното гравитационно привличане на разстояние 100 светлинни години ще бъде точно толкова отслабнало, колкото и в предишния случай, и ще бъде точно толкова трудно забележимо.

Разликата идва от следното. Един обект може да се окаже много по-близо до центъра на черната дупка, отколкото до центъра на гигантската звезда, така че в близката околност на черната дупка върху него ще действа по-силно и по-концентрирано гравитационно

привличане, отколкото в околността на обемистата гигантска звезда със същата маса, чиято повърхност е далеч от центъра ѝ.

Възможно ли е да се детектира по някакъв начин съществуването на толкова концентрирани гравитационни полета от голямо разстояние?

Според общата теория на относителността на Айнщайн под действието на гравитацията се освобождават *гравитационни вълни*, които в аспекта им като частици се наричат *гравитони* (точно както светлинните вълни в аспекта им като частици се наричат фотони). Обаче гравитоните са значително по-малко енергетични от фотоните и не могат да бъдат открити освен в случаите, когато им действуват необикновено високи енергии, като дори и тогава те трудно се проявяват. Ние не познаваме обекти, произвеждащи гравитони, които да могат да се детектират — освен може би големите черни дупки в процеса на тяхното образуване и нарастване.

В края на 1960 г. американският физик Джоузеф Вебер (1919) използвал за гравитационни детектори големи алуминиеви цилиндри, всеки с тегло по няколко тона, разположени на стотици мили разстояние един от друг. Цилиндриите ще се разширяват и свиват изключително слабо, когато гравитационните вълни преминават през тях. Вебер успял по този начин да детектира гравитационните вълни и това внесло голямо оживление сред астрономите. Ако данните на Вебер са верни, най-непосредственият извод от тях е, че в центъра на Галактиката протичат процеси, свързани с отделянето на огромни енергии. Може би там се намира голяма черна дупка.

Обаче, когато други учени се опитаха да повторят опита на Вебер, те нямаха успех. Така в момента въпросът, дали Вебер е детектирал гравитоните или не, остава открит. Може би в центъра на Галактиката наистина съществува черна дупка, но засега методът на Вебер за нейното откриване е изоставен и трябва да се търсят други пътища за детектирането на черни дупки.

Друг начин, при който също се използва интензивното гравитационно поле в околността на черната дупка, е изследването на поведението на светлината, която трябва да се отклонява при преминаването си покрай черните дупки. Светлинните лъчи ще се изкривяват слабо по посока на източника на гравитационното поле. Този ефект е лесно забележим дори и при преминаването на

светлината покрай обект като Слънцето с нормално гравитационно поле.

Да предположим, че точно между Земята и една далечна галактика се намира черна дупка. Светлината на галактиката ще обхожда черната дупка с точкови размери, която сама по себе си е невидима. От всички страни светлината ще се отклонява към черната дупка и лъчите ще се сходяват в посока към нас така, както това става при обикновените лещи. По тази причина явлението се нарича *гравитационна леща*.

Ако наблюдаваме галактика, която независимо от разстоянието до нея изглежда неимоверно голяма, бихме могли да предположим, че нейният размер е увеличен от гравитационна леща, т.е. че между нея и нас се намира черна дупка. Такова явление обаче не е наблюдавано.^[1]

Но черните дупки не са сами във Вселената. В околностите им може да има обикновено вещество. Ако това е така, обектите с големи размери, които се приближават достатъчно до черните дупки, се раздробяват на прахообразни частици и заедно с веществото, което вече се намира там под формата на прах и газ, ще започнат да обикалят около черната дупка на разстояние около 200 километра над радиуса на Шварцшилд във вид на *акреционен диск*.

Газово-праховата материя, която се движи по орбита около черната дупка, може да остане завинаги на тази орбита, ако отделните частици не се смесват. Но взаимните удари между частиците водят до обмен на енергия. При това някои частици ще губят от енергията си и ще започнат да падат спираловидно към черната дупка, спускайки се под радиуса на Шварцшилд, откъдето никога не може да се излезе обратно.

Като цяло това е слаб, но постоянен поток от падащо надолу вещество. Но частиците, движещи се по навиваща се спирала, губят гравитационна енергия, която се превръща в топлина и ги нагрива. Те се нагриват допълнително и от разтягането и свиването, дължащи се на приливните ефекти. В резултат температурата на частиците се повишава неимоверно и те започват да излъчват рентгенови лъчи.

И така, не можем да открием черна дупка, намираща се във вакуум, но бихме могли да я детектираме, ако тя поглъща вещество, понеже това вещество като предсмъртен вик ще изпуска рентгенови лъчи.

За да бъде рентгеновото излъчване достатъчно интензивно, че да може да се детектира на разстояние много светлинни години, падащото вещество трябва да представлява нещо повече от пелена разреден, случайно попаднал около дупката прах. Там трябва да има тъст порой от спиралообразно падащи върху черната дупка частици, което означава, че черната дупка трябва да се намира в много специално обкръжение.

Например черните дупки с голяма вероятност могат да бъдат намерени там, където има големи струпвания от звезди, намиращи се много близо една до друга и където натрупването на маса по-лесно може да надмине границата, след която рано или късно образуването на черна дупка става неизбежен процес.

Има например кълбовидни звездни купове, при които десетки, дори стотици хиляди звезди са струпани в кълбо с голяма концентрация. Тук, в непосредствено обкръжаващата ни околност от Вселената, звездите се намират на средно разстояние 5 светлинни години една от друга. А в центъра на един кълбовиден куп това разстояние може да намалее до $1/2$ светлинни години. Единица обем от кълбовидния куп може да съдържа 1000 пъти повече звезди от същия обем в околността на Слънцето.

Действително известен брой купове наистина са източници на рентгеново излъчване и е вероятно, разбира се, в центъра им да се намират черни дупки. Някои астрономи предполагат, че черните дупки в кълбовидните купове могат да имат от 10 до 100 пъти по-голяма маса от слънчевата.

Централните области на галактиките приличат на гигантски кълбовидни купове, които съдържат десетки и дори стотици милиони звезди. Средното разстояние между звездите в централните области на галактиките може да достига $1/10$, а в самите им центрове дори $1/40$ от светлинната година. На всяка звезда в единица обем от пространството около Слънцето съответствуват стотици хиляди, дори милиони звезди от същия обем в галактичните ядра.

Такова насищане на пространството със звезди не означава, че те се удрят една в друга. Дори разстоянието $1/40$ от светлинната година е 40 пъти по-голямо от разстоянието между Слънцето и Плутон. Възможността за протичане на бурни процеси се увеличава с нарастване на плътността на звездите в пространството. В последните

години се увеличиха доказателствата за съществуването на взривове в центровете на галактиките, които са толкова мощни, че астрономите се затрудняват да пресметнат освободената от тях енергия. Може ли да се смята, че за това по един или друг начин са отговорни черните дупки? Може би да!

Дори нашата Галактика не е имунизирана от тези явления. В центъра на нашата Галактика е открит много компактен и мощен микровълнов източник и това кара учените да предполагат, че там съществува черна дупка. Някои астрономи стигат дори дотам да твърдят, че нашата галактическа черна дупка има маса колкото 100 милиона звезди, което представлява 1/1000 от масата на цялата Галактика. Тя би трябвало да има диаметър 700 000 000 километра, което е равно на размерите на огромен червен гигант. Тя е толкова масивна, че с приливните си ефекти може да разруши всички звезди, осмелили се да се приближат достатъчно до нея или да ги погълне, преди да успеят да се разрушат, ако те се приближат към нея много бързо.

Вероятно всеки кълбовиден куп или галактика има черна дупка в центъра си, която само поглъща, но никога не отдава и неумолимо разяжда обикновеното вещество, нараствайки постоянно. Дали черните дупки няма да погълнат всичко? Теоретично да, но темпът на поглъщане трябва да е доста нисък. Вселената е на 15 милиарда години, а кълбовидните купове и галактиките все още не са погълнати. Съществува даже предположението, че централните черни дупки са по-скоро създатели на купове и галактики отколкото техни унищожители. Черната дупка може да е възникнала първа и може да е послужила за „зародиш“, струпвайки около себе си звезди във вид на свръхакреционни дискове, които впоследствие са се превърнали в купове и галактики.

Колкото и добър творец да е била черната дупка в началото, сега тя, макар и бавно, поглъща вещество и никак няма да е приятно да се озовеш близо до нея. Ако в центъра на всяка галактика наистина има по една черна дупка, то най-близката до нас е тази в центъра на нашата собствена Галактика и тя се намира на 30 000 светлинни години разстояние от нас. Това е едно удобно разстояние независимо от това, че на другия му край се намира гигантска черна дупка.

Ако в центъра на всеки кълбовиден куп има черна дупка, то най-близкият до нас куп е ω (омега) от съзвездието Центавър, който е отдалечен на 22 000 светлинни години — това е все още едно удобно разстояние.

Все пак съществуването на черни дупки в центровете на куповете и галактиките сега-засега е само едно предположение. Ние не можем да видим какво става в недрата на куповете и на галактиките и да изследваме директно центровете им. Големият брой звезди в периферните им части скриват техните центрове и косвените доказателства, които получаваме във форма на рентгеново излъчване или дори на гравитационни вълни не са достатъчни, за да ни дадат в близко бъдеще окончателен отговор за съществуването на такива черни дупки.

Тогава какво друго да търсим?

Нека да не разглеждаме повече големите звездни конгломерати. Нека се занимаем с една двойна звездна система.

Ако знаем периода на въртене на системата и разстоянието ѝ до нас, можем да изчислим пълната маса на двойката. Ако едната от звездите изглежда много малка, но има голяма маса, можем да предположим, че тя се намира в някой от стадията на колапс. Така бе открит навремето спътникът на Сириус и той беше идентифициран като бяло джудже.

Да предположим по-нататък, че разглеждаме двойна система, за която и двете звезди са колапсирани до черни дупки. Те не могат да бъдат наблюдавани директно, но продължават да обикалят една около друга и най-вероятно — ако са достатъчно млади — могат да трупат върху себе си веществото, изхвърлено от взрива на свръхновата. В този случай може да се наблюдава двоен източник на рентгеново излъчване, въртящ се около общия гравитационен център на системата. Днес познаваме осем двойни рентгенови системи, но природата на източниците им все още остава неизвестна.

Какво би станало, ако само една от звездите на двойната система е колапсирала до черна дупка? Спътникът на тази черна дупка, който е отдалечен от нея на много милиарди километри, ще се зарежда с енергия, понеже ще се движи в пространството, което вече е много по-запращено от изхвърленото вещество при взрива на свръхновата, предшествувал образуването на черната дупка.

Спътникът ще става все по-горещ в процеса на натрупване на вещество, но за сметка на това животът му ще се съкрати. Той обаче все още стои на главната последователност. Спътникът няма да изпитва увеличено гравитационно въздействие от страна на новообразуваната черна дупка, която е другият компонент на системата. По-скоро това въздействие ще се намали поради загубата на маса по време на взрива на свръхновата, породил черната дупка в системата.

Наблюдавайки от Земята, ние няма да виждаме двойна система, а само една обикновена звезда върху главната последователност, която се движи по орбита около някакъв център на гравитацията, а от другата му страна обикаля интензивен рентгенов източник.

Чие съществуване доказва рентгеновото излъчване — на неутронна звезда или на черна дупка? Има някои различия, които биха могли да се използват за идентифициране на съответния обект. Рентгеновите лъчи от неутронната звезда трябва да се излъчват във вид на регулярни импулси, съвпадащи с микровълновете. Два такива рентгенови пулсара действително бяха открити. Това са пулсарите Центавър Х-3 и Херкулес Х-1. Черната дупка трябва да излъчва рентгенови лъчи нерегулярно, тъй като количеството на поглъщаното от нея вещество понякога е много голямо, а понякога — малко. В добавък, ако такъв точков източник на рентгенови лъчи има маса, 3,2 пъти по-голяма от слънчевата, то той трябва да бъде черна дупка. (Ако се докаже, че във Вселената съществуват неутронни звезди с маси, 3,2 пъти по-големи от слънчевата, то това би преобърнало цялата теория за черните дупки. Но досега толкова масивни неутронни звезди не са открити.)

В началото на 60-те години, когато на небето бяха открити първите рентгенови източници, през 1965 г. с ракетни наблюдения бе локализиран един особено интензивен източник в съзвездието Лебед. Този рентгенов източник бе наречен Лебед Х-1.

През 1969 г. от крайбрежието на Кения в чест на петата годишнина от независимостта на страната бе изстрелян спътник за детектиране на рентгенови източници. Този спътник беше наречен Ухуру от думата „свобода“ на езика суахили. Той много обогати познанията ни за рентгеновите източници, събирайки информация за

161 такива източника, разпръснати по цялото небе, като половината от тях се намират в нашата Галактика, а три — в кълбовидни купове.

През 1971 г. Ухуру откри забележима промяна в интензитета на рентгеновото излъчване от Лебед X-1, при което отпадна възможността този източник да е неутронна звезда и се увеличи вероятността той да е черна дупка. Учените веднага насочиха вниманието си към Лебед X-1 и откриха и микровълново излъчване от него. Това им даде възможност много точно да определят положението на източника и той се оказа в непосредствена близост до една звезда, излъчваща видима светлина.

Това беше звездата HD-226868 — голяма гореща синя звезда от спектрален клас В, 30 пъти по-масивна от нашето Слънце. К. Т. Болт от университета в Торонто показва, че HD-226868 е двойна звезда. Тя обикаля в орбита с период 5,6 денонощия — орбита, чийто характер предполага другата звезда да има от 5 до 8 пъти по-голяма маса от Слънцето.

Звездата спътник не може да се види, макар че тя е източник на интензивно рентгеново лъчение. Щом не можем да я видим, тя трябва да е много малка. Но тя е твърде масивна, за да бъде бяло джудже или неутронна звезда и оттук можем да предположим, че невидимата звезда е черна дупка.

Освен това изглежда, че HD-226868 се разширява, понеже е влязла в началото на стадия на червен гигант. Тогава нейното вещество ще пада върху спътника — черната дупка — което обяснява защо черната дупка е толкова интензивен рентгенов източник.

Това все пак е едно косвено доказателство и не всички астрономи приемат, че Лебед X-1 е черна дупка. От голямо значение е разстоянието до двойната система. Колкото по-голямо е разстоянието, толкова повече маса им е необходима, за да има двойката такъв кратък орбитален период, и толкова по-вероятно е Лебед X-1 да представлява черна дупка. Някои астрономи смятат, че двойната система се намира значително по-близо от 10 000 светлинни години — обикновено се приема такова разстояние до системата — и следователно Лебед X-1 не е черна дупка. Но в крайна сметка повечето предпочитат хипотезата за черната дупка.

Наблюдавани са и други двойни системи, в които единият от компонентите би могъл да бъде черна дупка. Такива са рентгеновите

източници, известни като X Персей и Пергел X-1.

Съществува възможност да се открие черна дупка и без рентгеново излъчване. В някои случаи може да се детектира много тясна двойна система по характера на нейните спектрални линии. По спектралните линии за звездата ϵ (епсилон) от Колар например може да направим заключение, че тя обикаля около невидим спътник — ϵ Колар В. Нещо повече, данните от спектралните изследвания показват, че ϵ Колар А (видимата звезда) има маса, 17 пъти по-голяма от слънчевата, докато ϵ Колар В (невидимата) има маса, 8 пъти по-голяма от тази на Слънцето. Отново съчетанието от невидим обект и огромна маса ни навежда на мисълта, че ϵ Колар В е черна дупка (макар че някои астрономи смятат, че ϵ Колар В е невидима, защото е звезда в процес на образуване и още не се е възпламенила).

[1] Ефект на гравитационна леща вече е наблюдаван. — Б.ред. ↑

МИНИ ЧЕРНИ ДУПКИ

Ако в центровете на галактиките съществуват черни дупки, то в центъра на нашата Галактика ще има само една. Ако в центровете на кълбовидните купове също има черни дупки, то в нашата Галактика вероятно би имало 200 черни дупки. Обаче, ако те съществуват като компоненти в обикновените двойни системи от звезди, съществува възможността техният брой да е голям, тъй като в нашата Галактика има десетки милиарди двойни звезди.

Нещо повече, черните дупки могат и да не влизат в двойни системи. Това, че наличието на черни дупки се забелязва по близкия съсед в двойните системи, е игра на случая. Затова ние свързваме съществуването им с двойните звезди. Черните дупки могат да се появят и като резултат от еволюцията на единични звезди. В случай че в близост до дупката няма вещество, което да излъчва рентгенови лъчи, както и спътник, който да ѝ прехвърля определено количество вещество, ние няма да можем да я детектираме, макар че тя в действителност е там.

Като вземат предвид всичко това, някои астрономи предполагат, че във всяка галактика като нашата биха могли да съществуват милиарди черни дупки със звездни маси. Ако това е вярно и ако черните дупки са повече или по-малко равномерно разпределени, средното разстояние между тях е 40 светлинни години и тогава всяка отделна звезда ще се намира на разстояние 20 светлинни години от някоя черна дупка. По-вероятно е обаче черните дупки да бъдат разпределени толкова неравномерно, колкото и самите звезди. Деветдесет процента от всички звезди в нашата Галактика (или в друга като нея) са разположени в нейните относително малки централни области. Само 10% се намират в големите по обем, но слабо населени спирални ръкави, където е и нашето Слънце. Тогава можем да направим заключението, че само 10% от черните дупки в нашата Галактика са разпръснати в спиралните ръкави и че разстоянието до най-близката от нас черна дупка е неколкостотин светлинни години.

Разбира се, говорейки за черни дупки, ние дотук имахме предвид само такива дупки, чиято маса е като тази на масивните звезди. И някои астрономи наистина смятат, че средната маса на черните дупки е 10 пъти по-голяма от слънчевата.

Изглежда, че не може да съществува черна дупка с много по-малки размери, тъй като само обекти с големина на звезди могат да имат достатъчно мощно гравитационно поле, което да предизвика достатъчно голямо налягане, да разкъса бариерата на неутрониума и да образува черна дупка.

Но според общата теория на относителността на Айнщайн черните дупки могат да имат различни размери. Всеки обект, притежаващ маса, колкото и малка да е тя, има и гравитационно поле. Ако обектът се свива във все по-малък и по-малък обем, гравитационното поле в най-близката до него околност става все по-силно и евентуално може да нарасне толкова, че скоростта на избягване от повърхността му да стане равна на скоростта на светлината. С други думи, обектът може да се свие под собствения си радиус на Шварцшилд.

Земята би се превърнала в черна дупка, ако се свие до диаметър 0,87 cm (това са размерите на един сравнително голям бисер). Обект с масата на връх Еверест би се превърнал в черна дупка, ако се свие до размерите на атомно ядро.

Можем да продължим така, докато достигнем до най-малката маса, която ни е известна — масата на електрона, но има теоретични съображения, от които следва, че маса под 10^{-5} g не би могла да образува черни дупки. Маса 10^{-5} g (такова количество, вещество едва може да се види с просто око) ще се превърне в черна дупка, ако се свие до диаметър 10^{-33} cm, а плътността му стане 10^{94} g/cm³. (Обект с такава плътност и с размери на атомно ядро ще има маса, равна на масата на цялата Вселена.)

Но какво всъщност може да свие малките обекти до такива *мини черни дупки*. Това не могат да направят техните гравитационни полета, затова трябва да има някаква компресираща сила отвън. Но коя външна сила може да бъде достатъчно голяма, за да ги образува?

През 1971 г. английският астроном Стивън Хоукинг направи предположението, че тази скрита сила може да идва още от времето на зараждането на Вселената — това е силата на самия Голям взрив.

Огромни количества материя избухвали навсякъде в пространството и някои фрагменти от разширяващото се вещество неминуемо са се сблъскали. Части от него може да са се групирани и свили под действието на огромно налягане от всички страни. Натрупаното вещество може да се свие до такава степен, при която нарасналото гравитационно поле ще го съхрани завинаги в свито състояние.

Разбира се, няма каквито и да било доказателства, че такива мини черни дупки съществуват. Няма дори такива неясни доказателства, каквито все пак дава Лебед X-1 за съществуването на черни дупки със звездни размери. Нещо повече, някои астрономи поддържат единствено идеята, че съществуват само черни дупки, значително по-големи по маса от Слънцето.

Въпреки това, ако мини черни дупки действително съществуват, това би означавало, че техният брой е много по-голям от този на черните дупки със звездни размери. Може ли да се окаже така, че между черните дупки с размери на звезди, които са разпределени в пространството на 40 светлинни години една от друга, да има черни дупки, покриващи целия диапазон от дупки — от умерени по големина маси до съвсем микроскопични по маса черни дупки? Възможно ли е пространството да е осеяно с тях? Хоукинг смята, че средният брой на такива дупки във Вселената може да достига 300 в обем една кубична светлинна година.

Важно е да припомним, че досега няма никакви доказателства за това. От друга страна, ако мини черните дупки са разположени нагъсто пространството, то техният пълен гравитационен ефект е много слаб и може да бъде детектиран само в непосредствена близост до обекта — на няколко километра, на няколко сантиметра или на няколко микрометра около него — в зависимост от неговите размери.

Естествено такива малки черни дупки трябва да нарастват непрекъснато, защото те ще поглъщат всяка прашичка, която срещнат — поне така изглеждат нещата. (Хоукинг намира определени причини, според които някои мини черни дупки могат да губят маса, а най-малките могат да се „изпарят“ и да се взривят, преди да успеят да погълнат повече маса.)

Ако една мини черна дупка се сблъска с по-голямо тяло, тя просто ще премине през него. Тя ще погълне малко от веществото, с което се сблъсква най-напред, и при този процес ще се освободи

достатъчно енергия, за да се стопи и изпари веществото непосредствено пред нея. По-нататък тя преминава през горещите пари, като ги поглъща и увеличава топлината, и най-накрая ще изплува от другата страна във вид на значително по-голяма черна дупка от първоначалната.

(Ако мини черната дупка навлезе в едно по-голямо тяло с много малка енергия на движение, тя може да бъде уловена от тялото и да потъне към неговия център и постепенно ще нараства, поглъщайки с бавен темп тялото, също както паразитът изяжда с течение на времето своя стопанин.)

Сигурно е едно — тези мини черни дупки са толкова дребни и гравитацията им е толкова малка, а празното пространство, което ги заобикаля, е толкова огромно, че сблъскванията трябва да се случват твърде рядко. За всичките 15 милиарда години от Големия взрив огромното мнозинство от малките черни дупки са погълнали толкова малко вещество, че дупките все още са си малки и все още не могат да се детектират.

Възможно е някоя мини черна дупка да се е сблъскала някога със Земята пред очите на нашите далечни прадеди. При преминаването на дупката през атмосферата, както и през самата планета ще се отделя топлина, предизвикваща толкова впечатляващи ефекти, че те не биха могли да останат незабелязани от хората.

Дали наистина това някога се е случвало?

Не знаем. Няма следи, които да доказват, че подобни събития са се случвали в праисторически времена, но можем ли да бъдем сигурни в това? Не е ли възможно Содом да е разрушен от сблъсък с мини черна дупка? Можем ли да знаем верния отговор? Разрушаването на Содом би могло да се дължи на обикновен метеорит, на изригване на вулкан, на земетресение, а може и цялата тази история да е просто един мит. Летописите не са достатъчно определени.

Дали някои събития в историята на човечеството не се дължат на мини черни дупки? Има такова нещо!

На 30 юни 1908 г. в небето над областта на реката Тунгуска в централен Сибир станало нещо, което било възприето първоначално като падане на голям метеорит. Всички дървета в радиус 30 километра били повалени и цяло едно стадо от 500 северни елени било

унищожено. При изследванията през следващите години не били намерени никакви кратери, нито парчета от метеорита.

Учените решили, че експлозията трябва да е станала в атмосферата. Някои от тях сметнали, че това може да е била малка ледена комета, която, минавайки през атмосферата, се е разтопила и изпарила, предизвиквайки голям взрив. Кометата се е раздробила на малки парчета от камъчета и лед, които се посипали по Земята, без да оставят забележими следи от кратери на повърхността ѝ.

Други сметнали, че това било парче антивещество, което се е ударило в Земята. Антивеществото е материя, която по нищо не се отличава от обикновеното вещество с изключение на това, че неговите субатомни частици по свойства са противоположни на частиците, които изграждат обикновеното вещество. Антивеществото взаимодействува с обикновеното вещество, при което и двата вида вещество се превръщат в енергия. Ако това парче антивещество се сблъсква със Земята, то ще изчезне, отнемайки от обикновеното вещество на Земята маса, равна на неговата. Изчезването ще се съпровожда от взрив със сила, която е около 15 пъти по-голяма от силата на взрива на водородна бомба, чиято ядрена бойна глава има същата маса.

Беше даже предположено, че взривът е предизвикан от катастрофата на космически кораб с ядрен двигател, пилотиран от извънземни астронавти.

Едно друго предположение обаче сочи като виновник за случилото се мини черна дупка. Тази дупка, преминавайки през атмосферата, произвела силен взрив. След това под някакъв ъгъл се сблъскала със Земята, преминала през нея, поглъщайки много вещество и накрая изскочила някъде в Северния Атлантически океан, където предизвикала гигантски вълни и силна експлозия, останали невидени и нечути от хората. След всичко това тя продължила своя път в пространството, вече значително по-масивна, макар и да си останала все още в категорията на мини черните дупки.

Разбира се, версията за мини черната дупка е само едно предположение. Някои астрономи смятат, че преминаването на черната дупка през тялото на Земята и през океана трябва да предизвиква земетресения и приливни ефекти — но не е забелязано нито едно явление от този род, което да може да се свърже с взрива от 1908 г.

Досега няма сигурни доказателства както за, така и против хипотезата за връзка на взрива от 1908 г. с мини черна дупка. И за тази връзка няма да може да се каже нищо дотогава, докато учените, вече силно напреднали в знанията си за Вселената, не станат свидетели на друго подобно явление като това от 1908 г. и не го изучат внимателно.

ИЗПОЛЗУВАНЕТО НА ЧЕРНИТЕ ДУПКИ

Естествено е всеки учен, така или иначе посветил се на тези въпроси, да не изпитва удовлетворение от възможността за евентуално сблъскване на Земята с мини черна дупка. За щастие взривът от 1908 г. се случи на такова място от земната повърхност, което в радиус от много километри не беше населено. В противен случай той би причинил огромни материални щети и много човешки жертви.

Човек лесно може да си представи как един такъв взрив може изцяло да помете, например Вашингтон DC^[1] или Москва, ако за нещастие това се случи. Резултатът би бил равен на този от взрива на неутронна бомба и „нападнатата“ свръхсила (САЩ или СССР) би отговорила с ответен удар, още преди да е разбрала истината, след което цялата ни планета би била унищожена.

Разбира се, няма нужда непрекъснато да повтарям, че сибирският взрив може и да не е предизвикан от мини черна дупка, че вероятно такива черни дупки не съществуват, но дори и в случай че те съществуват, вероятността да се сблъскаме с тях е много по-малка, отколкото Земята да бъде ударена от голям метеорит, докато ние спокойно спим в леглата си.

И все пак — какво би станало, ако мини черните дупки наистина съществуват?

Ние евентуално ще трябва да се научим да се защитаваме от тях. Ако в своето развитие хората някога достигнат стадий, когато ще имат колонии и обсерватории в другите светове от Слънчевата система, както и изкуствени структури в самото космическо пространство, то ще се появи и възможността да се изследват мини черните дупки в тяхната, така да се каже, естествена среда — при условия, които не предполагат сблъсък със Земята.

Ние дори можем да мечтаем за такова развитие на технологиите, когато ще е възможно да уловим черната дупка посредством нейното гравитационно поле (което е много интензивно в непосредствената ѝ околност, но твърде слабо като цяло) и да променим нейната траектория, за да не улучи тя Земята. Това е страничен ефект от

изследването на космическото пространство, който обаче си заслужава влагането на средства, колкото и да струва това.

За тези, които мислят твърде напред в бъдещето от гледна точка на сегашните възможности на науката и които се наслаждават в мечтите си на фантастични видения от бъдещето^[2], може би дори им се струва възможно да се намираме сравнително близо до някоя черна дупка (но достатъчно далеч, за да сме в безопасност).

В края на краищата една черна дупка е своего рода входна врата към огромни енергии. Всеки обект, падайки спираловидно към нея, ще излъчва гигантско количество енергия.

Основната част от енергията на всеки обект се съдържа в масата му, тъй като всеки грам маса е еквивалентен на 9×10^{20} ерга^[3] енергия. Енергията, която получаваме например при изгарянето на петрол или въглища, е само една мизерна част от енергията, която би дал 1 процент от масата на горивото. Дори при ядрените реакции се изразходват само няколко процента от тази енергия. Обект, който пада по спирала към черната дупка или (при определени условия) се плъзга покрай нея, без да пада на повърхността ѝ, е в състояние да превърне 30 процента от масата си в енергия.

Нещо повече, само при изгарянето на определени вещества може да се получава енергия, само определени атомни ядра могат да се разцепват и участвуват в ядрени реакции, при което се отделя енергия. Обаче всичко — наистина *всичко* — ще отделя енергия, при падането си към черната дупка. Черната дупка е универсална пещ и всичко, което съществува и притежава маса, може да ѝ служи за гориво.

Вероятно можем да си представим една твърде напреднала в развитието си цивилизация, която използва черните дупки за добив на енергия, пълнейки ги с астероиди, както ние на Земята сега пълним обикновената печка с въглища. В такъв случай, ако в Галактиката съществуват стотици или дори хиляди напреднали цивилизации (както предполагат някои астрономи), то най-вероятно е те да се намират близо до огромни черни дупки и, черпейки енергия от тях, да процъфтяват, така както на Земята процъфтяват народите, богати на енергийни източници.

В действителност е изключително невероятно да открием масивни черни дупки, които да използваме като универсална пещ. Едва ли бихме се и старали да открием някоя от тях на сравнително

малко светлинни години разстояние от нас, понеже колкото са по-големи дупките, толкова те са и по-неуправляеми.

Може би ще е по-добре, когато нашите технологии се усъвършенствуват значително, да се ориентираме към някоя от значително по-разпространените мини черни дупки (ако те изобщо съществуват), а дотогава да използваме по-обикновени начини за получаване на енергия.

Да предположим, че намерим някъде в Слънчевата система мини черна дупка, която преминава през нея или, което е още по-добре, обикаля в орбита около Слънцето. И в двата случая ние бихме могли да я привлечем, използвайки гравитационното ѝ поле, като я караме да следва някакъв масивен обект и да влезе в орбита около Земята (ако нервното човечество разреши това).

След това можем да накараме поток от замръзнали водородни блокове да минава покрай мини черната дупка, плъзгайки се покрай радиуса на Шварцвалд, без да влиза вътре. Приливните ефекти ще нагреят водорода до температура на ядрения синтез, в резултат на който ще се образува хелий. Така мини черната дупка ще действа като най-простия и най-добре обезопасен реактор за ядрен синтез, а произведената енергия може да се акумулира по някакъв начин и после да се изпраща на Земята.

[1] DC е съкращение, означаващо „Федерален окръг Колумбия“, в който е разположена столицата на САЩ. Съкращението се използва, за да се различава столицата от едноименния щат, разположен в другия край на САЩ. — Б.ред. ↑

[2] Към тях включвам и самия себе си, та нали (както читателят сам вече знае) аз съм писател на научнофантастични романи с известна репутация. ↑

[3] Единицата за енергия ерг (erg) е единица от СГС системата. Връзката ѝ с единицата, за енергия в СИ е $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$. — Б.ред. ↑

8.
СВЪРШЕЦИ И НАЧАЛА

КРАЯТ?

Ние не можем да не сме любопитни какво може да се случи с веществото, което пада върху черна дупка.

Но това наше любопитство много трудно може да бъде задоволено. Всичкото, което можем, е просто да правим предположения, защото няма начин да разберем дали природните закони, които така ревностно сме извеждали, наблюдавайки Вселената около нас, се изпълняват при екстремалните условия, съществуващи в черните дупки. Ние не сме в състояние да възпроизведем по какъвто и да е начин тези условия тук, на Земята, а и не можем да ги наблюдаваме на небето, тъй като не знаем да съществува някоя черна дупка в близост до нас.

Следователно можем само да предполагаме, че природните закони се изпълняват и там. Нека се опитаме да поразсъждаваме какво би могло да се случи.

Едно от нещата, които могат да се случат, е това, че най-неприятното *не се случва* или поне не виждаме то да се случва. Как например масата може да се свие до нулев обем и безкрайна плътност в Шварцшилдовата сингулярност? Това така ни шокира, че ни кара да търсим нещо, което да го предотврати.

Например според теорията на Айнщайн увеличаването на интензитета на гравитационното поле води до забавяне на хода на времето. Това не е нещо, което може лесно да се наблюдава във Вселената, тъй като гравитационните полета, с които се сблъскваме (като изключим черните дупки и неутронните звезди), оказват незначителен ефект върху хода на времето.

Именно по тези причини, ако наблюдаваме нещо, което пада върху черна дупка, ще забележим, че то се движи все по-бавно и по-бавно, приближавайки радиуса на Шварцшилд, че то дори започва да пълзи и достигайки този радиус, спира. Но в процеса на приближаването айнщайновото червено отместване, което също зависи от интензитета на гравитационното поле, отнема все по-голямата част от енергията на тялото чрез неговото светлинно излъчване. Падащият

надолу обект се вижда все по-слабо в процеса на забавянето на движението си и когато достигне радиуса на Шварцшилд, където замръзва неподвижно, той става напълно тъмен. В резултат ние не можем да наблюдаваме абсолютно нищо, което е попаднало под радиуса на Шварцшилд.

Нека си представим един астронавт, който пада върху черна дупка, но по някакъв начин запазва съзнание и е в състояние да възприема онова, което го заобикаля — той няма да почувствува промяна в хода на времето. Само един външен наблюдател би могъл да забележи, че такава промяна има.

Падащият върху дупката астронавт ще премине през радиуса на Шварцшилд, без да разбере, че съществува някаква бариера, и ще продължи пътя си към неизвестното. Един от начините да интерпретираме събитията, които следват, е да предположим, че от гледна точка на астронавта разстоянието пред него ще се увеличава по време на падането, така че той ще продължи да пада вечно, той никога няма да достигне центъра. В този смисъл черната дупка е една бездънна дупка.

Както и да гледаме падащите обекти в черната дупка, те не достигат центъра, няма нулев обем, няма безкрайна плътност — но не може да има и връщане назад. Падането е необратимо, затова нека още веднъж да разгледаме възможния край на Вселената.

Ако наистина не съществува начин да се върнем обратно или да се неутрализира действието на черните дупки, то тогава тези дупки, които сега съществуват, могат само да нарастват. Освен това съществува възможност да се образуват и нови дупки.

Ако в центъра на всяка галактика и на всеки кълбовиден куп съществува черна дупка, то тогава най-накрая (колкото и далечен да е този край) всяка галактика би се превърнала в голяма черна дупка, заобиколена от множество по-малки черни дупки спътници.

Две черни дупки могат да се сблъскат и да се слоят, но веднъж образувана, черната дупка вече не може да се дели. Следователно можем да предположим, че рано или късно черните дупки от кълбовидния куп, които са в орбита около черната дупка на галактиката, ще се слоят една с друга, така че с времето цялата галактика ще се превърне в една-единствена черна дупка.

Съществуват както отделни галактики, така и групи от галактики (в изключителни случаи — от няколко хиляди обекта в група), които са свързани в групите поради гравитационното привличане между тях. Всяка галактика може да стане черна дупка и такива дупки могат също да се сливат.

Можем ли да продължим да разсъждаваме нататък по същия начин и да предположим, че всички черни дупки във Вселената евентуално ще се слоят в една-единствена вселенска черна дупка?

Това не е необходимо. Вселената се разширява, така че галактичните единици (били те отделни галактики или купове от галактики), непрекъснато увеличават разстоянието помежду си. Голяма част от астрономите, изглежда, смятат, че това ще продължи неопределено дълго време. Ако това е така, то можем да си изградим представа за една Вселена, която се състои от милиарди черни дупки, всяка с маса някъде от около няколко милиона до няколко трилиона пъти по-голяма от масата на нашето Слънце, които непрекъснато се отдалечават една от друга.

Много е възможно обаче самият процес на разширяване да води до промени.

През 1937 г. английският физик Пол Ейдриан Морис Дирак (1902) предложи своята сензационна теория за това, че интензитетът на гравитационното поле в основата си зависи от глобалните свойства на Вселената. Колкото по-голяма е средната плътност на Вселената, толкова е по-голяма гравитационната сила в сравнение с другите сили във Вселената.

Тъй като Вселената се разширява, средната плътност на веществото намалява в процеса на неговото разпростиране в един постоянно нарастващ обем. Именно поради голямото разширяване гравитационната сила е толкова слаба в сравнение с другите сили и докато Вселената продължава да се разширява, тази сила ще отслабва още.

Предположението на Дирак все още не е потвърдено чрез наблюдения и много физици смятат, че гравитационната константа (от стойността на която зависи интензитетът на гравитационната сила) не само че е еднаква навсякъде в космическото пространство, но тя не се променя и с течение на времето. Независимо от това обаче, ако

предположението на Дирак се потвърди, то ще промени описаната по-горе картина.

Щом като Вселената се разширява, а гравитацията става все по-слаба и по-слаба, обектите, които първоначално се държат в свързано състояние от действието на гравитационните сили, ще се разширяват и ще стават по-малко компактни и по-малко плътни. Такива обекти са образувалите се вече бели джуджета и неутронни звезди, такива са също и черните дупки. За всички обекти съществува тенденцията да образуват такива материални форми, в които веществото остава в свързано състояние вече под действието на електромагнитните сили или изобщо не е в свързано състояние. Дори и черните дупки се изпаряват малко по малко и в крайна сметка Вселената ще се превърне в един огромен, невероятен разреден облак от камъчета, прах и газ и този облак непрекъснато ще става все по-голям и по-разреден.

Ако това наистина е така, то може да се смята, че Вселената се заражда като силно компресирано вещество с огромна маса и ще свърши като огромен силно разреден облак от вещество със същата маса.

Тук възниква една загадка — откъде идва компресираното вещество? Ние не трябва да се тревожим от тази форма на материята, тъй като това е просто една много компактна форма на енергията, а е лесно да предположим, че енергия винаги е съществувала и винаги ще съществува — при това по-голямата част от нея съществува във веществена форма. Въпросът е как това вещество се е компресирало в космическото яйце, от което е започнало всичко?

Можем да предположим, че ако разглеждаме развитието на Вселената само от първоначалното ѝ свито състояние до сегашния ѝ стадий на разширяване, то ние ще обхванем само половината от нейния цикъл на живот.

Да предположим, че Вселената започва от един безкрайно разреден облак от прах и газ. Бавно с течението на дългите еони той се е кондензирал и образувал космическото яйце, което се е взривило и след преминаването на не по-малко на брой еони е възстановило веществото в този вид, в който то е съществувало някога. Така се е случило, че на нас ни се е паднало да живеем наскоро след експлозията (след около 15 милиарда години).

И все пак мисълта, че Вселената се е зародила с еднократен взрив, изглежда незадоволителна. Ако разпръснатото вещество може да се събере, да се слее, да се допре и накрая да се превърне в космическо яйце, тогава защо да не може разпръснатото вещество, което се получава като краен продукт от експлозията на космическото яйце (така или иначе то се състои от черни дупки или от разпиляна материя) да се събере отново, да се свие и да образува второ космическо яйце?

Защо да не може това да се повтаря отново и отново? Накратко, защо да не може да съществува една безкрайно *пулсираща Вселена*?

Астрономите са извели условията, които са необходими за образуването на пулсираща Вселена. Дали това може да стане или не, зависи от нещо, което прилича на скоростта на избягване. Между галактичните единици, най-общо казано, съществуват някакви гравитационни сили, има и някаква скорост на избягване, свързана с тези сили. Ако Вселената се разширява със скорост, по-голяма от скоростта на избягване, то тя ще се разширява вечно и никога няма да се свие. Ако тя се разширява със скорост, по-малка от скоростта на избягване, то сега протичащото разширяване на Вселената може някога да спре и след това трябва да започне процес на свиване.

Но дали сега наблюдаваната скорост на разширяване е по-голяма или по-малка от скоростта на избягване? Това зависи от стойността на скоростта на избягване, която от своя страна зависи от стойността на пълната гравитационна сила между галактическите единици, а тя пък зависи, както се оказва, от средната плътност на веществото във Вселената.

Колкото по-голяма е средната плътност на веществото във Вселената, толкова по-голяма е гравитационната сила между галактиките и толкова по-голяма е скоростта на избягване — толкова по-голяма е и вероятността сегашната скорост на разширяване да не е по-голяма от скоростта на избягване и Вселената да пулсира, т.е. тя да се окаже *затворена*.

Естествено трудно е да се определи средната плътност на Вселената, тъй като е трудно да се определи какво количество пълна маса има в един голям обем от нея, който е достатъчно представителен за цялата Вселена. Използувайки най-добрите съществуващи данни, някои астрономи са почти убедени, че средната плътност е само 1/100

от стойността, която е необходима, за да бъде Вселената пулсираща, така че тя е *отворена*, и съществува тенденция Вселената да се разширява вечно. (Ако гравитационната сила отслабва с разширяването на Вселената, тогава ще е необходима дори още по-голяма средна плътност за пулсирането, така че в този случай наблюдаваната плътност е още по-малка от необходимата.)

И все пак независимо от това, че аргументите против затворената и пулсираща Вселена изглеждат силни, дали те са достатъчни? Куповете от галактики се държат от гравитационното привличане, но наблюдаваната в тях маса не е достатъчна, за да предизвика това привличане. В резултат на общото разширяване на Вселената куповете от галактики би трябвало да се разлитат, а това не се наблюдава. Това е причината да възникне нещо, което се нарича проблем на скритата маса.

Може ли тази скрита маса да се съдържа в черните дупки? С много малки изключения не съществува начин да се детектират черни дупки и ние нямаме ясна представа какво количество маса остава незабелязано за нас в тези най-разнообразни по размери черни дупки. Трудно е да повярваме, че в черните дупки се крие маса, стотици пъти по-голяма от масата на всички останали обекти във Вселената. Ние все пак сме на границата на това, което можем да наблюдаваме и да осмисляме, и не можем да сме напълно сигурни дали нещата са точно такива или не. Доказателствата *изглеждат* да са в полза на идеята за една непрекъснато разширяваща се Вселена, но *може* да се окаже и така (имайки предвид черните дупки), че има достатъчно маса и Вселената в крайна сметка да е затворена и пулсираща.

ХОДОВЕ НА ДЪРВОЯДИ^[1] И БЕЛИ ДУПКИ

Неудобствата на идеята за отворена, вечно разширяваща се и еднократно появила се Вселена са толкова големи, че астрономите правят редица опити да обхоят доказателствата в полза на такава Вселена.

През 1948 г. Томас Голд заедно с английските астрономи Фред Хойл и Херман Бонди се опитва да разработи предположението за една *непрекъснато създаваща се* Вселена. Основната идея в това предположение се състои в това, че материята се създава непрекъснато, по един атом тук и там във Вселената. Тя се създава с толкова бавен темп, че е трудно този процес да се детектира.

Въпреки разширяването на Вселената и увеличаването на разстоянието между отделните галактически единици създава се достатъчно количество вещество, което се събира и образува нови галактики в пространството между старите. В крайна сметка се образуват достатъчно нови галактики, които да се разпределят така между старите, че всичко да остане, както си е било. Като цяло Вселената ще представлява гигантска смесица от галактики, покриващи целия диапазон от възрасти — от току-що образуваните през намиращите се на всички възможни стадии на еволюция до умиращите. Вселената ще бъде безкрайна в пространството и вечна във времето. Звезди и галактики ще се раждат и умират, но Вселената като цяло ще бъде безсмъртна и нито ще се появява, нито ще изчезва.

Това е една много привлекателна теория, но доказателства в нейна полза почти не съществуват и не могат да се очакват никога. Ако непрекъснато създаващата се Вселена е такава, каквато е реалната Вселена, то никога не би имало Голям взрив. По тази причина всяко доказателство, което подкрепя Големия взрив, би следвало да отхвърля идеята за непрекъснато създаващата се Вселена.

През 1964 г. американският физик Робърт Хенри Дике (1916) изтъква в своята теория, че ако Големият взрив е станал преди 15 милиарда години, то той би трябвало да остави следи, забележими

дори и днес на разстояние 15 милиарда светлинни години (защото на светлината са необходими 15 милиарда светлинни години, за да стигне до нас, и следователно светлината на Големия взрив пристига на Земята сега).

Излъчването от Големия взрив, което е високоенергетично и късовълново, се отмества силно към нискоенергетичния червен край на спектъра поради голямото разстояние. То преминава през червения цвят и отива към още по-дългите и още по-нискоенергетични микровълни. И тъй като Големият взрив е видим на разстояние 15 милиарда светлинни години във всички посоки, микровълните могат да дойдат отвсякъде във вид на *фоново излъчване*.

През 1965 г. двама учени от лабораториите Бел — Арно Пензиас и Робърт Уилсън — доказаха съществуването на слабо фоново излъчване със същите характеристики, които Дике беше предсказал. Големият взрив беше детектиран, с което (поне засега) се сложи край на теорията за непрекъснато създаващата се Вселена.

Този път за избягване на съществуването на отворена Вселена отпада. Има обаче и други и за да ги разгледаме, нека се върнем към черните дупки.

Дотук говорихме за черни дупки, които имат само едно свойство — маса. Природата на масата е без значение. Ако един килограм платина, един килограм водород или килограм жива тъкан се прибавят към една черна дупка, то към нея се прибавя просто един килограм маса без разлика какво е представлявала тя преди добавянето.

Има още две и само две други свойства, които една черна дупка може да притежава. Едното е електричен заряд, а другото — ъглов момент. Това означава, че всяка черна дупка може да се охарактеризира напълно, измервайки масата ѝ, електричния ѝ заряд, положителен или отрицателен, и ъгловия ѝ момент. (Възможно е електричният заряд и ъгловият момент да са равни на нула. Масата обаче не може да е равна на нула, защото тогава това няма да е черна дупка.)

Черната дупка може да има електричен заряд само в случай че веществото, от което се е образувала черната дупка или масата, която се прибавя след това, имат електричен заряд. Фактически електричните заряди (и положителните, и отрицателните) в по-големите обеми вещество показват тенденция към еднаквост в

количествено отношение, така че сумарният им заряд става равен на нула. Следователно най-вероятно е черните дупки да имат нулев заряд.

С ъгловия момент нещата не са такива. Тук, разбира се, положението е точно обратното и най-вероятно е всяка черна дупка да има значителен ъглов момент.

Ъгловият момент е свойство на всеки обект, който се върти около оста си или обикаля около някаква външна точка (или който извършва едновременно и двете въртеливи движения). Ъгловият момент включва както скоростта на въртене или обикаляне на обекта, така и разстоянието между различните му части до оста му или до центъра, около който обикаля. Пълният ъглов момент на една затворена система (това е система, в която не може отникъде да се добави ъглов момент и от която ъглов момент не може по никакъв начин да изтича) трябва да се запазва, т.е. нито се увеличава, нито се намалява.

Това означава, че при увеличаване на разстоянието скоростта на въртене трябва да намалява и обратно. Всеки кънкьор използва преимуществата на тази зависимост, когато се върти с разтворени ръце. Той прибира ръцете си към тялото, като по този начин намалява средното разстояние между тялото и оста на въртене и скоростта на въртенето му значително се увеличава. Той разтваря отново ръцете си и с това забавя въртенето си.

Всяка звезда, за която е известно, че се върти около оста си, ще има следователно и голям ъглов момент на въртене. При колапсирането на една звезда, за да се съхрани ъгловият момент, нейната скорост на въртене трябва да се увеличи. Колкото по-силен е колапсът, толкова по-голямо е увеличаването на скоростта на въртене. Например една съвсем млада неутронна звезда се завърта около оста си хиляди пъти за една секунда. Черните дупки трябва да се въртят още по-бързо. Това е нещо, което не може да се избегне.

Можем следователно да кажем, че всяка черна дупка винаги притежава маса и ъглов момент.

Анализът на Шварцшилд е приложим само за черни дупки, които не се въртят. През 1963 г. астрономът Рой П. Кер получил решение и за черни дупки, които се въртят.

При въртящите се черни дупки радиусът на Шварцшилд все още си остава на същото място, но извън него се намира една *стационарна граница*, която оформя един вид екваториална изпъкналост около

черната дупка, сякаш нещо е избутано навън от действието на центробежния ефект.

Обект, който попада вътре в стационарната граница, но остава извън радиуса на Шварцшилд, е хванат само наполовина. Това означава, че той все още може да излезе обратно, но само при наличието на специални условия. Ако се е случило така, че обектът се движи в посока на въртенето на самата черна дупка, то тя ще се опита да завърти обекта като камък в прашка и да го изхвърли обратно извън стационарната граница с енергия, по-голяма от енергията, с която той е влязъл. Допълнителната енергия е за сметка на въртенето на черната дупка. С други думи, черната дупка предава част от ъгловия си момент на обекта, при което черната дупка забавя въртенето си.

Теоретично до 30% от цялата енергия на въртящата се черна дупка могат да бъдат извлечени от нея, като изпращаме към нея тела през стационарната ѝ граница по внимателно подбрани траектории и после ги събираме на излизане от нея. Това е един от възможните начини напредналите цивилизации да използват черните дупки като източник на енергия^[2]. След извличане на цялата енергия на въртене черната дупка ще има само маса и нейната стационарна граница ще съвпадне с радиуса ѝ на Шварцшилд. В такъв случай се казва, че черната дупка е „мъртва“, тъй като никаква енергия повече не може да бъде извлечена директно от нея (въпреки че може да се добие и още малко енергия при спираловидното падане на веществото към дупката).

Още по-странно от начина за извличане на енергия от черната дупка е, че според анализа на Кер е възможен някакъв нов край за веществото, попаднало в черната дупка. Този нов край бе предвиден от Алберт Айнщайн и неговия съавтор Розен още преди 30 години.

Веществото, което се натрупва във въртящата се черна дупка (а най-вероятно няма друг вид черни дупки) теоретично може да се измъкне отново, някъде другаде, така както пастата за зъби се изстискава през малката дупка на твърдата туба под действието на неголям, бавен натиск^[3].

Вероятно преносът на вещество може да се извършва на огромни разстояния — милиони или милиарди светлинни години — за малък период от време. Такива преноси не могат да стават по обикновен начин, тъй като ни е известно, че в космическото пространство

скоростта на светлината е горна граница на скоростта за всеки обект с маса. За да се пренесе масата на разстояние милиони или милиарди светлинни години по обикновен начин, ще са необходими милиони или милиарди години време.

Следователно трябва да се предположи, че преносът става през тунели или по мостове, които, казано стриктно, нямат времевите характеристики на познатата ни Вселена. Тези проходи понякога се наричат *мостове на Айнщайн-Розен* или още по-образно — *ходове на дървояди*.

Ако масата премине през ход на дървояд и след милиарди светлинни години внезапно се появи отново в обикновеното пространство, отдалечено на един милиард светлинни години, то нещо трябва да уравни този гигантски скок в разстоянието. Видимо това невъзможно бързо преминаване през пространството се балансира чрез компенсационно преминаване през времето, така че масата ще се появи не сега, а преди един милиард години.

С изплуването на веществото в другия край на хода на дървояда то внезапно се разширява и се превръща отново в обикновена материя, блясвайки от енергията, която излъчва в този момент — това е енергията, която, така да се каже, е била уловена в черната дупка. Това, което сякаш изплува на повърхността в обикновеното пространство, се нарича *бяла дупка* — концепция, развита за първи път през 1964 г.

Ако всичко това е наистина така, то бели дупки или поне някои от тях трябва да могат да се детектират.

Естествено това зависи от големината на бялата дупка и от разстоянието, на което се намира тя от нас. Вероятно мини черните дупки образуват мини бели дупки на огромно разстояние от нас и ние изобщо не можем да ги видим. Огромните черни дупки съответно ще образуват огромни бели дупки, които ние вече бихме могли да видим. Има ли някакви следи от съществуването на такива бели дупки?

Възможно е такива следи да има...

[1] Сега е възприето термина *wormhole* да се превежда като *червейна дупка*. — Бел. Ripcho ↑

[2] Не всички астрономи приемат този начин на извличане на енергия от черните дупки. На практика всичко, което се предлага от едни, се отхвърля от други астрономи. Тук ние се намираме на ръба на

познанието и затова всяко предположение е достатъчно несигурно и неопределено. ↑

[3] Това предположение също се отхвърля от някои астрономи. ↑

КВАЗАРИТЕ

През 1950 г. бяха открити някои радиоизточници, които след внимателно изследване се оказаха като че ли много компактни и радиоизлъчването от тях изглеждаше така, сякаш идва от много тесни точкообразни участъци от небето. През онези първи години откриваните радиоизточници обикновено бяха асоциирани с прахови облаци или галактики, които се разпределят върху повече или по-малко големи площи от небето.

Сред тези компактни радиоизточници бяха и някои, които са известни като ЗС 48, ЗС 147, ЗС 196, ЗС 273 и ЗС 286. (Оттогава са открити още много от този род.) ЗС е съкращение от английското *Трети Кембриджски каталог на радиозвездите* — един списък на радиоизточници, съставен от английския астроном Мартин Райл (1918).

През 1960 г. зоните, в които бяха намерени компактни радиоизточници, бяха изследвани от американския астроном Алън Рекс Съндидж (1926) и се оказа, че във всички тези зони се намира нещо приличащо на слаба звезда, което като че ли е свързано с предполагаемия радиоизточник. Обаче имаше някои признаци, че вероятно това не са обикновени звезди. Около доста от тях се наблюдават слаби облаци от прах и газ, а един от тях, ЗС 273, изхвърля слаба струя вещество. Фактически с ЗС 273 се оказаха свързани два радиоизточника, единият — от звездата, а другият — от струята.

Тези обекти само наподобяват по външен вид звезди и в крайна сметка започнаха да ги наричат *квазизвездни* (т.е. звездоподобни) *радиоизточници*. През 1964 г. Хонг Ичю съкрати думата до *кварзар*, която след това бе възприета навсякъде.

Спектри на кварзарите бяха получени през 1960 г., но картината на линиите в тях беше напълно неразгадаема — сякаш кварзарите са съставени от субстанция, напълно чужда на познатите ни елементи във Вселената. Но през 1963 година американският астроном от холандски произход Маартен Шмидт (1929) реши загадката. Линиите щяха да изглеждат напълно нормално, ако бяха в ултравиолетовия обхват на

спектъра. Появяването им във видимия диапазон на електромагнитното излъчване означаваше, че те са много отместени към по-големите дължини на вълните.

Най-простото обяснение беше предположението, че квазарите са много далеч от нас. Понеже Вселената се разширява, галактиките се разбягват и ни изглежда, че всичко се отдалечава от нас. Следователно всички по-отдалечени обекти ще показват отместване към по-дългите вълни, понеже именно това трябва да се очаква, когато един източник на светлина се отдалечава от нас. Освен това, тъй като Вселената се разширява, то колкото по-далече от нас се намира един обект, толкова по-бързо той ще се отдалечава и толкова по-голямо е отместването в спектралните му линии. В такъв случай по това отместване може да се определи разстоянието до него.

Оказа се, че квазарите са отдалечени от нас на милиарди светлинни години. Един от тях, ОQ 172 е на разстояние около 12 милиарда светлинни години и дори най-близкият, ЗС 273, се намира на разстояние над 1 милиард светлинни години, по-далече от който и да е неквазарен обект^[1], който познаваме. Във Вселената съществуват вероятно не по-малко от 15 милиона квазари.

Квазарите изглеждат много слаби на небето, но за да могат въобще да се виждат от такива огромни разстояния, те трябва да имат изключително голяма светимост. Квазарът ЗС 273 е 5 пъти по-ярък от нашата Галактика, а светимостта на някои квазари е над 100 пъти по-голяма от тази на една средна галактика.

Още нещо — ако допуснем, че квазарите просто са галактики, съдържащи 100 пъти повече звезди от обикновените галактики, те съответно биха били и толкова пъти по-ярки. Но в този случай, дори при тези огромни разстояния до тях, те трябва да имат достатъчно големи размери и да се виждат като петънца от разсеяна светлина, а не като звездообразни обекти. Оттук следва, че независимо от голямата им светимост те трябва да са много по-компактни от обикновените галактики.

През 1963 г. беше установено, че квазарите променят мощността на излъчваната от тях енергия както във видимия, така и в микровълновия диапазон. В продължение на няколко години бяха регистрирани увеличения и намаления на блясъка им до три пъти.

За да се наблюдава за толкова кратко време такава значително изменение на излъчването, източникът трябва да има малки размери. Тези изменения на блясъка отразяват поведението на обекта като цяло, при което ефектът трябва да се разпространява върху целия размер на обекта за времето на изменението. Тъй като нищо не може да се разпространява по-бързо от светлината, то ако квазарът променя блясъка си забележимо в продължение на година, диаметърът му не може да бъде по-голям от 1 светлинна година, а най-вероятно е доста по-малък.

Един от квазарите, 3C 446, удвоява яркостта си за два дни и следователно, диаметърът му не е по-голям от 0,005 светлинни години (50 милиарда km), което е около 5 диаметъра на орбитата на Плутон около Слънцето. За сравнение една обикновена галактика има диаметър 100 000 светлинни години и дори централното ѝ ядро има диаметър 15 000 светлинни години.

Това съчетание от много малки размери и огромна светимост показва, че квазарите са обекти, напълно различни от всичко, което познаваме. Откриването им убеди астрономите в съществуването на неизвестни едромасщабни явления във Вселената и ги подтикна към изучаването на тези явления, включително и в контекста на черните дупки.

И наистина е възможно да има някаква връзка между черните дупки и квазарите. Съветският астроном Игор Новиков и израелският астроном Ювал Ниеман (1925) предполагат, че квазарите са гигантски бели дупки, които се намират в другия край на ходовете на дървояди, които ги свързват с гигантски черни дупки, намиращи се някъде далеч във Вселената^[2].

Но нека да погледнем на феномена квазар от друга гледна точка. Наистина ли квазарите са уникални, каквито изглеждат, или те просто са крайни прояви на нещо доста по-обикновено?

През 1943 г. студентът Карл Сифърт, специализант по астрономия, наблюдавал няколко особени галактики, които по-късно оформили заедно с други такива обекти специален вид галактики, наречени сега *галактики на Сифърт* или *сифъртови галактики*. Те най-вероятно съставляват 1% от всички галактики, известни досега (помним, че те са милиарди), въпреки че досега са открити само десетина^[3] такива галактики.

В много отношения сифъртовите галактики изглеждат като обикновените и не са така отдалечени от нас. Обаче ядрата им са много компактни, много ярки и изглеждат необикновено горещи и активни — фактически те много приличат на квазарите. Те също показват променливост в излъчването си, която предполага, че източниците на това излъчване в ядрата им не са по-големи от квазарите. Една сифъртова галактика, ЗС 120, има ядро с размери само 1/8 от диаметъра на цялата галактика, но нейната светимост е три пъти по-голяма от светимостта на останалата част на галактиката.

Мощният активен център се вижда на много по-големи разстояния, отколкото слабите външни области на сифъртовата галактика и ако такава галактика се намира на достатъчно голямо разстояние от нас, то това, което можем да наблюдаваме с телескоп, е само ядрото. Тогава ще смятаме, че тази галактика е квазар, така че силно отдалечените квазари могат да представляват просто много големи и силно активни ядра на сифъртови галактики с огромна светимост.

Нека сега разгледаме ядрото на една сифъртова галактика — много компактно, много горещо и много активно. Една от сифъртовите галактики, NGC 4151, има може би 10 милиарда звезди в ядрото си, чийто диаметър е само 12 светлинни години.

Точно такива условия способствуват за образуването на черни дупки. А фактът, че в даден обем от пространството съществуват благоприятни условия за образуване на черни дупки, означава, че има също така благоприятни условия и за появата на бели дупки.

Можем да си представим, че тук и там във Вселената се образуват черни дупки и всяка от тях предизвиква нарушаване на гладката тъкан на пространството. Между тях възникват ходове на дървояди и веществото изтича през тях с темп, по-малък от темпа на натрупване на веществото върху черната дупка, но този темп в някои случаи може да се окаже достатъчен, за да наблюдаваме мощен източник на излъчване. Темпът на падане на потока материя може да се променя по различни причини, които засега не са ни известни, но точно те водят до изменения в светимостта на квазарите.

Може би съществуват множество бели дупки с различни размери, всяка една свързана със съответната си черна дупка (също с различни размери), но ние ще виждаме само тези от тях, чиито

размери са гигантски. Възможно е, ако се вземат предвид всички двойки черни и бели дупки, да се окаже, че ходовете на дървояди, които ги свързват, кръстосват доста нагъсто Вселената.

Тази теория стимулира въображението на астрономи като Карл Сейгън (1934). Немислимо е да си представим, че каквото и да е вещество, погълнато от черната дупка, може да излезе от тунела на дървояда през бялата дупка, без да претърпи някакви промени, но това не ограничи въображението на Сейгън.

В края на краищата ние сега можем да вършим неща, които на нашите предци биха изглеждали невероятни, затова на Сейгън не му се струва невероятно една напреднала цивилизация да открие начин за противодействие на гравитационните и приливните ефекти, така че един космически кораб да може да се възползува от ходовете на дървоядите и да изминава огромни разстояния в Космоса само за миг.

Да предположим, че сега във Вселената съществува напреднала цивилизация, която е съставила подробна карта на тунелите на дървоядите, чиито входи са черните дупки, а изходите — белите дупки. По-малките тунели ще бъдат по-многобройни и следователно по-полезни.

Да си представим една космическа империя, кръстосана от цяла мрежа тунели — ходове на дървояди, с центрове на цивилизации, разположени пред входовете и изходите. В края на краищата има значение дали те са разположени в близост до оживени кръстовища, както на Земята например е от значение един град да бъде построен на брега на удобен залив или до брод на река.

Най-близките до тунелите планети трябва да бъдат на безопасно разстояние, а още по-близо до тях трябва да се намират огромни космически станции, служещи като бази за космически кораби, минаващи през тунелите, и като енергийни станции за съответните планети.

Как на теория ходовете на дървоядите могат да повлияят върху миналото и бъдещето на Вселената?

Дори ако Вселената е разширяваща се, възможно ли е това разширяване да се уравни от пренасянето на веществото през ходовете на дървоядите в миналото?

Естествено, понеже десетките квазари, които детектирахме, се намират на милиарди светлинни години разстояние от нас, ние ги

виждаме такива, каквито са били милиарди години назад в миналото. Нещо повече, те стават повече на още по-големи разстояния и още по-назад в миналото. Ако квазарите бяха равномерно разпределени във Вселената, то трябваше да има неколкостотин по-близки и по-ярки квазари от най-близкия и най-ярък квазар в момента ЗС 273.

Добре, може би тогава в края на краищата имаме вечна Вселена в някакъв друг смисъл, някакъв тип непрекъснато създаване на материя?

Може би Вселената се разширява вече безброй еони, фактически през цялата вечност, без да може да отиде отвъд сегашното ниво, тъй като ходовете на дървоядите образуват затворен кръг, изпращайки вещество назад към по-уплътненото минало, за да се започне отново повсеместно разширяване?

Дали Вселената не е била никога в свръхплътно състояние и дали въобще някога е имало Голям взрив? Дали не смятаме, че е имало Голям взрив само защото ни е известно разширяването ѝ, което може да е половината от цикъла, преживяван от галактиките. Може би просто не знаем нищо за веществото, което се промъква обратно през ходовете на дървоядите?

Но ако Големият взрив не е съществувал, как ще обясним фоновото излъчване, което е ехо от него? Може ли това излъчване да е продукт на обратния поток материя в далечното минало? Възможно ли е белите дупки или квазарите да бъдат безбройни, „малки взривове“, които се прибавят към Големия, взрив и генерират фоновото излъчване?

И ако всичко това е така, откъде идва енергията, която поддържа безкрайния цикличен характер на Вселената? Ако Вселената се разширява по начина, който наблюдаваме (физиците наричат това *увеличаване на ентропията*), дали не може да съществува и обратното (*намаляваща ентропия*) при връщането назад във времето през ходовете на дървоядите?

Засега на всички тези въпроси няма отговор. Всичко е само предположения, включително и за самото съществуване на ходове на дървояди и на бели дупки.

[1] Квазарите не са разположени „зад“ всички галактики. Те наистина са отдалечени обекти, но се разполагат сред също така отдалечени обикновени галактики. — Б.ред. ↑

[2] Това звучи доста умозрително, но и останалата част от книгата почти изцяло е изпълнена с такива умозрителни построения, някои от които принадлежат на самия автор. — Б.ред. ↑

[3] В момента са известни около 500 галактики на Сифърт. — Б.ред. ↑

КОСМИЧЕСКОТО ЯЙЦЕ

Трябва да кажем, че твърдението за безкрайната поредица от цикли, през които преминава Вселената, е чисто умозрително.

Обаче, ако го отхвърлим, не ни остава нищо друго, освен Големия взрив — или като нещо еднократно, ако живеем в отворена Вселена, или като непрекъснато повтарящо се явление, ако Вселената е затворена или осцилираща. И в двата случая съществува известен проблем. Каква е природата на самото космическо яйце?

Когато за първи път бе изказано предположението за съществуването на космическото яйце, имало се е предвид това, което сега наричаме неутронна звезда. Проблемът е в това, че космическото яйце, съдържайки масата на цялата Вселена (равна на масата на 100 000 000 000 галактики), е прекалено голямо, за да бъде неутронна звезда. Ако наистина е вярно, че всеки обект с маса, 3,2 пъти по-голяма от слънчевата, образува черна дупка, тогава космическото яйце ще е най-голямата възможна черна дупка.

Как тогава то се е взривило и е породило Големия взрив? Черните дупки не се взривяват.

Да предположим, че пред нас е една свиваща се Вселена, която по време на свиването си образува черни дупки с различна големина. Черните дупки могат, разбира се, да изхвърлят част от своята маса през ходове на дървояди, като по този начин противодействуват на свиването, но тази маса няма да е достатъчна, за да спре свиването на Вселената (нито нейното разширяване, иначе ние нямаше сега да сме тук).

Със свиването на Вселената черните дупки нарастват за сметка на веществото, което е извън тях, и все по-често и по-често те се сблъскват и сливат. В края на краищата всички черни дупки се сливат в едно и образуват космическото яйце. То губи веществото си много бързо през свързания с него ход на дървояд, като образува на другия му край най-голямата възможна бяла дупка. Именно бялата дупка на космическото яйце е породила Големия взрив, който е създал нашата разширяваща се Вселена. Това е еднакво добро обяснение, независимо

дали Вселената е отворена или затворена, дали космическото яйце се е зародило само веднъж или многократно.

Естествено това твърдение ще бъде вярно в случай, че ходовете на дървоядите и белите дупки наистина съществуват, а точно това не е сигурно. Дори ако те съществуваха, твърдението би било вярно само ако космическото яйце се върти. А дали това е така?

Във Вселената съществува известен ъглов момент, но той би могъл да се създаде само въпреки закона за запазване на момента, тъй като преди създаването не е съществувало нищо.

Това е така, защото има два вида противоположни ъглови моменти. Даден обект може да се върти по посока на часовниковата стрелка или в обратна посока (или, ако предпочитате в положителна или в отрицателна посока). Два обекта, които имат равни по големина, но противоположни по посока ъглови моменти, ако се сблъскат и слоят, ще имат сумарен ъглов момент нула, а енергията от двете противоположни въртеливи движения ще се превърне в топлина. Обратно, ако един обект с нулев ъглов момент получи енергия по подходящ начин, може да се раздели и да образува два „подобекта“, единият от които ще има положителен, а другият — отрицателен ъглов момент.

Всички обекти във Вселената вероятно притежават ъглов момент и е сигурно, че при някои от тях той е положителен, а при други — отрицателен. Няма начин да узнаем дали единият вид съществува в по-големи количества от другия. Ако разпределението на ъгловите моменти е несиметрично, то при колапса на Вселената и образуването на космическото яйце последното ще има в крайна сметка такъв ъглов момент, който е равен на останалия некомпенсиран излишък от двата противоположни момента.

Възможно е обаче ъгловите моменти от единия и от другия вид да са равни. В този случай космическото яйце при образуването си няма да притежава ъглов момент и ще умре. И тогава ние няма да можем да разчитаме на ходовете на дървоядите и на белите дупки като причина за Големия взрив.

На какво друго тогава да разчитаме?

Както съществуват два противоположни вида ъглови моменти, така съществуват и два противоположни вида материя.

Електронът се уравнива от антиелектрона или позитрона. Когато електронът и позитронът се срещнат двете частици анихилират. В резултат на този процес изобщо не остава маса. Тя се превръща в енергия под формата на гама-лъчи. По същия начин при взаимодействието на протон и антипротон масата им се превръща в енергия. Същото се отнася и за неутрона и антинеутрона.

Съществува вещество, изградено от протони, неутрони и електрони, и антивещество, изградено от антипротони, антинеутрони и антиелектрони. В този случай всяко произволно взето количество нормално вещество, взаимодействащо с равно количество антивещество, ще анихилира и при това масата ще се превърне изцяло в гама-лъчи.

Обратно, от излъчване може да се образува вещество, но никога само от един вид частици. На всеки новообразуван електрон се пада и новопоявил се антиелектрон, на всеки протон — антипротон, на всеки неутрон — антинеутрон. Или, казано накратко, когато излъчването се превръща във вещество, винаги се образува и същото количество антивещество.

Но ако това е така, къде е тогава антивеществото, което би трябвало да се е зародило с обикновеното вещество на Вселената?

Сигурно е, че Земята е изградена от вещество (с изключение на малките количества антивещество, образувани изкуствено в лабораториите, и на следите от антиматерия в космичните лъчи). Фактически цялата Слънчева система, както и Галактиката, част от която сме и ние, е изградена изцяло от обикновено вещество.

Къде е антивеществото? Вероятно съществуват галактики, образувани изцяло от него. Вероятно е възможно да съществуват галактики и антигалактики, които поради общото разширяване на Вселената не могат да влизат никога в контакт една с друга и да анихилират. Както веществото образува черни дупки, така и антивеществото ще образува античерни дупки. Тези два вида черни дупки са еднакви във всяко отношение, само че са образувани от противоположни видове материя.

Ако Вселената в миналото е била в състояние на непрекъснато свиване, черните и античерните дупки са могли да се образуват още по-лесно. В процеса на свиване се увеличава вероятността две черни дупки с противоположна природа да се сблъскат и да последва

анихилация с огромна сила. При окончателно сливане на материята от двата вида анихилацията е най-мощна.

Тогава ще изчезне цялата маса на Вселената, а с нея и гравитационното поле, което поддържа черната дупка, а следователно и космическото яйце, образувано от това вещество. На негово място ще се появи огромна по своята мощ радиация, която ще се разпространява, разширявайки се, навън. Това ще бъде Големият взрив.

Известно време след Големия взрив енергията на излъчването вследствие на разширението няма вече да е толкова интензивна и ще се ускори до състояние, в което може да се образува вещество и антивещество. Някакъв неизвестен засега механизъм разделя галактичните единици от двата вида материя една от друга, после той престава да работи и разширяващата се Вселена добива вида, който има сега.

Гледайки на Големия взрив като на тотална анихилация между веществото и антивеществото, вече няма да има значение дали космическото яйце се върти или не (или, което е едно и също, дали то е живо или не).

Все още няма доказателства за съществуването на антигалактики. Не може ли в такъв случай по някакви причини още да не сме разбрали, че Вселената е изградена само от обикновено вещество.

Може да се докаже, че това е невъзможно. Вселената не може да е изградена само от обикновено вещество, защото тогава нямаше да е възможен Големият взрив. Тогава ще трябва да измислим механизъм, който позволява в една състояща се само от обикновена материя Вселена да протече Голям взрив. Даже и да направим това, при свиването си тази Вселена ще образува космическо яйце, което не се върти и следователно ще бъде мъртва черна дупка.

Според уравненията, които се използват за обясняване образуването на черните дупки, стойността на радиуса на Шварцшилд е пропорционална на масата на черната дупка.

Черна дупка с маса, равна на слънчевата има радиус на Шварцшилд 3 km и следователно диаметърът ѝ е 6 km. Черна дупка, която има два пъти по-голяма маса от тази на Слънцето, ще има и два пъти по-голям диаметър, т.е. 12 km. Обаче обемът на кълбо, което има

два пъти по-голям диаметър от друго, е осем пъти по-голям от обема на по-малкото кълбо. От това следва, че ако една черна дупка има два пъти по-голяма маса от слънчевата, то тази двойно по-голяма маса ще бъде разпределена в осем пъти по-голям обем. Тогава плътността на по-голямата черна дупка ще е четири пъти по-малка от плътността на по-малката черна дупка.

С други думи — колкото е по-масивна една черна дупка, толкова тя е по-голяма и толкова плътността ѝ е по-ниска.

Да предположим, че цялата наша Галактика, която има 100 000 000 000 пъти по-голяма маса от слънчевата, се е превърнала в черна дупка. Нейният диаметър би бил 600 000 000 000 km, а средната ѝ плътност — около $0,000001 \text{ g/cm}^3$. Галактичната черна дупка ще има 50 пъти по-голям диаметър от размерите на орбитата на Плутон^[1], но плътността ѝ няма да бъде по-голяма от тази на обикновените газове.

Да предположим, че всички галактики във Вселената, вероятно около 100 000 000 000 на брой, колапсират в една-единствена черна дупка. Такава черна дупка, съдържаща цялото вещество на вселената, ще има диаметър 10 000 000 000 светлинни години, а нейната средна плътност ще бъде равна на плътността на силно разреден газ.

Но няма никакво значение колко разреден е този газ, това е структура на черната дупка.

Да предположим, че цялата маса на Вселената е 2,5 пъти повече, отколкото изглежда тя на астрономите. В такъв случай черната дупка, образувана от цялото вещество на Вселената, ще има диаметър 25 000 000 000 светлинни години и той ще е приблизително равен на диаметъра на Вселената, в която живеем (доколкото я познаваме).

Тогава е напълно възможно цялата Вселена да представлява сама по себе си черна дупка (както предполага физикът Кип Торн).

Ако това е така, вероятно Вселената винаги е била черна дупка и винаги ще бъде такава. Тогава ние живеем в черна дупка и ако искаме да узнаем какви са условията в нея (знаейки, че тя има изключително голяма маса), трябва просто да се огледаме наоколо.

Можем да си представим, че когато Вселената колапсира, първоначално се образуват произволен брой относително малки по размери черни дупки (черни дупки вътре в черна дупка!). Накрая, през последните няколко секунди на финалния катастрофален колапс, когато всички черни дупки колапсират до една-единствена космическа

черна дупка, радиусът на Шварцшилд нараства до размерите на известната ни Вселена!

И тогава може би *вътре* в Шварцшилдовия радиус се появява възможност за взрив. Възможно е, когато радиусът на Шварцшилд достигне милиарди светлинни години, да протече експлозия, в същия миг да се зароди космическото яйце и точно *това* да е Големият взрив.

Ако това е така, ние бихме могли да твърдим независимо от сегашното състояние на нашите познания, че Вселената не може да бъде никога отворена, понеже тя не може да се разшири отвъд радиуса на Шварцшилд. Разширението трябва да спре по някакъв начин до този радиус и тогава Вселената неизбежно ще започне отново да се свива, повтаряйки отново и отново този цикъл. (Някои смятат, че при всеки Голям взрив винаги се заражда напълно различна от предишната разширяваща се Вселена с различни природни закони.)

Възможно ли е тогава всичко, което виждаме около нас, да е част от невъобразимо бавен цикъл (десетки милиарди години свиване и десетки милиарди години разширяване) на една черна дупка с размерите на цялата Вселена?

Може ли, ако по някакъв начин се отделим от нашата Вселена и наблюдаваме отстрани, да се окаже така, че съществуват много черни дупки с различна големина — може би безброй много — и всички те се разширяват и се свиват всяка със свой собствен ритъм?

И ние сме в една от тях — и чрез фантазията на мисълта, от нашето място, по-малко от прашилка, бродещо в дълбините на една от тези вселени, ние бихме могли да си съставим една въображаема картина за съществуването и поведението на всички тези вселени.

[1] Авторът не е точен, размерите на тази дупка са около 10 пъти по-големи от орбитата на Плутон. — Б.ред. ↑

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ИЗРАЗЯВАНЕ НА ЧИСЛАТА ВЪВ ВИД НА СТЕПЕНИ

За удобство числата могат да се записват като произведение с 10. Така $100 = 10 \times 10$, $1000 = 10 \times 10 \times 10$, $1\,000\,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ и т.н. По-кратък начин да запишем тези числа е да отбележим броя на десятките, влизаци в произведението, като малка цифра (или „степен“) в горния десен край на 10.

Например, ако $100 = 10 \times 10$, можем да кажем, че $100 = 10^2$. По същия начин $1000 = 10^3$ и $1\,000\,000 = 10^6$. Както се вижда, степента е равна на броя на нулите в голямото число. Числото $1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ (един трилион трилиона) има 36 нули и може да бъде написано като 10^{36} .

Степенната система се използва и за записване на дроби. Числото $1/100$ е $1/10^2$ и съществуват сигурни алгебрични основания да го запишем като 10^{-2} . По същия начин $1/1000$ е равно на $1/10^3 = 10^{-3}$ и $1/1000000 = 1/10^6 = 10^{-6}$. Ако напишете такова число с фиксирана запетая, степента ще бъде винаги с едно по-голяма от броя на нулите зад запетаята. Така $1/1000000 = 0,000001$, като отдясно на десетичната запетая има пет нули, а изразено в степени, това число ще бъде 10^{-6} . Ако преброите и самата нула, която стои отляво на десетичната запетая, степента ще бъде равна на броя на нулите.

Така $0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$ (или една трилион трилион трилионна) е 10^{-36} .

Ако имате работа с числа от сорта например на $6\,000\,000$, то то е равно на $6 \times 1\,000\,000$, или 6×10^6 . По същия начин $45\,200\,000$ е равно на $4,52 \times 10\,000\,000 = 4,52 \times 10^7$. А числото $0,000013$ е равно на $1,3 \times 0,00001 = 1,3 \times 10^{-5}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МЕТРИЧНАТА СИСТЕМА

Метричната система се изгражда изключително в единици, кратни на десет, за разлика от обикновената (за англоезичните страни — бел.ред.) система, която се изгражда на базата практически на всяка цифра. Например дванадесет инча правят един фут, три фута са равни на един ярд, а 1760 ярда — на една миля.

Метричната единица за разстояние е метър и тя се изгражда нагоре (или надолу) като степен на десет чрез серия от представки:

1 километър = 10 хектометра = 1000 метра

1 хектометър = 10 декаметра = 100 метра

1 декаметър = 100 метра

1 метър

1 дециметър = 1/10 метра

1 сантиметър = 1/10 дециметра = 1/100 метра

1 милиметър = 1/10 сантиметра = 1/1000 метра

Има и други представки и за по-големи и за по-малки единици. Например един мегаметър е 1000 километра, а един микрометър е 1/1000 милиметра. Те обаче се използват рядко.

Тази проста употреба на 10 като степен за измерване прави метричната система лесна за запомняне и употреба в сравнение с общоприетата система. Именно затова целият цивилизован свят, с изключение на САЩ, използва метричната система. Ще дойде ден, в който и ние ще я използваме.

Понеже един метър е равен на 39,37 инча или на 1,094 ярда, един километър ще бъде 1,094 X 1000 или 1094 ярда. Това прави 0,621 мили или около 5/8 от милята. От друга страна, 1 сантиметър е 39,37, разделено на 100, или 0,3937 инча (около 2/5 от инча).

Един кубичен сантиметър е 2/5 X 2/5 X 2/5, или 0,064 кубични инча, което прави около 1/16 от кубичния инч.

Друга метрична мярка, която се използва в книгата, касае масата. Тук основна единица е грамът. Това е доста малка единица, тъй

като тя е еквивалентна на 0,035 унции или на около една тринадесета от унцията. Един килограм е равен на 1000 грама = 0,035 X 1000 унции = 35 унции или около 2,2 фунта.

Другите по-сложни единици за измерване като например единицата „дина“ (упомената по-напред в книгата), могат да се изразят чрез сантиметри, грамове и секунди. Единиците за време като секунди, минути, дни и години се едни и същи както в метричната, така и в общоприетата система^[1].

[1] Авторът говори за системата метрични единици, наречена CGS (т.е. сантиметър-грам-секунда). Сега по международното съглашение, в което участва и САЩ, в естествените науки се използва международната система SI (или системата метър-килограм-секунда). — Б.ред. ↑

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ТЕМПЕРАТУРНИ СКАЛИ

Целият цивилизован свят, с изключение на САЩ, използва температурната скала на Целзий, при която точката на замръзване на водата е приета за 0 градуса, а точката ѝ на кипене 100 градуса. Ще дойде време, когато САЩ ще приемат тази система, но сега там все още се използва температурната скала на Фаренхайт, според която точката на замръзване на водата е +32 градуса, а точката на кипене е +212 градуса.

Броят на градусите между точката на замръзване и точката на кипене на водата е 100 градуса по скалата на Целзий и 180 градуса по скалата на Фаренхайт. Следователно 1 градус по Целзий е $180/100$ или $9/5$ градуса по Фаренхайт и обратно — градусът по Фаренхайт е $100/180$ или $5/9$ от градуса по Целзий.

Ние не можем да превърнем едните градуси в другите само чрез разликата във величината на градусите. Съществува и разлика в избора на нулевата точка, която по скалата на Целзий е в точката на замръзване на водата, а по Фаренхайт е 32 градуса под тази точка.

За да преминете от едната система в другата, трябва да използвате следните уравнения:

$$\text{градуси } F = 9/5 (\text{градуси } C) + 32$$

$$\text{градуси } C = 5/9 (\text{градуси } F) - 32$$

СВЕТОЗАР ЖЕКОВ

ПОСЛЕСЛОВ

Завършвайки своята еволюция, звездите преминават през най-екзотичните фази на своя живот — фазата на бяло джудже, неутронна звезда и черна дупка. Това е така, понеже на повърхността им и в близкото пространство около тях физичните условия са такива, каквито не могат да бъдат създадени в земните лаборатории, а и едва ли някога човечеството ще стане толкова могъщо, за да ги създаде. Поради тази причина изследването на материята при такива екстремални условия (силни гравитационни, електрични и магнитни полета, високи температури и др.) е особено важно, защото ще ни даде възможност да проверим дали нашата „земна“ наука е достатъчно мощна, за да опише цялото многообразие на наблюдаваните явления, или е необходимо по-нататъшното ѝ усъвършенствуване.

Белите джуджета, неутронните звезди и черните дупки носят наименованието релятивистки обекти, тъй като за обяснение на техните свойства се прибегва до услугите на общата и на специалната теория на относителността. Те притежават редки интересни свойства, но може би най-интересните от тях са следните:

— белите джуджета имат горна граница на своята маса, т.е. те не могат да притежават маса, по-голяма от 1,4 слънчеви маси;

— неутронните звезди също имат такава горна граница, която според съвременните модели е между 1,5 и 3 слънчеви маси;

— черните дупки нямат ограничение на масата си, те могат да имат както много малка маса (мини черни дупки), така и много голяма (милиони и милиарди пъти по-голяма от слънчевата).

И така, ние можем да обрисоваме основните щрихи от еволюцията на една звезда. Ако тя, преминавайки през различните етапи на своето развитие, в края на живота си има маса, която малко се различава от слънчевата, ще се превърне в бяло джудже. Ако масата ѝ не е по-голяма от 3 слънчеви маси, ще завърши живота си като неутронна звезда. Ако е още по-масивна, нейната последна форма на

съществуване е черната дупка. Тъй като броят на звездите в Млечния път е огромен и звездите непрекъснато се развиват (раждат се от облаците газ, живеят и умират), то и броят на релятивистките обекти трябва да е голям. Това кара учените да търсят тези обекти, да ги откриват и да ги изследват експериментално (чрез наблюдения от Земята и с космически апарати), за да могат да сравнят своите представи за тях, получени върху хартия, с реалността.

С какво обогатиха земните учени своите знания за тези изключително интересни обекти през последните години?

През 1964 г. съветският учен Я. Зелдович и независимо от него американският му колега Е. Солпитър изказаха идеята, че акрецията (падането) на вещество върху релятивистки обект може да бъде мощен източник на енергия. Например ефективността на този източник за една неутронна звезда с радиус 10 km е около 100 пъти по-голяма от ефективността на термоядрените реакции. Това означава, че един такъв обект, намирайки се при подходящи условия, когато върху него пада достатъчно количество вещество, се превръща в мощен източник на лъчение.

И наистина, ако разгледаме едно самотно бяло джудже, което се рее свободно в космическото пространство, ще се убедим, че то е една невзрачна звезда, с нищо непривличаща вниманието на изследователя. Но ако то се намира в двойна звездна система, в която съседът му е на неголямо разстояние от него, джуджето се преобразява и се създават благоприятни условия за лесното му откриване. Съседната звезда обикновено е достатъчно силен източник на вещество, което, щом попадне в орбита около бялото джудже, формира така наречения акреционен диск. Газът в акреционния диск се движи по спирала и постепенно пада към центъра върху повърхността на бялото джудже. Вследствие на триенето на газовите потоци и сблъскването между частиците им, веществото в диска се нагрява до много високи температури. В централната част температурата достига до десетки милиони градуси и постепенно намалява към външните части. В резултат на това бялото джудже, притежаващо акреционен диск, става силен източник на лъчение в целия диапазон на електромагнитния спектър, като неговата светимост е пропорционална на количеството вещество, което получава от своя „добронамерен“ съсед.

Според законите на небесната механика орбитата на бялото джудже около втората звезда в системата може да бъде както окръжност, така и елипса. Последното означава, че двата обекта постепенно се приближават, а след това се отдалечават един от друг, което ще рече, че и количеството вещество, падащо върху бялото джудже, се мени с времето. От друга страна, главната звезда може да има и свои вътрешни причини, поради които темпът, с който губи вещество, също да се променя. От всичко казано дотук следва, че щом количеството газ, падащо в акреационния диск, се променя във времето и блясъкът на този нов източник също ще бъде променлив.

В някои случаи акрецията върху бялото джудже е толкова голяма, че то не може да поеме цялото количество вещество и част от него се изхвърля по посока на оста на въртене на акреционния диск. Тези струи газ се наричат *джетове*. Те са характерни и за акреционните дискове, образувани около неутронните звезди и черните дупки.

Нека да видим какво става с веществото, което попада върху повърхността на бялото джудже.

Ако там се натрупа достатъчно количество вещество и масата на джуджето надхвърли максималната позволена стойност, звездата може да се свие и да се превърне в неутронна. Това невинаги се случва, понеже на повърхността на бялото джудже температурата е много висока и могат да възникнат благоприятни условия за протичане на термоядрени реакции. Щом това се случи, натрупаното вещество бързо изгаря, а част от него се изхвърля в околост звездното пространство във вид на гореща обвивка, която постепенно изстива. По този начин зоната, където е станал взривът, остава без гориво и термоядреното горене се прекъсва. Така бялото джудже се връща в нормалното си състояние и отново започва да трупва вещество, очаквайки следващото избухване. Понякога взривът може да бъде толкова мощен, че се разрушава цялата звезда и на мястото ѝ остава само разширяваща се мъглявина.

Тези теоретични идеи намериха голямо приложение при обяснението на природата на такива обекти като новите, новоподобните, симбиотичните звезди и свръхновите от I тип. Предсказанията на модела на бяло джудже, намиращо се в тясна двойна система и акретиращо вещество от своя съсед, получиха блестящо потвърждение от наблюденията в рентгеновия,

ултравиолетовия и оптичния диапазон. И така, учените могат да заявят, че в основни линии физичните процеси, протичащи в и около бялото джудже, са разбираеми за тях и могат да бъдат описали на езика на земната наука.

Дали е така и с останалите релятивистки обекти?

Неутронните звезди са предсказани теоретично от известния съветски физик Л. Ландау в началото на тридесетте години на нашия век. През 1934 г. американските астрономи В. Бааде и Ф. Цвики изказват идеята, че при взрива на свръхнова централните области на звездата колапсират и тя се превръща в неутронна.

За разлика от своя „братовчед“ бялото джудже, неутронната звезда е мощен източник на лъчение даже когато е сама и няма близък съсед. Тя е открита експериментално през 1967 г., когато бяха открити радиопулсарите. За това, че радиопулсарите са неутронни звезди със силни магнитни полета, говорят следните два факта, установени при наблюдение. Първо голямата стабилност на периодите им и, второ, бавното увеличаване на периода на пулсарите за интервал от няколко години. Последното е напълно естествено, тъй като вследствие на излъчването пулсарът губи енергия и това забавя въртенето му, защото той няма други източници, от които да си я набавя. Решаващ аргумент в полза на модела на въртяща се неутронна звезда се оказа откриването на радиопулсара в Ракообразната мъглявина. Неговият период е бил рекордно малък за времето си — само 0,033 s. Толкова бързо може да се върти само неутронна звезда.

Откриването и изследването на радиопулсарите показва, че колапсът на една нормална звезда води не само до избухването на свръхнова и образуването на неутронна звезда, а и до бързото ѝ въртене и генерирането на мощни магнитни полета. Последните два параметъра позволиха неутронните звезди да бъдат отделени в качествено нов клас обекти, способни да се проявяват активно.

Да си представим, че неутронната звезда се е родила в двойна система, като съседа ѝ е нормална звезда. Отначало неутронната звезда има голяма честота на въртене и е мощен източник на електромагнитно лъчение и релятивистки частици (частици със скорост, близка до тази на светлината), т.е. тя е радиопулсар. Налягането на частиците, изхвърлени от неутронната звезда, е много голямо и направо „издухва“ околосвездната плазма — така около

пулсара се образува празно пространство. С течение на времето мощността на лъчението намалява и плазмата прониква все по-близо до повърхността му, но акрецията е все още невъзможна, защото ѝ пречи бързовъртящото се магнитно поле. Неутронната звезда продължава да забавя въртенето си и се стига до момента, в който околостърдното вещество пада на повърхността ѝ. Настъпва нов етап в развитието на неутронната звезда — етап на акреция, като през неговото съществуване тя излъчва в рентгеновия диапазон. От това следва, че в двойните системи трябва да се наблюдават рентгенови пулсари.

Такива източници скоро бяха открити от американския спътник Ухуру, изстрелян на 12 декември 1970 г. Наблюденията потвърдиха предсказанията на теорията, че за разлика от радиопулсарите рентгеновите пулсари ускоряват въртенето си, т.е. периодите им намаляват. Това е така, защото, падайки на повърхността на неутронната звезда, околостърдното вещество ѝ предава своя ъглов момент и тя се завърта по-бързо, както става с перките на мелницата, когато върху тях пада течаща вода.

И все пак защо сме сигурни, че рентгеновите пулсари са неутронни звезди? Разбира се, най-краткопериодичните от тях не будят съмнение. Например рентгеновият пулсар А 0538–66 има период, равен на 0,069 s, а с такъв период може да се върти само неутрон на звезда. Наистина, ако тя има маса, равна на една слънчева маса, и радиус 10 km, то периодът ѝ ще бъде около 0,001 s, докато за едно бяло джудже със същата маса и радиус 1000 km периодът ще е около 1 s. Болшинството рентгенови пулсари имат периоди, по-големи от 1 s, т.е. те спокойно могат да бъдат бели джуджета. Сега можем уверено да твърдим, че рентгеновият пулсар се ражда в двойна система, едната от компонентите на която е неутронна звезда, а не бяло джудже.

През 1975 г. бяха открити съвършено нов тип рентгенови източници — *рентгеновите барстери*. Приборите на холандския спътник ANS регистрираха в рентгенови лъчи избухване, продължило само 20 s, чийто източник беше в кълбовидния звезден куп NGC 6624. Последвалите изследвания показаха, че избухванията на барстерите следват квазипериодично и са наложени върху почти постоянен рентгенов поток, като интервалът между тяхното появяване може да бъде от секунди и минути до часове и няколко дни. Скоро и тази тайна

беше разкрита. Оказа се, че моделът на термоядрено горене на падащото вещество върху повърхността на неутронната звезда със слабо магнитно поле много добре описва наблюдателните характеристики на рентгеновите барстери.

Ако акрецията на веществото става върху повърхността на неутронна звезда със силно магнитно поле, то последната се проявява още по-активно — превръща се в източник на гама-избухвания, които бяха открити през 1967 г. от американските спътници Вела. Продължителността на отделните избухвания е по-малка от 1 s, а за по-продължителните достига до няколко минути. Да се спрем накратко на това, как протича едно гама-избухване. Първоначално в околополярната област на неутронната звезда в петно, което заема около 0,001-0,1% от повърхността ѝ, се натрупва вещество. Разпределението на веществото в това петно може да бъде доста неравномерно поради сложната структура на магнитното поле на повърхността на звездата. След това започва устойчиво термоядрено горене на водорода, при което се образува хелий. Когато в центъра на петното се достигне критичната плътност за горенето на хелия, той се взривява и взривът се разпространява към периферията на петното. Магнитното поле се деформира, появяват се силни електрични полета, които ускоряват електроните до високи енергии. При тяхното взаимодействие с фотоните се раждат гама-кванти и ние наблюдаваме гама-избухване.

През 1987 г. астрономите станаха свидетели на едно грандиозно събитие — раждането на неутронна звезда. На 23 февруари в спътника на Млечния път, наречен Голям Магеланов облак, избухва свръхнова звезда, получила името SN 1987 А. Никога досега учените не са имали шанса да изследват такова явление, протичащо толкова близо до Земята — само на 160 хил. светлинни години.

При взрив на свръхнова се образува ударна вълна, която нагрива атмосферните слоеве на звездата и ги изхвърля с голяма скорост (няколко хиляди километра в секунда). Централните части колапсират и се образува неутронна звезда или черна дупка. Колапсът се съпровожда от излъчване на голямо количество неутрино.

На 23 февруари 1987 г. в 7 часа и 36 минути всемирно време детекторът Камиоканде II в оловния рудник Камиока (Япония) и детекторът IBM в солната шахта Мортън-Тиокъл около Кливлънд (щат

Охайо, САЩ) едновременно регистрираха поток от неутрино. По същото време подобни събития регистрира и детекторът в Баксанската обсерватория (СССР). Мимолетната регистрация на неутринния импулс показва, че, както предсказва теорията, при избухването на свръхнова от II тип се е образувала неутронна звезда. Средната енергия на уловените неутрино потвърждава теоретичните предсказания за температурата на протоннеутронната звезда. Освен това избухването продължило няколко секунди, което означава, че частиците неутрино са преминали през свръхплътното вещество на колапсиралото ядро.

В началото на 1989 г., две години след взрива, светимостта на Свръхновата започна равномерно да намалява, като в този момент излъчването ѝ се определяше изцяло от радиоактивното разпадане на химичния елемент кобалт-56. Теоретиците започнаха да се учудват, че няма признаци за съществуване на други източници на енергия. Неутронното избухване беше известно за раждането на неутронната звезда. Обаче неутронната звезда е мощен източник на лъчение — може да нагрива падащото върху нея вещество до високи температури или да стане пулсар. Затова закономерно възникнаха следните въпроси. Къде пропадна неутронната звезда в SN 1987 A? Възможно ли е тя да е възникнала в началния стадий на взрива и след това да се е превърнала в черна дупка? Ако в течение на първите няколко секунди се е образувала черна дупка, то неутринният импулс щеше да бъде кратък от наблюдения. Ако достатъчно количество вещество е паднало по-късно върху неутронната звезда, поради което масата ѝ се е увеличила над допустимата, то радиоактивният никел щеше да изчезне и Свръхновата би светела по-слабо.

През нощта на 18 януари 1989 г. беше получен отговор на тази загадка, но възникнаха няколко нови. Група американски астрономи, наблюдаващи в обсерваторията Серо-Тололо (Чили), откри оптическите пулсации на Свръхновата. Пулсациите, чийто интензитет беше около 0,1% от пълната светимост на Свръхновата, ставаха почти 2000 пъти в секунда, което означаваше, че скоростта на въртене е била три пъти по-голяма от тази на най-бързовъртящите се от известните досега пулсари. Само най-плътните и масивни неутронни звезди не се разрушават при такова бързо въртене. Всичко беше добре, но при повторните наблюдения с такава и дори по-висока чувствителност

пулсациите не бяха регистрирани. Възможни са различни предположения. Например облаците газ в обвивката на свръхновата могат да поглъщат изцяло излъчването на пулсара или пък той временно е „изключен“ — веществото, падащо върху неутронната звезда, е дало „на късо“ електричното поле (генерирано от въртящото се магнитно поле), което дава енергия за излъчването. Засега отговорът е неизвестен.

Въпреки възникналите трудности последните години донесоха много успехи в обяснението на свръхновите от II тип и учените се уверени, че земната наука добре обяснява явленията, имащи отношение към неутронните звезди.

Нека сега да обърнем поглед към може би най-екзотичните космични обекти — черните дупки.

Представите за тези обекти са се появили още през XVIII век. Тогава френският учен Лаплас и независимо от него английският физик Дж. Мичел, основавайки се на нютоновата теория за гравитацията и предполагайки, че скоростта на светлината е крайна, са доказали, че едно достатъчно компактно и масивно тяло трябва да бъде невидимо за външния наблюдател. Съвременната представа за черните дупки като обекти, притежаващи хоризонт на събитията, под който не можем да „надникнем“, е възникнала след създаването на общата теория на относителността. К. Шварцшилд намира своето знаменито решение само два месеца след като А. Айнщайн публикува през 1916 г. уравненията на релативистката теория за гравитацията. Около 50 години по-късно в началото на 60-те години Р. Кер получи по-общо решение, описващо въртяща се черна дупка, а през 1975 г. английският физик С. Хоукинг доказа, че мини черните дупки могат да се изпаряват, т.е. да губят маса.

Достатъчно добре обоснованата горна граница за масата на неутронните звезди (3 слънчеви маси) означава, че всяко „тъмно“ космично тяло, чиято маса е по-голяма, трябва да е черна дупка. Астрономите бързо се ориентираха, че трябва да търсят такива обекти в двойни звездни системи, тъй като наличието на съсед им позволява да „претеглят“ евентуалния кандидат. От друга страна, акрецията на вещество върху черната дупка ще предизвика мощно рентгеново излъчване, показващо неперодична променливост.

Първият успех в търсенето на компактни непериодични бързопроменливи рентгенови източници с маса над допустимата (откриването на Лебед X-1) се смени от дълъг период на разочарования. Но в последно време се появиха няколко нови обнадеждаващи кандидати за черни дупки. Един от тях е източникът LMC X-3, открит в Големия Магеланов Облак от спътника Ухуру. За разлика от Лебед X-1, който има ярка звезда свръхгигант в качеството на видим компонент, оптичният компонент на LMC X-3 е слаба звезда от главната последователност. Оптичестката светимост на системата е около 100 пъти по-малка от рентгеновата ѝ. Изследванията показват, че ако оптичестката звезда има характерната за дадения тип звезди маса, то тази на невидимия компонент е около 7 слънчеви маси.

Вече няколко години вниманието на астрономите се привлича от необичайния източник в съзвездието Орел, излъчващ в рентгеновия, оптичесткия и радиодиапазона. Нарича се SS433. Особеността му е, че има две тънки струи газ, които изхвърля в противоположни посоки с релативистка скорост от около 80 000 km/s. Най-вероятно е тези джетове да са резултат от наличието на акреционен диск около компактен обект. Нормалната звезда в тази система е свръхгигант с нестационарна обвивка. Численият анализ на изменението на блясъка на системата, при различни предположения за масата на съставлящите я обекти, показва, че най-вероятната маса на невидимия компонент е 4,3 пъти по-голяма от Слънчевата.

Според най-новите наблюдения съществува още един много вероятен кандидат за черна дупка. Това е рентгеновият източник A0620-00, който се намира в съзвездието Еднорог. Масата на невидимия компонент е 3,2 слънчеви маси (т.е. намира се много близо до горната допустима граница за неутронните звезди), но характеристиките на излъчването му точно съответстват на тези, които предсказва теорията за акрецията върху черна дупка.

В настоящия момент най-силни са доказателствата за наличие на черна дупка в обектите Лебед X-1 и A0620-00, въпреки че съществуват и алтернативни обяснения (например тройна звездна система).

Данните от наблюденията показват, че други потенциални кандидати за черни дупки се намират в ядрата на сифъртовите галактики и квазарите. Формата на спектъра в рентгеновия диапазон на тези обекти, както и изменението на излъчването им във времето, са

идентични с тези на кандидатите за черни дупки, разположени в двойните звездни системи. Според теорията характерното време, за което настъпват случайни изменения в светимостта на акреционния диск, е пропорционално на масата на черната дупка, около която той се е формирал. В този случай от наблюденията следва, че масите на черните дупки в ядрата на сифъртовите галактики и квазарите са няколко милиона или милиарда пъти по-големи от Слънчевата. Такива черни дупки неизбежно трябва да възникват при колапса на много масивни звезди или компактни звездни купове. Акрецията на вещество върху свръхмасивни черни дупки може да служи за източник на огромно количество енергия, което се излъчва от ядрата на тези обекти. Също така моделът на черната дупка съвсем естествено обяснява и наличието на мощни джетове в някои от тези източници.

Въпросът за възможното съществуване на първични черни дупки, възникнали в ранните стадии от развитието на Вселената, и тяхното влияние върху по-нататъшната ѝ еволюция засега остава открит. Интерес представляват мини черните дупки, които най-вероятно вече са изчезнали в резултат на изпарението им. Динамиката и разпадането на такива дупки зависи от предположенията за свойствата на елементарните частици при свръхвисоки енергии. Тук космологията и физиката на черните дупки са в допир с теорията на елементарните частици и се оказват тази своеобразна експериментална лаборатория, в която могат да се проверяват различните ѝ хипотези. Именно при този контакт на физиката на микро- и макросвета можем да се надяваме, че ще се роди и теорията на Великото обединение, която по естествен път да обясни произхода на четирите вида взаимодействие в природата: гравитационното, електромагнитното, слабото и силното ядрено взаимодействие.

Защо все пак вниманието на учените така силно се привлича от въпроса, дали съществуват, или не черните дупки? Причините са поне две.

Първо, това е предвиждане на теорията и е необходимо да се провери дали е вярна.

Второ, отдавна съществува идеята, че черните дупки са входове на така наречените „тунели на дървояди“, а техни изходи са „белите дупки“. Тези тунели пронизват изкривеното пространство-време на Вселената и пътувайки по тях бързо, можем да се озовем на огромно

разстояние от Земята в недосегаем за човека звезден свят (тази идея особено се харесва на писателите фантасти). Досега теоретичното разработване на този проблем не беше много успешно, но преди няколко години известният американски астрофизик Кип Торн заедно със своите сътрудници отново се зае с него. Той предложи редица теоретични конструкции, които учените на следващите хилядолетия може би ще нарекат исторически. Преди всичко беше показано, че стените на тези тунели трябва да бъдат изградени от някаква „екзотична материя“, за да се предпазят от разрушение. Предложената облицовка трябва да издържа на налягането от милиарди милиарди атмосфери и възможно е да има отрицателна маса, което засега не се допуска от физиката. Друго свойство на това екзотично вещество е, че то не взаимодейства с обикновената материя (по това наподобява неутриното).

Този модел дава възможност да се построи своеобразна машина на времето. Тя се състои в това, че ние трябва да ускорим единия отвор на тунела на дървояда до скорост, близка до тази на светлината. После можем да започнем своето пътешествие, но съществува ограничение, че връщането ни назад във времето е невъзможно само до момента, когато сме започнали да ускоряваме входа, през който сме влезли в тунела. С други думи, пред нас все още не се открива шансът да видим моменти от далечната история на Земята, но може би някоя друга могъща цивилизация отдавна се е научила да използва този начин за пътешествие и ще ни помогне в осъществяването на нашите мечти.

Да, мощна е земната наука. Тя ни дава възможност да обясним явления и процеси, протичащи както на Земята, така и в Космоса — на огромни разстояния от нас. Мощна е и фантазията на земните учени, но те продължават с неотслабващ интерес да изследват Вселената, защото знаят, че Богът Природа е по-могъщ и неговата фантазия е способна да създаде огромно количество най-различни и красиви космически обекти.

н.с. кфн Светозар Жеков

Издание:

Айзък Азимов. Гравитационната гибел на вселената

Преводач: Радка Динекова

Рецензент: Валери Голев

Рецензенти на превода: Надка Стоянова, Красимира Абаджиева

Редактор: Валери Голев

Художник на корицата: Владимир Минчев

Художник-редактор: Димитър Петков

Технически редактор: Йорданка Иванова

Коректор: Славка Кръстева

Код: 01\9532421331\2332-2-90

Американска. Издание I.

Формат 70X90/32 Печ. коли 18,00 Изд. коли 10,51 УИК 12,19

Държавно издателство „Народна просвета“ — София, 1990 г.

Държавна фирма „Полипринт“ — Враца

ЗАСЛУГИ

Имате удоволствието да четете тази книга благодарение на *Моята библиотека* и нейните всеотдайни помощници.

МОЯТА БИБЛИОТЕКА



<http://chitanka.info>

Вие също можете да помогнете за обогатяването на *Моята библиотека*. Посетете **работното ателие**, за да научите повече.