

# 宇宙魂 —— 霍金\*

张 欣

(石油大学应用物理系 东营 257061)

**摘 要** 文章较全面地评述了著名物理学家霍金的科学生涯、科学精神、宇宙观和人生观。  
**关键词** 霍金, 生命, 无边界宇宙, 虚时间, 黑洞蒸发, 科学哲学

## STEPHEN HAWKING —— THE SPIRIT OF THE UNIVERSE

ZHANG Xin

(Department of Applied Physics, University of Petroleum, Dongying 257061, China)

**Abstract** Stephen Hawking's scientific career, scientific spirit, view of life and opinion of the universe are reviewed comprehensively in this article.

**Key words** Stephen Hawking, life, the universe without boundary, imaginary time, evaporation of black hole, philosophy of science

2002年1月8日是物理学家霍金(Hawking S W)的60华诞。21岁时就被医生诊断最多还有两年半生命的他,居然顽强地生活工作到了新世纪的今天,这真是人类生命的奇迹。他因卢伽雷病被禁锢在轮椅上长达30年之久,现在全身瘫痪,完全丧失说话和动作的能力。然而他却始终乐观地奋斗在宇宙学的最前沿,不断发表创新思想的学术论文<sup>[1]</sup>和科学杰作。今年,他最新创作的科普著作《果壳中的宇宙》<sup>[2]</sup>在我国出版,继《时间简史》<sup>[3]</sup>之后再次引起轰动。对于人类中居然有以这般坚强意志追求宇宙终极真理的靈魂,人们不得不从内心产生深深的敬意。

## 1 生命是宝贵的

1963年1月,霍金被诊断患有肌肉萎缩性侧面硬化症(ALS),即运动神经元病,在美国称为卢伽雷病。当他得知自己最多还有两年半的时间时,极其沮丧。但在做了一次被处死刑的梦后,他忽然意识到:“如果我被缓刑的话,还有许多有价值的事情值得做。我又做了好几次的梦是,我要牺牲自己的生命来拯救其他人。确实,如果我反正要死去,做点善事总是值得的。”<sup>[4]</sup>不久,他在新年酒会上认识的简·瓦尔德(Jane Wilde)女士知道他病了,却毅然和他

订了婚,这使他真正鼓足勇气,振作精神,奋发攻读博士,投入科学研究。1965年7月霍金与简结婚。他们有两个儿子和一个女儿。1972年,他开始使用轮椅至今。

1985年夏天,他因患严重的肺炎做了穿气管手术,保住了生命但从此失去声音。此后他依靠为他专门设计的一台语音合成器来“说话”,一分钟最多可以造一个简单句子。虽然很缓慢,霍金却十分幽默而乐观地用这一系统进行语言交流。

霍金说:“我实际上在运动神经元病中度过了整个成年。但是它并没有能够阻碍我有个非常温暖的家庭和成功的事业,我是幸运的。当一个人面临早逝的可能时,就会意识到,生命是宝贵的,活下去是值得的。一个人永远不要绝望,要抓紧时间做事。”<sup>[5]</sup>

## 2 遨游宇宙时空

### 2.1 想探索宇宙的底蕴

1959年,17岁的霍金考入牛津大学学习物理学。他的入学考试很出色,尤其是物理学。他说:“由

\* 2002-03-22收到初稿,2002-06-07修回

于物理学制约了整个宇宙的行为,我想探索宇宙的底蕴,所以我对物理最感兴趣。”1962年秋天,他到剑桥大学读研究生,研究广义相对论和宇宙学,1965年获博士学位。

## 2.2 奇性定理

1970年,霍金和彭罗斯合作,证明了宇宙奇性定理<sup>[6]</sup>。在极一般的条件下,按照广义相对论,宇宙大爆炸必然从一个奇点开始。由此,他们共同获得1988年的沃尔夫物理奖。然而,奇点的密度无穷大,一切科学定律都失效了,所以奇点是不可能真实存在的,是非物理的。这就构成宇宙学的最大疑难:奇性疑难。由此也表明广义相对论是不完备的。霍金说:“广义相对论导致了自身的失效:它预言它不能预言宇宙。”<sup>[7]</sup>在宇宙极早期,整个宇宙非常微小,处于量子状态,必须考虑量子效应。从此,霍金转向量子理论研究。

## 2.3 量子宇宙学和无边界宇宙思想

1983年,霍金和哈特尔发表论文《宇宙的波函数》<sup>[8]</sup>,开创了量子宇宙学的研究。他们认为,宇宙的量子状态由波函数来描述,这波函数是惠勒-德威特方程的解,它给出宇宙按照特征量分布的概率幅。他们创造性地建立了量子宇宙“微超空间模型”,引入“虚时间”概念,正式提出“无边界宇宙”的设想,即“宇宙的边界条件就是没有边界”。霍金和他的学生吴忠超博士证明了在无边界假设条件下,宇宙必须从零动量态向三维几何态演化,于是经典奇性被量子效应所抹平<sup>[9]</sup>。这样他们提出了解决奇性疑难的一个可能方案。无边界宇宙思想可以解释我们生活于其中的宇宙。这是一个各向同性的均匀的具有微小涨落的膨胀宇宙,它是具有一维时间和三维空间的洛伦兹时空,霍金认为它是在其诞生时刻由一个四维的欧几里德空间进行解析延拓而来。1985年,霍金根据无边界假设,导出了宇宙在普朗克极早期的暴胀行为和由量子涨落导致的宇宙结构的谱<sup>[10]</sup>。很可能正是这种量子宇宙基态涨落的演化,发展成今天宇宙中的星系。我们可以在微波背景辐射的涨落中观察到那些微扰的谱。这些结果迄今与无边界假设相一致。

## 2.4 开放暴胀模型

无边界宇宙理论原来只能处理封闭宇宙的问题。但是,我们的宇宙究竟是封闭的还是开放的,这取决于现今宇宙的物质密度 $\rho$ 与临界密度 $\rho_c$ 的比值,我们称这比值为宇宙学密度 $\Omega = \rho/\rho_c$ 。当 $\Omega > 1$ ,引力场足够强时,宇宙膨胀到某时将会收缩,它的

曲率是正的,这就是封闭宇宙;当 $\Omega < 1$ ,曲率为负,就是开放宇宙,它将永远膨胀下去;当 $\Omega = 1$ ,曲率为零,是平直的临界情况,它也将膨胀下去。按照暴胀模型原来的理论,我们的宇宙恰好是 $\Omega = 1$ 的临界情况。这很不自然,我们的宇宙到底是什么情况?这有赖于对宇宙的实际观测,现在还说不清。因此,开放宇宙的可能性是存在的。1998年,霍金和图鲁克(Turok)发表了新论文《无假真空的开放暴胀》<sup>[11]</sup>,将霍金原来的封闭宇宙的量子论推广到开放的情况。他们利用无边界假设,在一个最简单的暴胀模型中,经过路径积分的计算,导致现今的宇宙学密度 $\Omega \approx 0.01$ 。这样他们修改了原暴胀模型关于 $\Omega = 1$ 的临界预言,论证了开放暴胀宇宙的可能性。

## 2.5 多宇宙体系

霍金在剑桥就职卢卡逊数学教授的讲演中说:“即便我们找到了一种统一理论,我们似乎也只能做统计的预言。我们还必须抛弃只存在我们所观测的惟一宇宙的观点。相反地,我们必须采纳这样的一幅图像:存在所有可能的宇宙的系综,这些宇宙具有某种概率分布。这也许可以解释为什么宇宙在大爆炸时以一种几乎完美的热平衡的状态开始。这是因为热平衡对应于最大数目的微观状态,因此具有最大的概率。我们生活在所有可以允许的最有可能的世界中。”各个宇宙之间联系的通道就是“虫洞”。霍金于1988年第一个找到了连接两个宇宙的虫洞解<sup>[12]</sup>。我们所观测到的宇宙只是爱因斯坦场方程的众多宇宙解中的一个特定的解。

# 3 探索黑洞奥秘

## 3.1 霍金辐射

众所周知,霍金在黑洞研究中的最著名的贡献应是黑洞辐射。现在人们称之为“霍金辐射”。1971年,前苏联的泽尔多维奇(Zeldovich)发表论文宣布<sup>[13]</sup>:“旋转的黑洞一定会辐射,这辐射将反作用到黑洞上,使旋转变慢,然后停下来。旋转停止,辐射也将停止。”霍金对此非常感兴趣,立即投入这一研究。他先于1973年11月底在牛津的一个会议上、后于1974年在《自然》杂志上宣布了一个惊人的预言<sup>[14]</sup>:“旋转的黑洞必然会辐射并减慢旋转。然而,当黑洞停止旋转时,辐射仍然不会停止!”而更令人信服这辐射的真实性的论据是,霍金的计算预言黑洞刚好以不违背热力学第二定律的准确速率发射粒子,其辐射谱恰好是黑体辐射谱,其温度与黑洞的表面引力成正比,而对于静态球对称黑洞正好与其质

量成反比。黑洞辐射的根本原因是真空的量子涨落。这涨落不断产生和湮灭正反粒子对,若其中之一落入黑洞,而另一粒子失去了与它湮灭的伙伴,则有可能通过量子效应逃离黑洞而辐射出来。随着黑洞辐射,它的质量和尺度减小,温度升高,表面引力增强,黑洞收缩而变热。这样,粒子更容易辐射出来,于是辐射就以不断增加的速率继续下去,直至黑洞体积变得极小、温度极高、并发生极猛烈的爆炸时为止。从长远看,如果不考虑黑洞吸积,宇宙中的每个黑洞都将以这种方式蒸发掉。

1975年,霍金计算了黑洞的寿命<sup>[15]</sup>:一个两倍太阳质量的黑洞,它的温度太低了,只有 $3 \times 10^{-8} \text{K}$ ,比宇宙微波背景辐射的温度(约 $2.7 \text{K}$ )低得多,于是它的辐射比吸收还要少。但是若宇宙继续永远膨胀下去,宇宙背景温度最后就要减小到比这黑洞的温度还低,这黑洞就开始损失质量。但即使到那时,它的温度这么低,蒸发将非常非常慢,计算表明,其寿命是 $1.2 \times 10^{67}$ 年。这与宇宙年龄(约 $1 \times 10^{10}$ 年)相比真是太大了。然而,霍金在1971年就指出<sup>[16]</sup>,宇宙大爆炸时可能产生尺度像质子那么小的约10亿吨的太初黑洞,它们的寿命大约和宇宙年龄相同。于是质量比这小的太初黑洞现在应该蒸发完毕,但那些比这稍大些的黑洞应该仍在辐射 $X$ 射线和 $\gamma$ 射线。实际观测 $\gamma$ 射线暴的结果还不能证实是由太初黑洞发射的。于是霍金又指出<sup>[17]</sup>,在平均每立方光年的空间里,强烈蒸发的太初黑洞不会多于300个。

### 3.2 事件视界与面积定理

1970年,霍金创造了“事件视界”概念<sup>[18]</sup>,它有一个优美而科学的定义:“时空中能否向遥远宇宙发送信号的事件之间的分界”。在这基础上,霍金严格论证了“面积定理”：“黑洞事件视界的面积不会减小”。

### 3.3 黑洞无毛定理

1973年,霍金和卡特尔(Carter)等人严格证明了“黑洞无毛定理”<sup>[19]</sup>：“无论什么样的黑洞,其最终性质仅由质量、角动量、电荷惟一确定”。即当黑洞形成之后,外部观测者只能感知这三个物理量,其他一切信息(“毛发”)都丧失了。“黑洞”一词的命名者惠勒(Wheeler)戏称这特性为“黑洞无毛”。

### 3.4 黑洞熵和动力学定律

1972年,以色列的贝肯斯坦(Bekenstein)在霍金面积定理的启示下,提出<sup>[20,21]</sup>：“黑洞表面积相当于它的熵”。霍金和吉本斯(Gibbons)于1977年证明了这一猜想<sup>[22]</sup>。并在这前一年利用它研究了黑洞动力

学定律与热力学定律的相似性<sup>[23]</sup>,指出黑洞熵由其表面积给出,黑洞温度由其表面引力决定。

1974年,因霍金对宇宙学和黑洞物理学的杰出贡献被选入皇家学会。1979年11月16日,霍金被选为剑桥大学卢卡逊数学教授。牛顿和狄拉克(Dirac)曾是这个教席的前任。

## 4 创作科普著作

1982年,霍金开始构思撰写科学普及读物《时间简史》(从大爆炸到黑洞)。它为人们描述了时空、宇宙和黑洞研究的最前沿成果。1985年完成第一稿,1988年4月正式出版<sup>[24,3]</sup>。现已译成40多种文字发行全世界,超过1000万册,创下了最畅销书榜首吉尼斯世界纪录。1991年《时间简史》同名电影上映。1992年《时间简史》的阅读指南<sup>[25,5]</sup>出版,它为原书读者或电影观众提供了更多的背景资料。

1993年,霍金讲演录《黑洞、婴儿宇宙及其他》<sup>[26,4]</sup>出版,它是霍金从1976年到1992年所写文章的汇集,包括简略自传、科学哲学以及宇宙和黑洞的研究成果,展示了霍金的科学世界观和人生观。

1996年,霍金和彭罗斯在剑桥大学的牛顿数学科学研究所的系列演讲《时空本性》<sup>[27,7]</sup>出版,讲述了他们对于时空结构、广义相对论、量子宇宙学和黑洞量子理论独特的学术观点。

2002年,我国出版了霍金于2001年创作的最新科普著作《果壳中的宇宙》<sup>[2]</sup>,翻译者是他的学生、我国天体物理学家吴忠超博士。在这部新书中,霍金利用通俗而幽默的语言解释制约我们宇宙的原理,引导我们走向探索宇宙秘密的征途。从超对称到超引力,从超弦理论到超膜理论,从全息论到对偶论,引导读者遨游宇宙时空,窥探粒子世界,直达宇宙深处,直达科学最高峰。他讲述黑洞蒸发并且和它携带的秘密同归于尽,我们宇宙创生的种子只不过是一个微小的硬果。他还让我们见证他最激动人心的智慧探险,即“把爱因斯坦的广义相对论和费恩曼的多重历史思想结合成能描述发生在宇宙中的一切的完备的统一理论。”

## 5 思考宇宙哲学

### 5.1 虚时间和无边界宇宙

霍金在研究宇宙学和黑洞时,引入了“虚时间”(即用虚数表示的时间 $t \rightarrow it$ )概念,因为物质和能量会使时空向其自身弯曲,在实时间方向就不可避免地导致奇性,时空在奇性处到达尽头。而虚时间

方向与实时间方向成直角,空间的三个方向也都和实时间方向成直角,这表明虚时间的行为和在空中运动的三个方向相类似.宇宙中物质引起的时空曲率就使三个空间方向和这个虚时间方向绕到后面再相遇到一起,形成一个闭合的表面,就像地球的表面,只不过多了两维.地球的表面具有有限的面积,但是它没有任何奇性或边界.宇宙的量子态由对所有紧致的欧氏度规的历史在“虚时间”中求和的路径积分所定义.这历史是没有任何奇性或者任何开端或终结的,它由具有有限尺度却没有边界的弯曲空间组成.如果你用虚时间来测量时间方向,你就会得到空间和时间之间的完全对称性,这在数学上是非常美妙和自然的观念.无边界假设就是利用这个数学的单纯化,导致所有可能的宇宙的初始条件中的最简单的理论.在其中发生的一切可完全由物理学定律所确定,在宇宙中的任何测量都可以按照宇宙的波函数来表述.这样无边界宇宙和虚时间概念的引入,使宇宙学成为真正的科学,因为人们可以预言任何观察的结果.

## 5.2 时序保护猜想

1992年,霍金提出一个能维护时间次序的“时序保护猜想”<sup>[28]</sup>:物理学定律严禁时间机器.所谓“时间机器”就是违背因果律而能将时间倒转回到过去的旅行机制.许多科幻小说都描写了这一神奇现象.霍金对时间机器提出了严厉的批评.他幽默地说:“广义相对论的方程允许这样的解,允许人们进入一个黑洞并从其他地方的一个白洞里出来.白洞是黑洞的时间反演.这似乎为星际的快速旅行提供了可能性.麻烦在于这种旅行的速度太快了,以致于如果通过黑洞的旅行成为可能,则似乎无法阻拦你在出发之前已经返回.那时你可以做一些事,比如杀死你的母亲,因为她一开始就反对你进入黑洞.看来物理学定律严禁这种时间旅行,这也许对于我们(以及我们的母亲们)的存活是个幸事.似乎有一种时序保护机构,不允许向过去旅行,这使得这世界对于历史学家是安全的.最近我进行的一些计算支持这个时序保护假设.其实,我们不能进行时间旅行的最好证据是,我们从来没有遭受到从未来来的游客的侵犯.”霍金认为大自然憎恶时间机器.他明确地说:“我认为永远不可能作时间旅行.”

## 5.3 时间箭头

霍金认为至少存在三种“时间箭头”将过去与将来区分开来:第一,热力学时间箭头:无序度或熵增加的时间方向;第二,心理学时间箭头:我们心理

感觉时间流逝的方向;在这个方向上,我们只能记住过去而不是未来;第三,宇宙学时间箭头:即宇宙在膨胀而不是收缩的方向.霍金论证了在宇宙膨胀时,三种时间箭头是一致的,并且只有在膨胀相中才有适合智慧生命的条件.然而,当宇宙将来可能坍缩时,情况如何呢?霍金曾经错误地认为,宇宙坍缩时,无序度会减小.霍金幽默地说:“处在收缩相的人们将以倒退的方式生活.他们在出生之前已经死去,并且随着宇宙收缩变得更年轻.”后来霍金认识到自己犯了一个大错误.实际上,无边界条件意味着宇宙在坍缩时无序度继续增加.即当宇宙时间箭头反向时,热力学和心理学时间箭头并不会跟着反向.物理学不会违背因果律.

## 5.4 实证论与实在论

1992年,霍金在剑桥凯尔斯学院作了科学哲学的讲演.他以相对论和量子力学以及宇宙大爆炸奇点和虚时间为例指出:“在科学的哲学方面很难成为实在主义者,因为我们认为的实在是以我们所采用的理论为前提.我能肯定,洛伦兹和费兹杰惹在按照牛顿的绝对时空观来解释光速实验时都认为是实在主义者,因为这种时空观似乎和常识以及实验相对应.……如果某物与我们用以解释它的理论或模型无关,何以知道它是实在的,而如果认为实在依我们的理论而定,又怎么可以用实在作为我们哲学的基础呢?”这里霍金明确指出了所谓“实在”的相对性、任意性和不确定性.因此科学哲学不能以此为基础.科学哲学的根基必须是也只能是逻辑自洽的理性的实证论.霍金指出:“对于一名理论物理学家而言,把理论视作一种模型的实证主义方法,是理解宇宙的仅有手段.”

## 5.5 黑洞信息丧失和新的不确定性

霍金利用“虚时间”和量子场论,研究了黑洞具有的内秉引力熵及其信息丧失问题.霍金指出存在一种新的不确定性:“信息丧失意味着,原来处于量子纯态的系统演化的终态就变成混合量子态,即不同纯态的一个系综.每一个纯态具有各自的概率.但是因为任何一种状态都不确定,不能利用和任何量子态干涉的办法把这终态的概率减小到零.这表明引力在物理中,引进了一种新水平的不确定性,这种不确定性超越于通常和量子理论相关的不确定性之上.在某种意义上,我们已经在微波背景辐射的涨落中观测到这种额外的不确定性.这表示科学决定论的终结,我们不能确定地预言未来.看来上帝在他的袖子里仍有一些令人无法捉摸的诡计.这样当爱因

斯坦讲‘上帝不掷骰子’时,他错了.对黑洞的思索向人们提示,上帝不仅掷骰子,而且有时还把骰子掷到人们看不到的地方去,使人们迷惑不已。”

### 5.6 宇宙终极理论

霍金相信宇宙是可以认识的,是可以完全理解的.他希望存在宇宙终极理论,并乐观地追求这理论.他说:“我不同意这样的观点,说宇宙是神秘的,是某种人们可有直觉但却永远不能完全分析和理解的东西.我们过去尤其是一百年内所取得的进步足以使人相信,我们能够完全理解宇宙.我们不会永远在黑暗中摸索.也许这种希望只不过是海市蜃楼,也许根本就没有终极理论,而且即便有我们也找不到.但是努力寻求完整的理解总比对人类精神的绝望要好得多.”

霍金在追求宇宙终极理论的同时,又冷静地认识到,我们不可能穷尽对宇宙的完全认识.其实,人类的认识只能是相对真理,人类在无穷的相对真理的长河中不断探索,不断进步,但是不会走到尽头,也不可能预言宇宙的一切.霍金说:“即使我们发现了一套完整的统一理论,这并不表明我们能够一般地预言事件.因为第一是我们无法避免不确定原理给我们的预言能力设立的极限.第二是除了非常简单的情况,我们无法准确解出这理论的方程.在牛顿引力论中,我们甚至连三体运动问题都不能准确解出.我们在从数学方程来预言人类行为上只取得了很少的成功.即使存在一个可能的统一理论,那只不过是一组规则或方程.是什么赋予这些方程以生命去制造一个为它们所描述的宇宙?建立一个数学模型的方法无法回答,为什么必须存在一个为此模型所描述的宇宙?”这里霍金提出了宇宙学的最大问题,即宇宙的存在性问题.他强调:“一个完全的、协调的统一理论只是第一步,我们的目标是完全理解宇宙和我们自身的存在.”

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Hawking S W , Hertog T , Reall H S. Phys. Rev. D , 2000( 62 ) :043501 ;Hawking SW , Hertog T. Phys. Rev. D , 2001( 63 ) :083504
- [ 2 ] 霍金著. 吴忠超译. 果壳中的宇宙. 长沙:湖南科学技术出版社 2002 [ Hawking S W. Wu Z C trans. The Universe in A Nutshell. Changsha : Hunan Science and Technology Press , 2002 ( in Chinese ) ]
- [ 3 ] 霍金著. 许明贤, 吴忠超译. 时间简史. 长沙:湖南科学技术出版社, 1992 [ Hawking S W. Xū M X , Wu Z C trans. A Brief History of Time. Changsha : Hunan Science and Technology Press , 1992( in Chinese ) ]

- [ 4 ] 霍金著. 杜欣欣, 吴忠超译. 霍金讲演录( 黑洞、婴儿宇宙及其他). 长沙:湖南科学技术出版社, 1996. 16 [ Hawking S W. Du X X , Wu Z C trans. Black Holes and Baby Universes and Other Essays. Changsha : Hunan Science and Technology Press , 1996. 16( in Chinese ) ]
- [ 5 ] 霍金编. 胡小明, 吴忠超译. 时间简史续编. 长沙:湖南科学技术出版社, 1996. 48 [ Hawking S W ed. Hu X M , Wu Z C trans. A Brief History of Time ( A Reader's Companion ). Changsha : Hunan Science and Technology Press , 1996. 48( in Chinese ) ]
- [ 6 ] Hawking S W , Penrose E. Proceedings of the Royal of Lodon , 1970 , A314 529
- [ 7 ] 霍金, 彭罗斯著. 杜欣欣, 吴忠超译. 时空本性. 长沙:湖南科学技术出版社, 1996. 70 [ Hawking S W , Penrose R. Du X X , Wu Z C trans. The Nature of Space and Time. Changsha : Hunan Science and Technology Press , 1996. 70( in Chinese ) ]
- [ 8 ] Hartle J B , Hawking S W. Phys. Rev. D , 1983 , 28 :2960
- [ 9 ] 吴忠超. 中国科学 A 辑 , 1996 26( 12 ) :1105 [ Wu Z C. Zhongguo Kexue( Science in China ) A , 1996 , 26( 12 ) : 1105( in Chinese ) ]
- [ 10 ] Hawking S W. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society , 1971 , 152 : 75
- [ 11 ] Hawking S W , Turok N . Phys. Lett. B , 1998 , 425 :25
- [ 12 ] Hawking S W. Phys. Rev. D , 1988 , 37 :904
- [ 13 ] Zeldovich Y B , Starobinsky A A. Zhurnal Eksperimentalnoi Teoreticheskoi Fiziki , 1971 61 2161
- [ 14 ] Hawking S W. Nature , 1974 , 248 :30
- [ 15 ] Hawking S W. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society , 1971 , 152 : 75
- [ 16 ] Hawking S W. Phys. Rev. Lett. , 1971 , 26 :1344
- [ 17 ] Hawking S W. Communications in Mathematical Physics , 1972 , 25 : 152
- [ 18 ] Hawking S W. The Event Horizon in Black Holes. DeWitt C , DeWitt B S ed. New York :Gordon and Breach , 1973. 1
- [ 19 ] Hawking S W , Israel W ed. General Relativity( An Einstein centenary survey ). Cambridge : Cambridge University Press , 1979. 359—369
- [ 20 ] Bekenstein J. Lettere al Nuovo Cimento , 1972 , 4 :737
- [ 21 ] Bekenstein J. Phys. Rev. D , 1973 , 7 :2333
- [ 22 ] Gibbons G W , Hawking S W. Phys. Rev. D , 1977 , 15 : 2752
- [ 23 ] Hawking S W. Phys. Rev. D , 1976 , 13 :191
- [ 24 ] Hawking S W. A Brief History of Time. New York : Bantam Books , 1988
- [ 25 ] Hawking S W ed. A Brief History of Time ( A Reader's Companion ). New York :Bantam Books , 1992
- [ 26 ] Hawking S W. Black Holes and Baby Universes and Other Essays. Cambridge : Cambridge University Press , 1993
- [ 27 ] Hawking S W , Penrose R. The Nature of Space and Time. New Jersey : Princeton University Press , 1996
- [ 28 ] Hawking S W. Phys. Rev. D , 1992 , 46 :603

# 弗兰克和赫兹对原子能级存在的实验研究\*

刘战存 张国英

(首都师范大学物理系 北京 100037)

**摘要** 概述了弗兰克和赫兹的生平.正是他们用电子轰击原子,发现其中存在着非弹性碰撞,且原子仅接受一定量的能量,从而证明原子能级存在,并由此而获得1925年诺贝尔物理学奖.他们密切协作,不断改进实验,正确处理理论与实验间的关系,研究工作不断创新,这些研究工作经验给人们以有益的启示.

**关键词** 弗兰克-赫兹实验,电子碰撞,玻尔理论,能级

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE EXISTENCE OF ATOMIC LEVELS BY FRANCK AND HERTZ

LIU Zhan-Cun ZHANG Guo-Ying

(The Department of Physics, The Capital Normal University, Beijing 100037, China)

**Abstract** The careers of James Franck and Gustav Hertz are outlined. The process by which they discovered the inelastic collision between electrons and atoms and the existence of discrete energy levels in atoms, as well as how they improved their experiments are recounted. Their successful treatment of the relation between theory and experiment and their unceasing innovation have left a profound mark in history.

**Key words** Franck-Hertz experiment, electron-impact, Bohr's theory, energy level

弗兰克和赫兹用电子轰击原子的实验,证明了原子内部的能量是量子化的,由此获得了1925年诺贝尔物理学奖.这一实验通常称为弗兰克-赫兹实验.这里将简介这两位物理学家的生平、他们对这一实验的研究情况,以及我们从中得到的启示.

### 1 弗兰克生平

弗兰克(James Franck)1882年8月26日生于德国的汉堡(Hamburg).父亲Jacob Franck是位银行家,送儿子到海德堡(Heidelberg)学习法律和经济,希望他将来到自己的银行工作.J.弗兰克自己偏爱理科,1901—1902年间,他认识了玻恩(Max Born),两人从此建立了终生的友谊,对他的生活和研究工作产生了深远的影响.在玻恩和其他朋友的帮助下,弗兰克说服了父母同意他改学理科<sup>[1]</sup>.一年后,他转到了柏林大学学习物理.1906年获博士学位后,弗兰克成为这里的研究人员.到法兰克福大学任助教不久,又返回柏林担任鲁本斯(Heinrich Rubens)

的助教.1914年战争期间在军队服役两年,腿受了重伤.1918年弗兰克成为副教授,从1917至1921年期间任Kaiser Wilhelm学院物理化学部主任.1921年,他成为哥廷根大学实验物理学教授和第二实验物理研究所所长,玻恩为理论物理教授.当时哥廷根大学已成为量子物理学的研究中心,弗兰克和玻恩密切合作.1925年,弗兰克提出了解释分子电子光谱带振动结构强度分布的基本原理,主要内容是分子中的电子跃迁远比分子振动迅速,电子跃迁后的一瞬间,分子内原子核的相对距离和速度几乎与跃迁前完全一样,1928年,康登(E. U. Condon)运用波动力学,使之进一步完善,成为著名的弗兰克-康登原理(Franck-Condon principle)<sup>[2]</sup>.

纳粹在德国执政后实行种族歧视.1933年4月17日,弗兰克毅然辞去在大学中的职位以示抗议,后带着全家去哥本哈根.1935年到美国霍普金斯大

\* 2001-11-12收到