

编者按：

人们常把“黑洞”、“白洞”、“空洞”称之为宇宙三怪。美国“哈勃”太空望远镜发回的 NGC7457 照片，使众多的天文学家为之鼓舞。因为围绕黑洞是否存在，人们已经苦苦追寻它将近 200 年了。由中国科技大学研究生院丁亦兵教授编译的《黑洞趣闻》系列文章，妙趣横生地叙述了人们是怎样探索黑洞这一当代科学“六大悬案”之一的奥秘的，希望有更多的学者、科普作家写出这类好文章。

### 谁最早预言了黑洞？

黑洞是引力造成的。因此从逻辑上讲，黑洞发现史的开端应该追溯到伊萨克·牛顿。牛顿发现了万有引力定律，它告诉我们，任何物体之间都有引力相互作用，不管这些物体结构如何，它们是大的还是小的、是带电的还是不带电的。牛顿当时还提出了一种假设，认为光也和一般的物体一样，要受到重的物体的吸引。正是在这个假设基础上引发出了关于黑洞的预言。

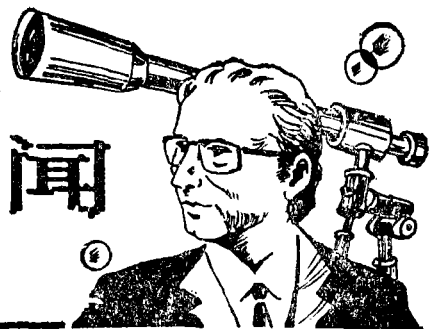
那么究竟是谁第一个预言了这种“看不见的星”的存在呢？对此，长期鲜为人知。1973 年英国理论物理学家 S. 霍金 (S. Hawking) 和 G. 艾力司 (G. Ellis) 写了一本名为“时空大尺度结构”的书，书中的一篇引文指出这个人法国著名的数学家和天文学家皮埃尔·拉普拉斯。

拉普拉斯是自然科学史上的一位杰出的人物，他在万有引力定律的基础上用数学分析为工具，详细地研究了太阳系中各星体的运动规律，完成了五卷集“论天体运行。”这

# 黑洞趣闻

丁亦兵 / 编译

# 趣闻



(一)

部著作从写作到出版用了 27 年时间 (1798—1825 年)。在他于 1795 年发表的专著“论世界体系”中，写下了这样一段话：

“如果一个发光的星的密度与地球相同，但直径为太阳的 250 倍，那么，由于引力的作用，它的光线不可能达到我们这里。于是，宇宙中最大的发光星体很可能是不能用肉眼看到的”。

拉普拉斯是如何推出这个结论的呢？原来他是利用牛顿的引力理论，计算了我们今天所说的逃逸速度，也就是为了使物体摆脱引力束缚，飞离星体所需要达到的速度。众所周知，地球的逃逸速度是每秒 11 公里，星体质量越大、半径越小，其表面逃逸速度就越大。月球表面逃逸速度为每秒 2.4 公里，木星为每秒 61 公里，太阳为每秒 620 公里。而所谓的中子星，这个速度已经达到了光速的一半，这就是说每秒十五万公里。这种星质量接近于太阳，而半径大约只有十公里。象这样推论下去，必然可以找到一个星球，其表面逃逸速度超过光速。那时，这个星球发出的光就不会离开它而进入太空。因此，尽管它发光，我们却看不见它。这正是拉普拉斯给出的结论的依据。

有趣的是一位英国的天文学家马丁·里斯 (Martin Rees) 对拉普拉斯为第一个预言黑洞的人的说法提出了质疑。1984 年秋天，在法国土鲁斯城召开的一次会议上，里斯显示了英国一位神父兼地质学家 J. 麦克尔于 1784 年发表的文章

的首页，证明麦克尔 (Michell) 在 1783 年就已经预言了这种“看不见的星”的存在。由此引发了一场关于“是英国人还是法国人第一个预言黑洞”的争论。

实际上，不管是拉普拉斯还是麦克尔，他们的预言并不能认为是对黑洞的真正预言。首先是因为当时还没有认识到自然界中没有任何东西的速度可以超过光速。只有到本世纪初，这一点才由爱因斯坦发现。因此，拉普拉斯或麦克尔只是预言了一个黑的星体，它的光发射不出来。而没有意识到，它还是一个洞，掉进去的任何东西都不可能跑出来。爱因斯坦的相对论告诉我们，如果光不能从某个区域逃逸出来，则任何辐射都不会从它发射出来。我们正是把这样的一个区域称之为黑洞。

另一个影响拉普拉斯推论的严格性的因素是，他们所考虑的是一个强引力场，用的是牛顿的引力理论。爱因斯坦证明了在这种情况下牛顿的引力理论不再适用。要论证黑洞的存在并研究它的性质，必须用“广义相对论”。

### 引力半径

在爱因斯坦的引力理论与牛顿的引力理论之间有什么区别呢？首先我们来看一个最简单的情况。假定我们在一个没有自转的球形的行星表面，用一个弹簧秤来测量这个行星对某个物体的吸引力。按照牛顿定律，这个力正比于行星的质量与物体质量的乘积，反比于行星的

半径的平方。而爱因斯坦引力理论预言的值要稍大些。然后，我们设想把这个行星压缩，同时保持它的质量不变。随着半径的不断减小，引力会渐渐增大。按照牛顿定律，当半径减小到一半时，引力增大到四倍；而爱因斯坦理论预言力的增加更快些。不过一开始这两种理论给出的结果相差很小，在地球表面附近相差大约只有十亿分之一。继续压缩时，半径越小，两者相差越大。按照牛顿理论，当这个星体被压缩成一个点、或说半径趋于零时，引力达到无穷大。而按照爱因斯坦理论，当半径趋向某个所谓的引力半径时，引力就要变成无穷大。引力半径的大小依赖于星体的质量。质量越小，引力半径越小。例如，地球的平均半径为 6400 公里，它的引力半径只有 1 厘米；太阳的平均半径为 700000 公里，它的引力半径为 3 公里。当星体半径趋向于引力半径时，引力场极强，两种理论的预言会有极大的差别。

在我们继续讨论这种压缩的后果之前，让我们再来简单介绍一些爱因斯坦广义相对论的普遍结论。广义相对论的一个基本特点是把空间、时间和引力看作是不可分割的整体，它们有着复杂的联系。例如，按照这种理论，在强引力场中比弱引力场中时间过得慢。这似乎很难理解。因为按照我们的直觉，时间是对所有过程都相同的一种进程，很象一条不受任何东西的影响而持续流动的河。过程本身往往可以通过对外部条件的控制而加快一些或减慢一些，但所有的过程都是在这条绝对时间的大河中进行的，河的流逝不受任何过程的影响。牛顿所持有的正是这样一种观点。

爱因斯坦的理论证明绝对时间是一种虚构。时间流逝依赖于运动，而且还依赖于引力场。在引力场中所有的过程，不管其性质如何，对于一个外部的观察者而言都变慢了。这意味着时间变慢了。通常情况下，时间的这种延缓是非常小的

只有在极强的引力场中这种延缓才变得相当大。而当物体的半径等于引力半径时，时间的延缓将变成无穷大。

爱因斯坦理论的另一个重要推论是强引力场会改变空间的几何性质。普通的欧几里得几何学不再适用。例如，一个三角形其内角和不再等于两个直角，圆的周长不再等于半径的  $2\pi$  倍。通常的几何图形的性质变成似乎是画在一个曲面上。由于这个缘故，引力场中的空间称之为弯曲空间。显然，只有当引力场极强，或者星体的大小趋于它的引力半径时，空间的弯曲才变得非常显著。这样的空间要用非欧几里得几何学才能描写。

无疑，对我们来讲，把空间想象为弯曲的是极为困难的。按照牛顿的观点，空间是一个无限大的舞台，各种事件在舞台上演出，舞台本身不会受到事件的任何影响。这种绝对空间的观念是与我们的直觉完全一致的。

实际上，广义相对论认为时间与空间是不可分的整体，通常称为四维时空，引力场造成的是四维时空的弯曲。对此，人们更不容易接受。数学上，这个引力场下的四维时空满足一个爱因斯坦引力场方程。这是由十个二阶偏微分方程组成的方程组，每个方程可以包含上百项，而且都是非线性方程。这个引力场方程的求解是极为困难的。

现在回到我们前面讨论的最简单的情况，即在一个没有自转的球形星体周围的引力场。这个场称之为施瓦西 (Schwarzschild) 场。施瓦西是一位德国天文学家，也是现代理论天体物理学创始人之一。在爱因斯坦于 1915 年发表广义相对论之后，他立即在当年年底求得在上述简单情况下的精确解，并把它寄给了爱因斯坦。爱因斯坦见到这个解异常欣喜，因为当时他只求得了弱场近似解，而施瓦西解是完全精确的、适用于球对称质量周围任意强度的引力场。实际上，无论

是施瓦西自己还是爱因斯坦在当时都不知道，这个解还包含了很多有重要意义的结果，其中之一就是后来发现的对黑洞的描写。正是用这个解，人们讨论了逃逸速度问题，结果发现在爱因斯坦的理论中，牛顿定律导出的公式仍然适用。爱因斯坦的广义相对论重新肯定了拉普拉斯的推论，即当星球的大小等于引力半径时，逃逸速度恰等于光速。

## 引力坍缩

按照爱因斯坦理论，一旦星球的半径减小到等于引力半径时，光不可能离开该星球的表面而达到远距离的观察者，于是这个星球就变成看不见了。但除此之外，正如前面指出的，这时该星球表面的引力一定变成无穷大，自由落体加速度也一定是无穷大，这种情况会造成什么后果呢？为了回答这个问题，先让我们来回顾一下一个普通的星球为什么不会被引力压缩成一个点，而是形成一个平衡的星体。

向心的压缩力是被物质内部产生的压力所平衡的。在恒星内部，通常是炽热的气体力图使恒星膨胀。在地球内部，存在着张力、弹性力等抵抗压缩力。星体能够维持平衡正是由于引力与抵抗压缩的力严格相等的结果。

抵抗压缩的内力是依赖于物质状态的，也就是依赖于压强与温度。在星球收缩过程中，压强与温度都会上升，但是只要不缩成一个点，星球密度总是一个有限的值，于是这些内部抗力总是有限的。引力则不同。随着星体大小接近引力半径，引力变成无穷大，内力不会再与之相抵，于是该星体将不可抗拒地向着中心收缩。

如果星球大小收缩到小于引力半径，情况又会如何呢？这时，由于无穷大的引力，产生无穷大的加速度，星球的表面将象一个自由落体那样，以无穷大的加速度下落。这样的落体根本不会再感受到引力的作用。因此，收缩绝不会停止在引

辐射加工是 40 至 60 年代,在辐射化学形成独立的分支学科基础上,逐步发展起来的一门新的技术和产业。它是将射线(主要是钴  $60\gamma$  射线和电子束)的能量提供给被辐照物,使之引起化学或物理变化的过程,从而造成被辐照物的物理性质和化学性质的变化。它的应用面极宽,可加工数量极大。据估计,全世界这方面年总产值已达到 100 多亿美元,约占国民生产总值的千分之一。

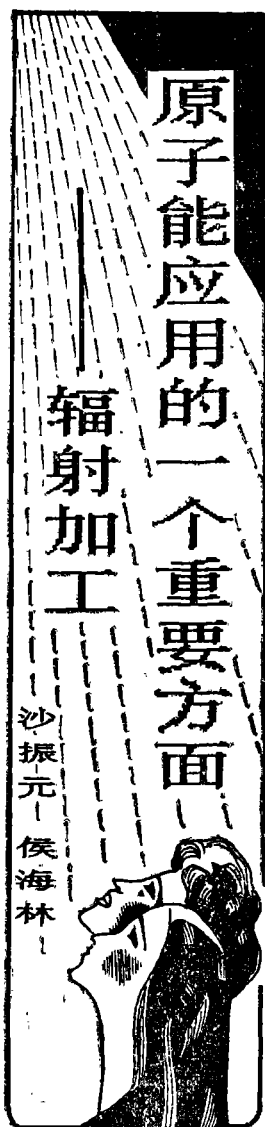
目前,辐射加工的应用,已遍及化工、电器、机械、交通、食品、包装、生物、医学等各个方面。由于辐射加工而成的产品,功能独特,质量优异,因而颇有竞争能力。现已工业生产的产品如下:

辐射交联电线电缆。电线电缆经辐射加工后,可以提高它的耐热性、耐腐蚀性、耐老化开裂性,提高它的机械强度和改善它的电气性能。例如:聚乙烯电缆未经辐照处理时,使用温度一般为  $65^{\circ}\text{C}$ ,经处理后可以提高到  $105^{\circ}\text{C}$ ;经过专门配方制成的辐射交联电线电缆,使用温度可达  $150^{\circ}\text{C}$ 。电力电缆遇到短路事故时,其短期耐热性能是十分重要的;非辐射交联的聚乙烯电缆短路时,最高可允许温度为  $140^{\circ}\text{C}$ ,经辐射交联后,它可提升到  $250^{\circ}\text{C}$ 。因而此类电线电缆可用于飞机、航天器、海上石油钻井平台、石油深井钻井、地下铁道、舰船、坦克、汽车、铁路机车、冶金化工高温腐蚀场所、高层建筑、医用设备、电机配线及家用电器配线等各个方面。此项技术十几年前已在我国兴起,但发展较慢。目前国内一些单位已经起步,如中国科学院辐射技术公司组织了上海原子核所、高能物理所、兰州近代物理所共同制造的高频高压型加速器辐照装置,是迄今能量最高、功率最大的国产化电线电缆辐照生产线,92年3月已通过鉴定验收。

辐射交联的热收缩管、带、膜,是一种有“记忆”特性的塑料,虽然其尺寸比实际材料有较大扩张,但一经加热,即可恢复到原始产品的尺寸和形状。这类材料具有良好的绝缘性、包覆性、气密性。如果用作电线、电缆的耐热绝缘层、导线接头、电容和电池等电子元件,以及工具和金属等管的绝缘、防水、防潮、防尘保护鞘等,就可防止漏电、腐蚀、燃烧等重大事故的发生。力半径大小的球体处,而是要深入到这个球的内部。这个现象称之为相对论坍缩。这个过程的产物就是黑洞。

最早经严格计算来描述相对论引力坍缩的人是美国著名的物理学家 R.奥本海默。他与 H.斯尼得于 1939 年完成了这一经典工作。他们严格的预言了黑洞产生的可能性。至于黑洞 (black hole) 一词是在 60 年代由美国物理学家 J.惠勒 (Wheeler) 发明的。(一)

(编译自 Igor Novikov 著 Black holes and the Universe)



生。在这方面目前的发展很快,仅四川地区年产值已超过 2 千万元。

电子束涂层固化是辐射加工的另一个重要方面。它包括纸张、塑料薄膜的印刷染料、金属板、印刷电路板、磁带磁盘、木材、建筑材料等的表面处理。最近各种抗腐蚀、抗腐蚀材料、光纤及弹性体的涂层固化等都有很大的进展。例如苏联所报道的石膏板的涂层固化,能使石膏板的强度增加 2—3 倍,还具有抗冻性、阻水性,并能改善抗腐蚀性。

辐射交联发泡聚乙烯材料具有介电常数低,少通气性和吸水性等特点。可作电线绝缘体、充作隔热材料或缓冲材料、救生材料等。

辐射能制备特种高分子材料和特种功能膜。如辐射交联的工程塑料,耐温  $300^{\circ}\text{C}$  可作为磁线圈的绕线架、开关等。用  $\gamma$  射线对氟塑料进行裂解,可使粉末达到几微米以下的粒度,用它做成的高级润滑剂,具有节电、节油、节省人力的功效。在功能膜方面,如聚乙烯-丙烯酸制成的薄膜,用于开放式烧结式镍镉电池中,电池的使用寿命可达 10 年。

辐射加工在橡胶工业中主要用于天然橡胶乳液的辐射硫化和轮胎的射线辐照加工。天然橡胶乳液辐射硫化的优点是其产品中含硫量只是常规硫化工艺产品中的十分之一。轮胎的射线辐照现已成为美国轮胎工业的重要加工程序,它可使轮胎内层增大耐热性,还能使它具备质地柔软等优点。

医疗用品如输液器、输血器、纱布、手术缝线、外科刀具等可进行辐射消毒。它与传统的蒸气消毒相比,具有不需升温、省能源、处理效率高、无污染等优点。与环氧乙烷化学消毒方法相比,它无毒性残留,处理后无任何废物排放。

除了上述产品外,还有一批正在待开发的项目,前景可观,值得人们重视。它们是:

辐照可对食品起杀虫、灭菌、保鲜的作用。据统计,世界上已有 36 个国家批准使用辐射加工食品,被