



李立昂 译

宇宙黑洞的秘密

知识出版社

八

The Collapsing Universe

—The story of Black Holes
by Isaac Asimov

Walker & Company, New York, 1977

宇宙黑洞的秘密

I. 阿西莫夫著

李立昂译

知识出版社出版

(上海古北路650号)

新华书店上海发行所发行 上海海峰印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 5.75 字数 124,000

1983年5月第1版 1983年5月第1次印刷

印数: 1-12,000

书号: 13214·1006 定价: 0.49元

宇宙黑洞的秘密

〔美〕 I. 阿西莫夫著

李立昂译

知识出版社

1983·5·上海

内 容 提 要

黑洞在天文学中还是一个较新的名词。它是物质的高密度集中，因此具有强大的引力，能攫住任何进入它作用范围的物质，包括光波。黑洞的存在不但受到天文学家的注意，而且也引起了广泛的议论。

美国著名科学幻想小说作家阿西莫夫用通俗的语言介绍了星空中这个奇特的现象。他从原子的内核一直到宇宙的极限，纵谈了黑洞的由来及其意义。读者在阅读本书时，将随着作者经历天文学中的一切奇境，如光子、超子、引力子、红巨星、白矮星、中子星、脉冲星、超新星、黑洞，甚至更加令人迷惑的白洞和虫眼，简直就象在幻想一样。

但这却是一本严肃的通俗天文学教科书。

目 录

| | |
|------------------|--------|
| 第一章 粒子和力 | (1) |
| 四种力 | (1) |
| 原子 | (6) |
| 密度 | (10) |
| 引力 | (13) |
| 第二章 行星 | (20) |
| 地球 | (20) |
| 其他行星 | (24) |
| 逃逸速度 | (28) |
| 行星的密度和生成 | (32) |
| 第三章 压缩物质 | (38) |
| 在行星的内部 | (38) |
| 对压力的抵抗 | (42) |
| 恒星 | (46) |
| 简并化物质 | (51) |
| 第四章 白矮星 | (57) |
| 红巨星和它的黑暗伙伴 | (57) |
| 超密度 | (61) |
| 爱因斯坦红移现象 | (66) |
| 白矮星的形成 | (69) |
| 第五章 爆炸物质 | (76) |
| 大爆炸 | (76) |
| 主星序 | (81) |

| | |
|------------------------|---------|
| 行星状星云 | (86) |
| 新星 | (91) |
| 超新星 | (98) |
| 第六章 中子星 | (105) |
| 白矮星以后 | (105) |
| 光以外的东西 | (108) |
| 脉冲星 | (112) |
| 中子星的性质 | (117) |
| 潮汐效应 | (123) |
| 第七章 黑洞 | (132) |
| 最后的胜利 | (132) |
| 黑洞的发现 | (137) |
| 小黑洞 | (145) |
| 黑洞的利用 | (150) |
| 第八章 结束与开端 | (153) |
| 到头了吗? | (153) |
| 虫眼和白洞 | (158) |
| 类星体 | (163) |
| 宇宙蛋 | (169) |
| 英汉人名对照 | (177) |

第 一 章

粒 子 和 力

自从 1960 年以来,宇宙以一种全新的面目出现在我们的眼前。随着我们对它突然增加了了解,它变得更令人兴奋,更神秘,更狂暴,也更极端化了。而那种最令人兴奋、最神秘、最狂暴和最极端化的现象,我们只给它起了个最简单、最平凡、最安静和最温和的名字,那就是“黑洞”。

洞没有什么了不起的,再说它又是黑的,我们连看都看不见它。难道我们该被这么个空洞无物的东西搞得这样兴奋吗?

是的,如果黑洞代表着物质可能具有的最极端的状态,代表着可能存在的宇宙的“始”和“终”,代表着新的物理定律和新的方法,足以超越以前认为的极限。

然而,为了弄清黑洞到底是怎么回事,我们得一步一步从头说起。

四 种 力

组成宇宙的各种粒子,相互之间以四种不同的方式彼此影响,而每一方式就是一种特殊形式的“相互作用”,或者用一个旧一点,不过更普通一点的术语来说,就是“力”。到现在为止,科学家还没能发现第五种力,也没找到证明第五种力应该存在的理由。

表 1 根据力量递减的顺序把这四种力列举如下：

| 力 | 相对力量 | 力 | 相对力量 |
|-------|--------|------|------------|
| 核 力 | 10^3 | 弱 力 | 10^{-11} |
| 电 磁 力 | 1 | 万有引力 | 10^{-39} |

在宇宙中，每一种粒子都是一种或一种以上力的来源。在力存在的空间范围内，每个粒子都是一个中心，离它越远，力的强度越低。力赖以表现其存在的空间范围叫做力场。

作为力场来源的任何粒子，都会对另外一个粒子建立的力场作出反应。这种反应一般来说是一种运动：粒子之间相互靠近（吸引），或者是相互分开（排斥），除非是受到实际上的限制，一般都是如此。

这样，任何能够产生引力场的物体，如果处于地球的引力范围之内，都会向地心运动，也就是说，全部下落。地球也向该物体的中心运动，但由于它比落下来的物体可能大得多，它的相对上升就慢得多，而事实上，通常慢得简直无法觉察。

在这四种力当中，核力和弱力只有在距离近得无法相信的情况下才使人感到它们的存在。这个距离仅仅为 10^{-13} 厘米，或者更小一些，大概只是原子正中心微小的原子核的直径而已。这两种力的作用范围只是在原子核内，以及紧靠着原子核的孤立粒子。因为这个原因，有时就把它们都叫做核力，而区分它们的办法是根据各自力量的大小，把它们分别叫做强核力和弱核力。

但是，本书中几乎没有机会去提到弱核力，所以我们只把较强的那种称为核力，而且只和它打交道。

不是随便哪个粒子都会产生这些力，并且会对它们作出反应。只有某些粒子才会产生核力和对核力反应，这样的粒

子就叫海德伦(强子),希腊语的原意是“强大”,这是因为核力在这四种力里最强。从宇宙结构上来说,最常见和最重要的海德伦是两种单子——质子和中子。

质子是英国物理学家卢瑟福(1871~1937)在1914年发现的。它的名字来自希腊语“第一个”的意思,因为它在被发现的时候,还是人们所知道的最小的带正电荷的物体。

中子是英国物理学家查特威克(1891~1974)在1932年发现的。它既不带正电,也不带负电。换句话说,从电的角度来看它属于中性,因而从此它也就叫做中子。

早在1911年,卢瑟福就证明,一个原子几乎全部质量都集中在原子核这个小小的中心区域里。质子一经发现,人们认识到它是相对来说质量较大的粒子,而且只能在原子核内找到它。质子的数目随着原子种类的变化而各不相同。氢原子的原子核里只有1个质子,氦原子有2个,锂原子有3个,等等,最多的是铀原子,它的质子多达92个。实验室里一直在进行寻找质量更大的原子的工作。

然而,它们在原子核里挤得那么紧,到底是什么东西把这些质子聚在一起的呢?

1935年以前,人们只知道有两种力——电磁力和万有引力。万有引力太弱了,不足以把质子聚在一起。电磁力倒是够强大的,可是它本身表现为既是吸引力又是排斥力。电荷相反(正电和负电)的两种粒子之间,存在着一个吸引力;而电荷相同(正电对正电,负电对负电)的两种粒子之间,存在的的是一个排斥力。质子带的都是正电,因而一定相互排斥;它们之间越靠近,排斥就越激烈。在原子核里,等质子挤到实际相遇的时候,电磁力的排斥就极为强大,然而质子还是聚在一起。

除了质子,中子也存在于原子核内,但它和上述情形似乎

没有什么关系。由于中子不带电，它们既不产生电磁力，对它也没有反应，因而它们应该既不吸引，也不排斥质子，既不帮助质子挤紧的作用，也不加速其飞散。

一直到 1935 年，才有一个叫汤川秀樹(1907~)的日本物理学家，成功地提出了关于核力的理论。他表明，当质子和中子十分靠近的时候，它们可能产生比电磁排斥力大 1,000 倍的吸引力。电磁力无法轰开核力聚紧在一起的东西。

当质子和中子以某种比例存在的时候，核力能够最有效地保持原子核的稳定。对于原子核里粒子在 40 个以下的原子来说，最佳比例是质子的数目与中子相等。对于较复杂的原子核来说，中子在比例上必须占优势。原子核越复杂，这个优势就应该越大。例如，一个铀原子核里有 83 个质子，它的中子则有 126 个。

当原子核里的这种比例超出稳定范围时，它就不能保持完整。在弱力作用下，小小的 β 粒子被释放出来，一直到比例调整得使原子核稳定为止。可能引起核子分裂的方式另外还有一些，但这些方式的总称是放射现象。

核力尽管强大，但也有它的局限性。核力的强度随着距离的增加迅速下降，在原子核以外就不能再感觉到它。事实上，在较大的原子核里，当核力必须从原子核一端延伸到另一端时，它的吸引作用就大为减弱。

电磁力也同样会减弱，只不过速度慢得多。原子核的大小是有限的，因为两端之间的电磁排斥终究会等于这中间减弱得很快的原子核吸引力。这说明为什么原子核会这样微乎其微。核力无法产生比这更大的力量（除非是处在本书后面将提到的那些最不寻常的条件下）。

现在，我们集中谈谈电磁力的相互作用。我已经说过，只

有那些带电荷的粒子才能产生这种作用，而且只有带电粒子才对它作出反应。这些电荷有两种形式：正电和负电。在正电和负电之间存在的力是吸引力，而正电与正电之间或负电与负电之间的力是排斥力。

带正电的质子是核力和电磁力的来源，它对这两种力都有反应。中子不带电，它只是核力的来源，并且也只对核力作出反应。

还有一些粒子叫做雷普顿(轻子)，希腊语里的意思是“微弱”，它们是弱力的来源，对弱力反应，但对核力从不反应。然而有些轻子是带电的，它们是电磁力的来源，不但对弱力反应，对电磁力也反应。

就一般物质来说，轻子当中最重要的是电子，它带有负电荷¹ (β 粒子证明是一种高速粒子，它是那些不稳定的原子核在弱力作用下产生的)。电子是英国物理学家汤姆逊(1856~1940)在1897年发现的，人们给了它这个名字，因为它是当时最小的带电体(就这方面来说，直到今天它还是最小的)。

表2 概述了我们已经掌握了的一些东西：

| | 质 子 | 中 子 | 电 子 |
|-----|-----|-----|-----|
| 核 力 | 有 | 有 | 无 |
| 电磁力 | 有 | 无 | 有 |

另外还有一些象电子那样的粒子，只不过它们带的是正电荷。这些是反电子，或者说是正电子。带负电的质子是反质子，而具有某些相反性质的中子是反中子。这些相反的粒子的总称是反粒子。就象普通粒子能构成和我们有关的一切东西一样，反粒子也能构成反物质。在宇宙某些地方或许存

在着这类反物质,但我们从来没能发现它。但在实验室里,科学家能够少量地搞出这种物质。

原 子

由于电子不受核力影响,它不能成为原子核的一部分。话虽这么说,在电磁力作用下,电子还是被质子吸引过去,并滞留在质子周围。这样,如果构成原子核的是单个的质子,电磁力就有可能把单个的电子吸在它的附近。如果原子核里有两个质子,它附近就可能吸有两个电子,余此类推。

原子核和它周围的电子一起构成了原子(原子这词在希腊语里的意思是“不可分的”,这是因为在刚和它打交道的时候,人们以为它不能分裂成更小的单位)。

说来凑巧,电子所带电荷和质子的完全相等,虽说性质相反。因此,原子核里有 x 个质子,它的外围就有 x 个电子,这种情况意味着这两种电荷将分毫不爽地互相中和。而原子作为一个整体,它从带电的角度来看是中性的。

电子和质子在电荷上虽说相等,它们并不具有相同的质量¹。质子的质量是电子的1,836.11倍。不妨设想,一个原子的原子核里有20个质子和20个中子,而原子核外围有20个电子。电荷是平衡的,但原子核的质量占整个原子的99.97%以上。

然而,原子核虽然几乎等于原子的全部质量,它的体积在原子内部只占极小的一部分(就本书的内容来说,这是很重要的一点,读者看下去就明白了)。原子核的直径大约是 10^{-13} 厘米,而原子的直径大约是 10^{-8} 厘米。

这就是说,原子的宽度是原子核的100,000倍。100,000个原子核挨个放在一起,才能从它所在的那个原子的一端排

到另一端。如果你把一个原子看作一个中空的球体，并用原子核来填满它，你就会发觉这样做得有 10^{15} （一千万亿）个原子核才行。

现在我们设想有两个原子，每一个所带的总电荷都是零。然后，我们假设，在电磁力方面它们互不干扰，互不觉察——可以这么说吧——对方的存在。

这是个理想化的说法。在各种原子中，电荷如能绝对平均地分布在原子核周围，而原子核带的正电和电子带的负电又能均匀地混杂在一起，电磁力在原子之间就不会起作用。

然而，事情并不是这样。电子带的负电荷存在于原子核的外层，而原子核带的正电荷则在原子核内部。两个原子的互相接近，实际上就是它们各自带负电荷的外层在互相接近。这两个带负电的外层互相排斥（就象电荷的排斥），意味着这两个原子只能靠近到这个地步，再近一点它们就要改变方向，或者就要弹开了。

例如，氮气的样品就是由永远在运动和相互撞击的独立的氮原子构成的。在常温下，氮原子运动得很快，并以相当大的力量相互撞击。但在温度较低的时候，原子运动越来越慢，撞击也越来越弱。氮气的原子挤到了一块，氮气收缩，体积变小了。

相反，温度升高的时候，原子运动得较快，撞击的力量也较大，氮气就膨胀起来。

原子运动到底能多快似乎并没有限度（在能够理解的范围内），但它们的最低速度却不难找到。如果温度降得够低的话，它们就会落到一个运动速度慢得产生不了能量的地步。这样的低温就是绝对零度，即 -273.18°C 。

氮原子中的电荷分布虽说非常接近绝对匀称，但它只不

过是非常接近而不是绝对匀称。电荷的散布并不完全均匀，因而原子表面部分所带的负电荷就比别处稍微少一些。结果，原子核内部的正电穿透了负电较少的外层区域，而两个相邻的原子之间就会很微弱地互相吸引。这种微弱的吸引力称为范德瓦尔斯力，因为它是荷兰物理学家范德瓦尔斯（1837～1923）首先发现的。当温度下降，氮原子运动越来越慢时，撞击力量终于弱得压不住微小的范德瓦尔斯力，原子紧挨在一起，氮气就变成了液态氮。

在高度匀称的氮原子中，范德瓦尔斯力是那么微弱，要形成液态氮的话，温度就必须降到绝对零度以上 4.3 度。在所有的其它气体中，原子内部的电荷分布都没有这么均匀，因此它们遇到的范德瓦尔斯力较大，液化的温度也比较高一些。

有时候，原子能以比较强烈的方式互相吸引。原子核外围的电子是安排在电子层里的，各层都填满时原子的结构最稳定。除了在氮和少数类似的元素中，原子最外面的电子层一般不是尚未填满，就是还多出几个电子。

两个原子之间有一种倾向，即它们一碰撞，带有多余电子的那个原子就会输送一两个电子到电子不够的那个原子中去，而这么一来，这两个原子最外面的电子层就都填满了。但是，得到电子的原子却带负电，而失去电子的原子则不再能完全平衡它原子核里的电荷，从而带正电。于是，这两个原子之间，产生了一个结合起来的倾向。

另一种情况是，两个原子碰撞之后共有部分电子，而这些电子把二者的外层都填满了。只要它们保持接触，这两个原子的电子层就都是填满的。

无论由于电子输送还是电子共有所形成的原子结合，拉开时都需费相当大的能量，所以在一般情况下，它们总是结合

在一起。这样的原子结合叫做分子。

有时候，两个原子接触就足以产生稳定性了。2个氢原子组成1个氢分子，2个氮原子组成1个氮分子，而2个氧原子组成1个氧分子。

有时候，填满电子层需要2个以上的原子相互接触。水分子是由1个氧原子和2个氢原子构成的；甲烷分子是由1个碳原子和4个氢原子构成的；而二氧化碳分子是由1个碳原子和2个氧原子构成的，如此等等，不一而足。

在某些情况下，几百万个原子能够组成一个分子。这是因为碳原子特别能和四种原子中的任何一种共有电子，因此它就能形成长长的链和繁复的环。这样的链和环形成了活组织分子的基础。人体和所有生物体内蛋白质和核酸分子就是这种大分子的例子。

原子组合过程中电子的转移产生了晶体结构。多得数不清的原子在晶体中排成了均匀的行列。

总的来说，分子越大，它周围电荷的分布越不均匀，许多分子附在一起的可能性就越大，而物质就成了液态或固态。

电子和质子之间，不同的原子之间，以及在不同的分子之间，存在着电磁力作用。我们所看到的一切固态物质都是因电磁力作用而紧紧聚合起来的。

更有甚者，电磁力这种把无数粒子聚合在一起的本领还是无限地向外延伸的。在核力作用方面，吸引力随着距离增大而迅速递减，它只能产生微小的原子核。电磁力因距离而减弱的速度很慢，它能把小如灰尘，大如高山的一切东西都合在一起，它还能产生和地球一样大，或者甚至更大的天体。

电磁力和我们的密切关系，不仅仅表现在它帮助构成了我们本身和我们居住的这个星球。一切化学变化都是原子之

间电子变化和转移的结果，包括象人这样的生命组织里的那种非常复杂和多样的变化和转移。食物消化，肌肉收缩，细胞更新，神经触发，思维发展，我们体内所有这些变化，无一不是受电磁力控制的变化产生的结果。

有些电子转移会释放相当大的能量。篝火，燃烧的煤或油，以及生命组织内产生的能量，这些都是电磁力控制下那些变化产生的结果。

密 度

在某一块既定的物质内，由于温度上升或别的什么原因，原子或分子离得越远，一定体积内该物质的质量就越少。但是，当原子或分子靠近的时候，就出现了相反的情况。

在一定的体积内，所谓质量的多少，就是指密度而言。因此，我们说，物体膨胀，它的密度就降低，而物体收缩，它的密度就增高。

举一个典型的密度为例。1立方厘米的水有1克的质量（这不是一个巧合。这两种量度单位早在18世纪90年代就被人选定在一起使用）。这就是说，我们可以说水的密度是每立方厘米1克，或简写为 1g/cm^3 。

密度的变化并不单单是由于膨胀或收缩。不同的物质，由于结构不同，它们的密度也不同。

气体的密度远远低于液体，这是因为气体是由相互引力极微的单独原子或分子构成的。液体分子实际上是相互接触的，气体分子则到处快速运动，互相撞击，彼此离得远远的。在气体中，占大部分体积的是原子或分子之间的空间。

举例来说，在地球常温和常压下制成的氢气标品，其密度大约为 0.00009 （或 9×10^{-5} ） g/cm^3 。液态水的密度为氢气的

11,000 倍多一点。

如果氢分子(或者甚至是独立的原子)在运动中分得更开,氢的密度就可以降得更低。例如在外层空间,物质是那么稀少,平均每立方厘米中只有一个氢原子。在这种情况下,外层空间的密度差不多是 $0.0000000000000000000000017 \text{ g/cm}^3$,实在是低得几乎等于零。水的密度大约是它的 6,000 万亿亿倍。

不同气体的密度也很可能不同。在条件类似的情况下,构成不同气体的原子或分子之间的距离一样,而这时候密度就取决于每个原子或分子的质量。在两种气体里,如果其中一种的分子质量是另一种的 3 倍,那它的密度也是后者的 3 倍。

例如六氟化铀,它的气体分子质量特别大,每个分子是由 1 个铀原子和 6 个氟原子组成的。整个分子的质量是分子里只有 2 个氢原子的氢分子的 176 倍。六氟化铀是液态的,略微加热就能转化成气体,其气体密度大约为 0.016 g/cm^3 。液态水的密度只是这种气体的 62.5 倍。

虽说如此,包括六氟化铀在内的一切气体,基本上只是一个空荡荡的空间。如果压缩一种气体,例如把它放进一个密封的容器里,再把这个容器的壁挤到一块,气体分子就被压得互相靠近,而密度也就增加了。

如果把温度降低的话,就能更有效地达到同样的结果。气体分子互相靠近,而当温度够低的时候,气体变成了液体,分子实际上也碰到了一起。

如果把氢气的温度降得很低,它不但会液化,而且在绝对零度以上 14 度的时候,它还会结冻。它的分子之间不但接触,还多少保持原地不动的状态,因而物质这时候就成了固体。

固态氮是密度最小的固体,只有 0.09 g/cm^3 ,仅相当于固