

全 国 科 普 类 销 售 排 行 榜 榜 首 图 书

Newton

世界科普名著

黑 洞

SHIJIEKEPUMINGZHU



内蒙古科学技术出版社

世界科普名著

黑 洞

【法】约翰—皮尔·卢米涅 著
卢炬甫 译

内蒙古科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

科普名著/凌捷等主编 - 内蒙古: 内蒙古科学技术出版社,
1999. 6

ISBN 7 - 5380 - 0726 - 1

I. 科… II. 凌… III. 自然科学 - 普及读物 - 简介
IV. Z12: G26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 0188 号

世界科普名著

凌 捷 等 主 编

内蒙古科学技术出版社出版发行

新华书店经销

北京飞达印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 10.3 字数: 260 千字

2004 年 2 月第 2 次印刷

印数: 1—1000 册

ISBN 7—5380—0726—1/N·3

全套定价: 298.00 元 本册定价: 29.80 元

目 录

第一篇 引力与光	(1)
第一章 首批硕果	(1)
最幸运的人	(1)
行星的爱好	(3)
不可见世界的两位先知	(4)
力 场	(7)
麦克斯韦的光	(8)
第二章 相对论	(11)
波动说的疑难	(11)
运动与静止	(12)
射手与火车	(13)
以 太	(14)
判决性实验	(14)
狭义相对论	(15)
理论的诞生	(17)
光使时空联姻	(18)
时间游戏	(20)
相对论炸弹	(21)
第三章 弯曲时空	(23)
等效原理	(23)
新惯性	(25)
宇宙高尔夫球场	(26)
弯曲几何	(27)

世界科普名著

几何与物质	(29)
柔软的光	(31)
爱因斯坦方程	(32)
检验广义相对论	(34)
理论的魅力	(38)
第二篇 火中凤凰	(41)
引 言	(41)
第四章 从黎明到黄昏	(43)
恒星的诞生	(43)
火的抗争	(45)
生命之路漫漫	(47)
红色的赞美诗	(48)
第五章 灰烬与钻石	(50)
行星状星云	(50)
画家的调色板	(52)
白矮星之园	(52)
简并物质	(54)
白矮星揭秘	(56)
热的与冷的	(57)
结晶成黑矮星	(58)
再度辉煌	(59)
第六章 超新星	(61)
核阶梯	(61)
巨型“洋葱头”	(62)
中子化	(62)
爆 发	(64)
观察超新星	(65)

历史上的超新星	(67)
一颗星的证认	(68)
文艺复兴时期的超新星	(69)
爆发的残迹	(70)
危险的加码	(71)
近处遇奇花	(72)
麦哲伦云里的超新星	(74)
第七章 脉冲星	(77)
空中灯塔	(78)
一类更极端的星	(79)
狂啸与低语	(80)
脉冲星的熄灭	(81)
超新星与脉冲星	(81)
空中旋转冠军	(83)
脉冲双星的大贡献	(84)
星 震	(84)
中子星内部	(86)
致密物质的奥秘	(87)
第八章 引力胜利了	(89)
第三篇 光的消逝	(92)
第九章 视 界	(92)
史瓦西解	(92)
魔 圈	(94)
不可见星的重现	(95)
超想象的黑暗	(97)
光被囚禁	(99)
视 界	(100)

世界科普名著

轻率的宇航员	(102)
时间的冻结	(103)
颠倒的世界	(105)
第十章 照 明	(107)
照明问题	(107)
黑洞的光轮	(109)
头和尾	(109)
给黑洞拍照	(111)
第十一章 落入旋涡	(113)
克尔黑洞	(113)
极端黑洞	(114)
宇宙大旋涡	(115)
奇异环	(117)
带电黑洞	(118)
黑洞无毛	(119)
第十二章 图形游戏	(122)
黑与白	(122)
“镶嵌”游戏	(123)
虫 洞	(125)
克鲁斯卡游戏	(127)
原初白洞	(129)
彭罗斯游戏	(132)
狭长的通道	(133)
时间机器	(134)
引力奇点	(137)
宇宙监督	(138)
量子引力	(139)

第十三章 黑洞机器	(143)
热力学	(143)
黑洞动力学	(145)
黑洞作为能源	(147)
黑洞发电机	(149)
黑洞激光	(149)
第十四章 量子黑洞	(152)
黑洞会缩小	(152)
隧 道	(154)
真空极化	(155)
黑洞与黑体	(157)
引力不稳定性	(159)
上帝要人	(160)
第四篇 光的复归	(162)
第十五章 原初黑洞	(162)
团 块	(162)
碰撞中的世界	(163)
短暂的生涯	(165)
最后时刻	(166)
引力幻景	(168)
暗物质	(170)
第十六章 X 射线星	(172)
共生的幽灵	(172)
多普勒移动	(174)
飞行的天文台	(176)
“自 由”	(177)
X 射线脉冲星	(178)

世界科普名著

X 射线暴	(180)
伽玛射线暴	(182)
寻找珍稀品种	(183)
测量质量	(184)
天鹅座 X-1	(186)
仍有争议	(187)
“三人帮”	(188)
从恒星到星系	(189)
第十七章 巨型黑洞	(193)
银河系画像	(193)
球状星团	(195)
人马座的银心黑洞	(198)
星系世界	(202)
五环难题	(204)
质量心理学	(204)
光 变	(207)
宇宙喷流	(207)
连续与变异	(209)
其他能源机制	(210)
怎么吃	(212)
彗星式恒星	(213)
恒星碰撞	(214)
黑潮汐	(214)
“薄煎饼”	(216)
黑洞引爆器	(217)
同类相食	(219)
第十八章 引力光	(221)

第十九章 黑洞宇宙	(228)
附录一 赫罗图	(233)
附录二 天体的质量 - 密度关系图与恒星演化的终结	(235)
冷天体	(235)
黑 洞	(236)
热天体	(236)
恒星演化	(237)

第一篇 引力与光

理论研究就像钓鱼：你不知道水中有什么，只有投竿、才可能有所收获。

——诺瓦尔（Novalis）

第一章 首批硕果

最幸运的人

一只小鸟的重量足以移动地球。

——列奥那多·达芬奇（Leonardo da Vinci）

古希腊哲学家在许多领域的天才思想至今仍未被超越，但他们对引力却所知甚少。亚里士多德（Aristotle）相信每个物体都有其宇宙中的“自然位置”。最底层是陆地及其所有的直接附着物，在这上面是水，然后是空气，最后是最轻的元素火。一个因受力而离开其自然位置的物体总是要返回它自己的层次，因此，被抛射到空气中的箭或石块总是会落回地面。亚里士多德还进一步断言，物

世界科普名著

体的运动都沿直线进行，由弓射出的箭将沿直线向上运动，当弓所提供的力停止作用时，箭就又沿直线落回地面。

在 20 个世纪里几乎没有人对古希腊哲学家的理论表示过怀疑，尽管日常生活提供了反面的证据：箭的运动轨迹并不是一条直线，而是一条曲线即抛物线。只有一个人，即 6 世纪时生活在亚历山大城的约翰·菲罗帕纳斯（John Philoponus），敢于提出惯性原理，向亚里士多德的思想挑战。

伽利略（Galileo）是对引力进行严格的科学考察的第一人。他做了一系列实验，包括让各种不同的物体从比萨斜塔上落下以及让不同大小的球沿斜面滚下。1638 年，他发现了引力的最基本的性质：在其作用下的所有物体都得到同样的加速，与物体的质量或化学成分无关。

伽利略的工作以其对物理现象的仔细观察和深刻的科学推理而著称。他的结果显然与亚里士多德对世界的认识相反。在研究一个物理现象时，我们必须分离出所有那些使我们的日常经验复杂化的外部因素。为了从对在空气中下落的物体的观察而推导出支配真空中物体自由下落的普遍规律，伽利略必须首先理解摩擦力和空气阻力，因为正是这些与物体的大小和质量有关的“寄生”效应掩盖了引力的真正作用（如果像某些历史学家所认为的那样，伽利略事实上并没有从比萨斜塔上抛出物体，那么他由一连串的抽象推理而得出自己理论的能力应当受到更高的赞誉）。

直觉的天才有分析的天才为后继。按照广泛流传的说法，1666 年的一个满月之夜，当一只苹果从树上落下时，伊萨克·牛顿（Isaac Newton）正坐在那棵树下沉思。他突然意识到，由于同一种吸引的力量即地球引力，月亮和苹果都会朝地球下落。他计算出，两个物体之间的引力随它们距离的平方反比例减小，距离加倍，则引力减小 4 倍。月亮与地心的距离（384000 公里）是苹果与地心距

离（6400 公里）的 60 倍，故月亮下落的加速比苹果小 $60 \times 60 = 3600$ 倍。然后他运用伽利略的自由落体定律，即下落距离正比于加速度，也正比于时间的平方，于是得出苹果在 1 秒钟内下落的距离与月亮在 1 分钟内下落的距离相等。月亮的真实运动是已知的，牛顿所估计的距离与之相符。他所发现的正是万有引力定律。

牛顿的工作（当然远不止是他的引力理论）是人类智慧最辉煌的业绩，对当时和后世的思想都有巨大的影响。一个世纪后，法国的“黑洞之父”皮尔·西蒙·拉普拉斯（Pierre Simon Laplace）认识到了牛顿的著作《自然哲学的数学原理》那种“胜过人类其他精神成果的卓越预示”。数学家约瑟夫·拉格朗日（Joseph Lagrange）则更进一步说道：“由于只有一个宇宙需要去解释，没有人再能重复牛顿所做的工作，他真是最幸运的人。”建立一个科学理论不一定会导致个人的快乐，但是的确没有任何其他科学工作具有牛顿理论那样根本的重要性，直至我们的时空观念被阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）所彻底改变。

行星的爱好

牛顿理论最令人瞩目的应用是在天体力学中。牛顿运用了他的万有引力定律（“万有”意味着一切物体都受引力支配）去解释开普勒（Kepler）描述“行星对太阳的爱好”的经验规律。有了这个惊人精确的理论工具，科学家们兴奋地揭示出一个新的太阳系。

新力学的第一个成功是爱德蒙·哈雷（Edmund Halley）预言了一颗彗星（后来即以他的名字命名）将于 1759 年回归，这颗彗星果然在 1758 年的圣诞节重现。

牛顿理论还表明，开普勒对行星运动的描述只是近似的。如果

世界科普名著

一颗行星只被太阳吸引，其轨道将是一个完美的椭圆，但实际上每颗行星都受到其他行星引力的扰动（尤其是被木星扰动，它比其他行星都大得多），由此导致的轨道偏差虽然很小，却可以计算也可以观测。埃班·勒维叶（Urbain Le Verrier）和约翰·亚当斯（John Adams）正是运用“扰动理论”于1846年预言了海王星的存在及其精确位置。这颗新行星果然在他们计算的位置上被发现，标志着牛顿引力理论的高峰。

不可见世界的两位先知

天空中存在着黑暗的天体，像恒星那样大，或许也像恒星那样多。一个具有与地球同样的密度而直径为太阳250倍的明亮星球，它发射的光将被它自身的引力拉住而不能被我们接收。正是由于这个道理，宇宙中最明亮的天体很可能却是看不见的。

——皮尔·西蒙·拉普拉斯（1796）

18世纪末，约翰·米切尔（John Michell）牧师和皮尔·西蒙·拉普拉斯把光速有限的认识与牛顿的逃逸速度概念结合起来，从而发现了引力的最富魅力的结果：黑洞。

逃逸速度的概念是人们很熟悉的。一个人无论用多大力向空中扔出石块，石块终将落回地面，这使人感到引力似乎不可抗拒。然而，我们还是要问，引力能够对物质束缚到什么程度？如果不是由地球上而是由火星的一颗小卫星上（比如说火卫一）抛出石块，情形就完全不同。火卫一的引力是如此之小，一个人的臂力就足以把石块抛到绕它运转的轨道上，甚至可以把石块抛到围绕火星的轨道上，而火卫一距离火星约有9000公里。

让我们仍回到地球上。地球的引力可以由一个很深而开口处很宽的势阱来表示。抛射物体只有速度足够高才能逃离地球。为了把一颗卫星送入轨道，火箭发射器必须到达一定的高度，然后转到与地面平行的方向，再加速到至少每秒 8 公里的速度，这个速度所对应的离心力（朝向外空）才能与引力（朝向地心）相平衡。

有一种叫做飞车走壁的危险表演，摩托车手驾车在陡峭的斜壁上奔驰。随着车速增大，车子也沿着斜壁升高。一颗轨道上的卫星很像这里的飞车，它也在引力势阱的壁上运转。

如果摩托车手进一步把车速增大到另一个临界值以上，他就会飞出斜壁。同样，如果火箭的速度足够大，它也能摆脱地球的吸引。这个临界速度对一块石头或一枚火箭来说都是一样的，它就叫逃逸速度。就地球而言，它是 11.2 公里/秒，对其他任何一个行星、恒星或别的天体，也很容易算出其大小。这个速度只取决于那个提供引力的星球的性质，而与被抛射的物体无关。星球的质量越大，逃逸速度也越大；质量一定时，逃逸速度则随星球半径的减小而增大。

这就是说，一个星球的密度越大也就是越致密，它的引力势阱就越深，要逃脱它的束缚显然就越困难。火卫一的逃逸速度只有 5 米/秒，月亮的是 2.4 公里/秒，而太阳的是 620 公里/秒。对于更致密的星球，例如白矮星（见第 5 章），这个速度高达每秒数千公里。

关于黑洞的思想正是来自于把简单的逃逸速度概念推向极端。自 1676 年奥拉斯·雷默（Olaus Roemer）对木星卫星的运动进行观测以来，已经知道光的速度大约是 300000 公里/秒。于是就很容易想象出这样一种星球的存在，其质量是如此之大，以至于从其表面逃逸的速度大于光速。

约翰·米切尔在一篇于 1783 年的英国皇家学会会议上宣读并随后发表在《哲学学报》（Philosophical Transactions）的论文中写道：

世界科普名著

“如果一个星球的密度与太阳相同而半径为太阳的 500 倍，那么一个从很高处朝该星球下落的物体到达星球表面时的速度将超过光速。所以，假定光也像其他物体一样被与惯性力成正比的力所吸引，所有从这个星球发射的光将被星球自身的引力拉回来。”此后不久，数学家、天文学家、天体力学王子皮尔·西蒙·拉普拉斯于 1796 年在他的《宇宙体系论》(Exposition du systeme du monde) 中也作了类似的陈述。

除了超前一个多世纪料想到光能被引力捕获外，拉普拉斯和米切尔还猜想到巨大的暗天体可能像恒星一样众多。在 20 世纪末，这科学巨变的时期，暗物质的存在正是宇宙学中最重要课题之一。宇宙总质量的相当大一部分很可能是看不见的。

对这些不可见星球（直到 1968 年才命名为“黑洞”）的详细研究需要一种比牛顿理论更精确的引力理论。爱因斯坦的广义相对论预言了黑洞的存在，其“大小”恰与米切尔和拉普拉斯猜想的一样。

但是，严格说来，这两个理论在不可见星球的大小上的一致只是表面上的。按照牛顿理论，即使逃逸速度远大于 300000 公里/秒，光仍然可以从星球表面射出到一定高度，然后再返回（正如我们总能把一只球从地面往上抛出）。而在广义相对论里来讲逃逸速度就是不正确的了，因为光根本不可能离开黑洞表面。黑洞的表面就像一只由光线织成的网，光线贴着表面环绕运行，但决不能逃出来。在第 11 章里还将看到，如果黑洞在自转，则捕获光的那个面与黑洞自身的表面是不相同的。借助于逃逸速度来描述黑洞，虽然有着重要的历史价值和启发作用，却是过于简单了。

直至广义相对论建立为止，米切尔和拉普拉斯的思想被人们完全遗忘了。这一方面是因为没有什么迹象表明宇宙中存在如此致密的物质（当然，不可见性本身是一个好理由）；另一方面，他们的

思想是建立在牛顿关于光本性的微粒说基础上的，即光微粒也像通常物质一样服从引力定律。而在整个 19 世纪，光的波动说占据了统治地位。按照这种理论，光是一种振动在媒质中的传播，光波是不受引力影响的，米切尔和拉普拉斯的思想因而失效。

力 场

行星的运动之所以能被计算出来，是因为我们知道物体之间的相互吸引力与它们的质量成正比，与距离的平方成反比。然而这里有许多更深刻的问题尚未回答，比如引力的本质，它如何由物质产生，又如何作用到被真空隔离的物体上。

牛顿的引力不像马拉车的力或农夫用铁锹翻地的力那样，通过直接接触来传递。一个物体产生的引力能作用到远处的另一物体。这种不需要媒质而瞬时作用的力的概念，是雷纳·笛卡儿（René Descartes）于 1644 年在其《哲学原理》（*Principes de la philosophie*）中所阐述的，并难以被机械宇宙观所接受。牛顿本人是一个忠实的机械论者，他把自己的定律看作只是一种能计算物体运动的数学工具，而不是一种物理真实。他曾说过，想象引力能瞬时地和超距地作用是荒谬的，是没有任何真正的哲学家能接受的。拉普拉斯曾试图通过考虑引力以有限速度传播来修改牛顿理论，他的推理在原则上是正确的（自爱因斯坦以后，我们知道引力是以光速传播），但在实际上是错误的：他算出引力的传播速度必定是光速的 700 万倍。

19 世纪，同样的超距作用问题重新出现在研究电的学者面前。与引力相似，两个物体间的电力也与它们电荷的乘积成正比（引力是与两物体质量的乘积成正比），与它们的距离的平方成反比。但