

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中外科学家发明家丛书

爱丁顿



一、爱丁顿的生平

人类文明史的开始，距今大约有 6000 年。虽然这 6000 年同人类活动已有的几百万年历史相比，只是很短的一段时间；而与地球的 46 亿年的高龄比较起来，更是微乎其微的一刹那。但是，人类正是在这 6000 年之中，经过自己的不断努力，与恶劣的自然条件抗争，最终获得了飞跃式的巨大发展，这与人类最初茹毛饮血的生活是根本不可同日而语的。

在这 6000 年的历史过程中，人类涌现出过无数杰出的代表，正是他们汇集了人类的智慧与结晶，并将源源不断的驱动力注入到人类不断前进的文明列车中。他们之中，有政治家、思想家、科学家、文学家、军事家……他们如同一颗颗明亮的星星，缀于文明的苍穹之上。英国杰出的科学家阿斯德·斯坦利·爱丁顿，就是其中一颗耀眼的明星。

爱丁顿于 1882 年 12 月 28 日出生在英国威斯特摩兰郡的肯特尔。他的父亲亨利·爱丁顿是肯特尔城内一所名叫斯特拉蒙加特的学校的校长兼董事长。在 100 年前，化学原子论的创始人——道尔顿曾在这所学校担任过校长。所以，整个肯特尔小城里的学术风气极为令人陶醉，家风良好的小斯坦利从小就在这良好的风气中成长。后来，爱丁顿在自己的回忆录中叙述到：“作为我与双亲生活的所在，肯特尔的传统习惯已编织成为我最早的记忆。令我无法忘记的是，肯特尔已经把科学工作看作是一项极为重要的公众服务事业，这并不是指它有着任何物质上的意义，而是科学已经为整个社会做出了某种巨大的贡献。肯特尔与科学有着较早的联系，这就是那位伟大的化学家——也许是所有化学家中最伟大的一个，他曾经是斯特拉蒙加特学校的校长。一个世纪之后该校校长便是我的父亲，而我正是从这里出生的。在我不大的时候，从约翰·道尔顿那儿我知道了原子的理论；在今天，我本人也已成为一名原子论的坚决支持者。约翰·道尔顿一定在他身后留下了某些科学的种子，它们在斯特拉蒙加特的校园里蓬勃地生长，经久不息。我喜欢这种科学的连续性，尤为令我感到自豪的是：在科学的某一点上我已有能力沿着肯特尔的这位伟大科学家所开创的道路前进。”

但在 3 岁时，小斯坦利的父亲不幸死于疾病，母亲带着斯坦利和他的姐姐，7 岁的威尼弗雷特搬到了离肯特尔城不远的滨流韦斯顿城。6 岁时，他在自己家附近的一所小学校里上了学；从这时开始，他就对巨大的数字产生了浓厚的兴趣：他记住了 24×24 乘法表；他还试图计算整部《圣经》上全部的语汇数目。爱丁顿的这一爱好一直贯穿了他的整个科学研究并延续到了他的晚年。

1893 年，11 岁的爱丁顿开始到布里米林学校读中学。这一时期，他别具一格，惊人的记忆力开始展现出来，对于老师课上所讲的内容，他在课下大都能复述出来；许多对别人来说绝对头疼的专用术语语汇，他也能不费力地记住。

1898 年，16 岁的爱丁顿以优异的考试成绩考入了曼彻斯特城的欧文书学院，这个学院在化学、物理学等学术研究上有着很高的声誉。在欧文书学院求学的四年中，爱丁顿勤学好问，他自身的优越条件也更加促使他成为一位优秀的大学生。在这里，他的老师们都很喜欢这个天赋高、有潜力而又不自满的学生；尤其是拉姆先生，经常给这个永求上进的学生开小灶，辅导他的课程并在生活上关心照顾爱丁顿。所以，爱丁顿一生始终对拉姆先生保持着

深深的敬佩，他成名后回忆到拉姆先生时说道：“当我知道有什么事情要我像勇士那样来处理时，我就会希望自己能够成为如同拉姆先生那样的一个勇敢、正直的人。”

由于在欧文斯学院的刻苦学习并获得出类拔萃的成绩，1903年，爱丁顿进入了英国著名的剑桥大学的三一学院深造，这曾经是伟大的科学家牛顿学习、工作过的地方。来到三一学院后，爱丁顿继续发扬了他的优点——孜孜不倦地学习研究，所以陆续获得了多方面的奖学金及各种荣誉。1904年，他成为他的同学中为数不多的高级数学学位的获得者；1907年，他被授予史密斯奖学金。也正是从这时开始，爱丁顿将自己的研究方向确定在了天文学与天体物理学方面。不久，他的研究初见成效，随即被选为三一学院评议员；同年，应英国皇家天文台台长克里斯蒂邀请，爱丁顿加入了格林尼治天文台工作人员的行列，当了台长助理。这样，他就有更加便利的条件进行天文学研究。1912年，他被剑桥大学选为普卢米安讲座的教授。1914年，剑桥大学的天文台台长拜尔去世，爱丁顿接任了此职。

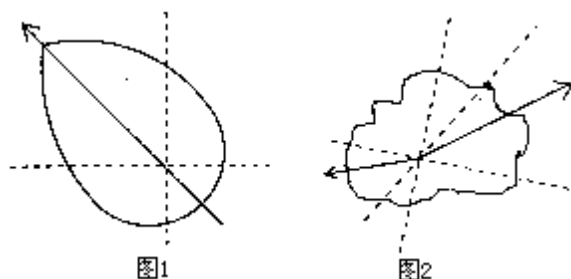
在以后的30年里，爱丁顿一直担任这一职务，为天文学、天体物理学的发展作出了巨大贡献。1944年11月17日，爱丁顿在剑桥逝世，享年62岁。他的去世，给整个科学界带来了不可弥补的巨大损失。爱丁顿的同龄人、著名的科学家罗素在大西洋彼岸写信时说：“爱丁顿先生的逝世，使天体物理学失去了它最卓越的代表人物。这一巨大的损失，在相当长的一段时间里是无法挽回的，因为科学界只有一个伟大的爱丁顿。”

二、天文学和天体物理学的巨擎

从 1906 年开始，爱丁顿把自己毕生的精力投入到了天文学之中。就在这一年，荷兰格罗宁根大学的天文学教授卡普坦有了一项革命性的发现。卡普坦是研究恒星运动的伟大先驱者，他的发现如下：

在卡普坦之前，天文学界一直认为在本地静止标准中恒星运动是完全没有规则的，不存在任何偏优的运动方向。所谓本地标准就是说，在这个标准中，太阳附近恒星的平均速度为零。恒星自行与视向速度反映了恒星的运动，而要研究这种运动，其中的一个基本问题就是要确定“太阳运动”，即确定太阳在附近恒星平均运动速度为零这一标准中的“本动速度”。

当时的天文学界认为，如果假定恒星的运动速度是随机的，看不出有任何的偏优方向，那么投影在天区上恒星自行的分布必定将表现一个拉长的椭圆（如图 1）。但经过仔细研究测量后，卡普坦发现并非如天文界以往认识的那种情况，而是一种双叶曲线（如图 2）。



爱丁顿对卡普坦的发现进行了这样的评述：

“我手中有厚厚的一叠《格罗宁根大学校刊》谈到了恒星的运动，但其中最令人感兴趣的则是第 6 期。在这一期上记载了卡普坦关于两个星流的伟大发现，这种理论的应用，首次揭示了恒星系统中的某种结构，从而为研究这些分布得相当分散的单颗恒星间的关系开辟了一个崭新的纪元。”

爱丁顿随即深入研究了卡普坦的发现，他提出了一种假设：太阳附近的恒星从运动形式上可以看作是属于作相对运动的两个星群或两个星流，而且每个星群的内部都各自作着随机运动。爱丁顿以此来解释了上述有关恒星自行分布的观测特征。这一假说就被称为卡普坦—爱丁顿的二星流假说。这样，爱丁顿就提出了恒星运动分布的参照公式：

$$dN = N_1 \frac{j_1^3}{\pi^{\frac{3}{2}}} e^{-j_1^2 |V - V_1|^2} dV + N_2 \frac{j_2^3}{\pi^{\frac{3}{2}}} e^{-j_2^2 |V - V_2|^2} dV$$

在这一公式中， N_1 与 N_2 分别为两个星流中恒星平均速度的个数； V_1 与 V_2 是这两个星流在本地静止标准中的速度； j_1 与 j_2 则表示两个星流中恒星平均速度的倒数。

在格林尼治天文台工作的 5 年间，爱丁顿应用参照公式写了一批高质量的恒星运动学论文。在论文中，他发展了用来确定两个星流的参数 N_1 、 N_2 、 V_1 、 V_2 以及 j_1 、 j_2 的分析方法；他还利用了他所能得到的恒星运行数据来确定这些参数。爱丁顿的这些论文将理论与观测实践出色地结合了起来，反映了他在分析天文观测数据时的出色洞察能力。卡普坦—爱丁顿的二星流假说经过后人的发展，至今仍在天文学界广泛应用。

1914 年，爱丁顿出版了自己的第一部著作《恒星运动与宇宙结构》，这

是他从事天文学研究近 10 年的系统总结。这部书的大部分是对当时有关恒星运动知识的系统论述。但该书的最后一章“论恒星系统的动力学”则完全是爱丁顿自己的创见，这一章中，在说明了双星相遇不可能有效地改变单个恒星的运动方向之后，爱丁顿得出的结论认为：决定恒星在六维相空间中分布的函数 $f(x, y, z, u, v, w, t)$ ，必定是由恒星在整个系统扁平状引力势作用下运行时的动力学轨道来决定的，也就是由六维方程（现在被称为无碰撞的玻耳兹曼方程）的解所决定。

在 1915—1916 年发表的论文中，爱丁顿试图得到一个适用于球对称恒星系统的自洽解，经过深入研究他取得了成功。在这个带有普遍性的问题上，爱丁顿第一次指出了怎样用维里定理来建立星团中恒星的平均动能与它的平均势能之间的关系。爱丁顿的这一理论，至今仍然适用。

由于以上种种的出色研究，我们可以认为爱丁顿是恒星动力学这门学科的奠基人，而到今天，这门学科已经是一门有自己特点的分支学科了。

在对恒星动力学进行深入地研究并取得了重大的成就后，爱丁顿又把自己的主要研究方向转入有关恒星结构与演化的学说。他对恒星结构的兴趣，最初是在 1916 年由于努力探索造父变星的变化结构而激发出来的，经过 10 年的不懈努力，他在 1926 年出版了《恒星内部结构》一书。

在恒星内部结构这一领域中，爱丁顿认识并确立了我們目前可理解的以下几个基本原理：

1、辐射压对维持恒星的平衡必定起着重要的作用，而且恒星的质量越大，这一作用也就越明显。

2、在恒星内部取得辐射平衡的那些地方，温度梯度是由能源的分布与物质对辐射场不透明度的分布这两个方面共同确定的，这一点与对流平衡的情况不同。

3、影响不透明度“K”的主要物理过程是由软 X 射线区中的光电吸收系数所决定的：即决定于高度电离原子最内部的 K 层以及 L 层的电离情况。

4、当电子散射是恒星不透明度的主要原因时，对于能够维持给定质量为 M 的恒星来说，光度有一个上限，最大光度是由下列不等式所决定的：

$$L < \frac{4\pi CGM}{\sigma_e}$$

在不等式中， σ_e 为汤姆逊散射系数；这一最大光度现在通称为“爱丁顿极限”。爱丁顿极限在目前有关 X 射线源以及黑洞周围吸积盘光度的研究中起着重要的作用。

5、在一级近似中，普通恒星（即主序星）的质量—光度—有效温度的关系对整个恒星中的能源分布并不十分敏感。因此，即使在对恒星能源缺乏详细了解的情况下，仍然可以建立某种关系来同观测进行比较。

6、氢燃烧成氦是恒星能量来源的最主要途径。

爱丁顿在 70 年前研究得到的这些理论问题，在今天的科学研究中仍有着巨大的指导意义。

在进行理论研究的时候，爱丁顿有着他独特的思考途径。下面就从他的理论展开加以阐述与分析。

爱丁顿得出结论：随着恒星质量的增大，辐射压作为恒星平衡的一个因素其重要性也不断增加。他是以一位科学家所特有的想象与推论得到了这条结论。在《恒星内部结构》一书中，爱丁顿写道：

“ 在一颗被云层包围的行星上从来就很少有人听说过关于恒星的事，有人就一系列大小不同的气体球计算了它们的辐射压与气体压力之比。球的质量比方说从 10 克开始，以后依次为 100 克、1000 克、10000 克……于是第 n 个球就包含有 10^n 克的物质。”下面的表给出了他的结果中比较有趣的部分：

球序号	辐射压	气体压力
30	0.00000016	0.99999984
31	0.000016	0.999984
32	0.0016	0.9984
33	0.106	0.894
34	0.570	0.430
35	0.850	0.150
36	0.951	0.049
37	0.984	0.016
38	0.9951	0.0049
39	0.9984	0.0016
40	0.99951	0.00049

“ 表中小数点后的部分总是主要包含了一长串的 ‘ 9 ’ 与 ‘ 0 ’ ，只有在 33—35 号球这一特定质量范围内表的内容才变得令人感兴趣，但紧接着又是大串的 ‘ 9 ’ 与 ‘ 0 ’ 。如果认为物质与气体压力及辐射压之间存在互相较量，那么这种争斗将完全是一边倒的，只有编号为 33—35 的球是例外的，我们可以预料到那儿会有什么事情发生了。

所 ‘ 发生 ’ 的事情与恒星有关。

我们的物理学家与天文学家一直是在浓浓的云层下面工作，现在假设将这层云的帷幕拉开，以使他们得以直视天空。他将会在那里发现有 10 亿个气体球，而且质量几乎都处于第 33—35 号球之间，这也就是说它们的质量介于 $1/2$ 的太阳质量与 50 倍的太阳质量之间。已知最轻的恒星质量约 3×10^{32} 克，而最重的约 2×10^{35} 克，但大多数则在 10^{33} — 10^{34} 克之间，辐射压向气体压力抗争的严峻挑战正是在这个范围内展开。”

在这段叙述中，爱丁顿所说的 “ 有人 ” 即是他自己。他的结论具有奠基的重要意义，但在推论过程中爱丁顿有个重要的问题没有提到。这个问题是，尽管在这些计算中明显地包含了与质量及星等大小有关的某种自然常数组合（包括所有的零），但爱丁顿忽略了它，没有将其分离出来。实际上，在自然研究的范围内，决定球体质量的自然常数组合为：

$$\left[\left(\frac{k}{H} \right)^4 \frac{3}{a} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{1}{G^{3/2}} \dots\dots$$

在式子中，H 表示质子质量，G 是引力常数，k 与 a 分别为玻耳兹曼常数与斯忒藩常数。斯忒藩常数的值为：

$$a = \frac{8\pi^5}{15} \frac{k}{h^3 C^3} \dots\dots$$

式中，h 为普朗克常数。将它代入 式后，我们就会发现所涉及到的有关质量大小的自然常数组合是：

$$\left(\frac{hC}{G}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{H^2} \approx 5.2 \times 10^{34} \text{ 克}$$

现代恒星结构与演化理论的种种成功，大部分来自上述的自然常数组合，它提供了某种质量，而同时又有着正确的星等。但这一切都离不开爱丁顿的最初努力。

在研究关于恒星的不透明性的问题时，爱丁顿与爱利兹进行了有益的讨论，爱利兹是一位 X 射线与 Y 射线问题的专家，通过与他的讨论，爱丁顿吸取了他许多有益经验。就在这时，克莱默斯发表了一篇著名的论文，第一次对适用于光致电离的原子截面从理论上进行了实际演算，这正是爱丁顿在研究恒星不透明性所需要的。但爱丁顿并没有马上采用，而是又经过了自己重新推算论证，最后才采用了克莱默斯的研究成果。由此可见爱丁顿对于科学研究态度的严谨。在爱丁顿的众多理论中，关于恒量能量来源的推论称得上是极有预见性的。1920 年 8 月，他在英国学术协会会议上的演讲中说：

“只是传统的惰性心理才使得恒星能量来源的收缩说存活了下来，实际上不应该说它是在存活，而只不过是一具没有埋葬的尸体而已。但是，假如我们决定将这具尸体埋葬入土，那么让我们坦率地来看一看，自己所拥有的理论究竟是什么。

恒星正是通过我们所不知道的途径而成为某种巨大的能量贮存库的。这个能量库几乎只能是亚原子能，而我们又知道亚原子能在所有物质中都是大量存在的。我有时梦想人类总会有一天能够将它们释放出来，并利用它为自己服务。只要找到这把钥匙，这个仓库就将源源不断地为人类提供能量。而太阳中的能源足以使它的热量输出继续 100 亿年……

阿斯顿先生已经确切地证明了氢原子的质量小于组成氢原子的四个氢原子的质量之和。对此，化学家们是毫无异议的。在氢原子的聚合过程中，质量损失了 $\frac{1}{120}$ ，氢的原子量是 1.008，而氦的原子量却是 4。我不准备详细叙

述他的这个极为出色的证明。质量是不可能消失的，因而亏损的部分只能代表了嬗变中所释放出来的电磁质量。因此，我们马上可能推算出氢聚变为氦时所释放的能量。假如最初有 5% 的恒星质量是氢原子，它们逐步聚合成各种比较复杂的元素，那么所释放的总能量将会远远超出我们的需求，因此人类也就不必再去寻找其他的能源了。

假如恒星中的亚原子能量果真可以随意地用来维持它们巨大的核熔炉，那么对于实现我们的梦想看来是走近了一步，这就是设法控制这种潜在的能力以造福于人类，或者相反，造成人类的自我毁灭。”

从爱丁顿的这段话可以看出，早在 70 年前，他已经认识到了太阳能源对人类能源需求的巨大作用；同时也明白利用核聚变原理即能造福于人类，也可以毁灭人类。现代的氢弹爆炸之所以会产生威力极大的能量，正是依靠着氢原子核聚变所产生的巨大能量。

在前面我们已经知道，爱丁顿对恒星内部结构的兴趣，来自于他为寻求对造父变星所表现出来的恒星的可变特性及周光关系作出某种解释所做的努力。天文学家雷特在早些时候对处于对流平衡中气体恒星的绝热脉动的状况进行了分析；爱丁顿则在吸取了他的成果后将其加以推广，用在了根据他自己的标准模型所建立起来的处于辐射平衡状态的恒星上。然后，再将所得到的周期公式与自己的周光关系结合起来，这样，爱丁顿基本上就能对所观测

到的造父变星周光关系作出说明。于是，有关恒星可变特性脉动理论就这样建立起来。

爱丁顿对造父变星可变特性的最初研究，并没有提供诸如恒星的亮度、有效温度及视向速度这些变量之间的正确位相关系。这主要是受到当时研究水平所限，因为这些位相关系只有通过对恒星外层能量传输机制的仔细研究才能搞清楚。在以后的几年中，爱丁顿与克里斯蒂以及其他的一些科学家经过不懈的探索，最终得到了所需要的全部解答。

虽然爱丁顿对天体物理学的主要贡献是在恒星结构方面，但这并非意味着他在天体物理学其他领域内没有大的贡献。他发现了一种可用于解决辐射转移中一些问题的近似方法，即“爱丁顿近似法”。他对恒星大气中谱线形成问题的解决方法，在有关恒星大气理论研究的开创性年代中得到了广泛的应用。此外，爱丁顿还研究过密近双星的反射效应，这是为测定成员星质量而对食双星光变曲线进行分析时所必须考虑到的一种效应。

在上面所述的这些天体学的研究领域中，爱丁顿引入了“稀化因子”这一概念，有了这个概念，就可以在确定星际空间电离状态时用它对主辐射场的约化强度加以修正。另外，爱丁顿还是将“生长曲线”方法应用于星际吸收线问题的第一位学者。

在《恒星内部结构》一书中，爱丁顿对星系动力学与天体学理论进行了如下预言：“从星际吸收线所确定的视向速度在同银纬的关系上，必然会表现出有某种变化幅度，而这个幅度是恒星吸收线所表现的变化幅度的一半。”这个预言后来由天文学家斯特鲁维及普拉斯坎特通过实际观测给予了完整的证实。

三、广义相对论的倡导者

众所周知，相对论的创立者是爱因斯坦。对于相对论的推广与倡导，则离不开爱丁顿的贡献。

自从 1905 年创立了狭义相对论原理，在接下来的 10 年中，爱因斯坦将主要精力集中在把牛顿的引力理论同自己的原理一致起来，特别是要满足这样的要求，即任何信号的传播速度都不能超越光速。在探索的过程中，他经过了多次的失败，最终在 1915 年夏季达到了自己的研究目标，创立了广义相对论。

这一年已是第一次世界大战的第二年，英国与德国又是敌对国，但在科学界朋友们的协助下，对科学成就最新进展状况极为关注的爱丁顿还是很快地搞到了爱因斯坦的论文。经过他仔细地阅读并研究，爱丁顿不禁为爱因斯坦的卓越见解而喝彩。正如爱因斯坦在系统阐述自己理论的最后一段写道“任何一个人，只要对这一理论有着充分的理解，那么要从不可思议的魔法中逃脱出来几乎是不可能的”。毫无疑问，爱丁顿此时一定是陷入了这个理论的魔法之中了；因为在随后的两年时间中，他花了相当大的精力去品味爱因斯坦的理论，并写下了一篇题为《关于相对论引力理论的报告》的科学论文。爱丁顿的这篇论文条理清楚、简明扼要。因此直到今天，对于相对论的初学者来说，仍然是一篇优秀的入门读物。

正是由于爱丁顿对广义相对论的积极投入与热情，使得他的好友与同事，天文学家戴逊也被广义相对论所牢牢吸引住了。广义相对论的理论精彩而深奥，它的许多内容只有在一些特定的条件下才能得到验证。例如：在日食特别是日全食的条件下，通过实地观测就可以解释相对论的部分理论。然而日全食是一种非常罕见的天文现象，有的人终其一生也未必能亲眼见到一次日全食。

但令人感到幸运的是，1919 年 5 月 29 日就有一次日全食发生，它的范围是在南半球的中纬度地区。所以爱丁顿以及戴逊等科学家不顾潜在的危险，决定利用这次好机会进行多项科学考察活动；当然，最重要的一项就是验证广义相对论的理论。在爱丁顿的科学日志中，对于这次考察做了如下的一段论述：

“光线的弯曲影响到出现在太阳附近的恒星，因而，只有当月亮把太阳耀眼的光辉完全遮去之时，也就是日全食期间才能进行这种观测。即使在那时候，还是有大量的太阳日冕光线伸展到离日面很远的地方。因此，在观测时还是需要在太阳附近有一些足够亮的星，它们不会被日冕的光芒所淹没，这样就可以以它们为参考点进行观测了。

在迷信时代，希望完成一项重要实验的自然科学家往往会去请教占星家为他的实验确定一个黄道吉日。今天，向星星请教的天文学家则有更充分的理由宣布：一年中考察光线的最佳日期是 5 月 29 日。其原因是太阳沿着黄道作周年运动，在它所经过的地方恒星的密集程度是不同的，但是在 5 月 29 日这一天，太阳正好位于非常少有的一片亮星——毕宿星团之中，这是它最好的星场，比其他的任何地方都要好得多。那么如果是在历史上另外某个时期提出这一问题的话，也许要等上几千年才能在这个幸运的日子里发生一次日全食。但我们的运气真是好极了，就在 1919 年 5 月 29 日将发生一次日全食……

1917年3月，皇家天文学家戴逊爵士就已意识到这个大好的时机，在他的建议下，由皇家协会与皇家天文学会组成的一个委员会开始为进行观测做准备工作……

……计划始于一战时的1918年，而人们直到最后时刻还在怀疑是否存在能使考察队出发的任何可能性，但事实否定了这种怀疑。戴逊爵士在格林尼治组织了两支考察队，一支奔赴巴西的索布拉尔，另一支则开到西非的普要西比岛。索布拉尔考察队由克洛梅林博士与戴维逊先生带领；普林西比考察队则由科丁汉先生和我带领。

在停战之前要仪器制造商完成全部工作是不可能的，而且因为考察队必须在2月份启航，大量的准备工作急待完成。巴西组日食时的天气是理想的，最终是由他们提供了最有决定性意义的证明。而普林西比的情况则相当糟，日食那天层云密布，天上还下着雨，几乎是没有任何希望了。直到接近全食阶段时，太阳才开始隐隐约约地露面；我们的工作按计划进行，希望情况也许不会像看上去那么坏。全食终了之前云层一定是变薄了，因为在多次失败中我们还是得到了两张有我们所需要星像的底片，将它们与太阳处于其他位置上时对同一星场所拍摄的底片进行比较，这样它们的差异就表示了因光线在太阳附近经过时的弯曲现象所造成的恒星的表观位移。

以当时我们面前的问题来看，存在着三种可能性。也许光线没有发生任何偏折，这就是说光线可能不受引力的影响。也许光线出现“半偏折”，这表示如牛顿所以为的那样光线要受到引力的影响，它服从于简单的牛顿定律。也可能是“全偏折”，从而证实了爱因斯坦定律而并非牛顿定律。

到底是哪一种呢！为了能够尽快得到问题的答案，我们就立即对其中一张成功的底片进行了仔细的研究。在天文量度中需要寻找的星数往往是很大的，所以根据一张底片实际上就应当对问题作出判定；不过当然还要通过其他底片来加以证实。日食后的第三天，计算工作最终完成了，是“全偏折”，我知道爱因斯坦的理论经受住了这次考验，这种崭新的科学思想一定会被大家所接受的。”

1919年11月6日，在英国皇家学会和皇家天文学会联席会议上，戴逊与爱丁顿就这次考察的科研成果作了报告。会议经过讨论之后，由皇家学会的会长汤姆逊发表了如下的意见：

“事实上，牛顿确已在他的《光学》一书中就光线弯曲现象，以提问的形式指出了这一点，而根据他的看法大体上应当得出偏值的一半。但是这项结果并非是一个孤立的结果；它是由许多科学观念构成的某种整体结构的一部分，并且影响到物理学中的一些最基本的概念。我们这次科学考察的研究成果，可以称得上是牛顿时代以来，在引力理论方面所取得的最重要结果，因而把它们放在和牛顿密切有关的皇家学会的会议上来加以宣布，无疑是十分恰当的……

如果爱因斯坦的理论是正确的，那就会使我们以一种全新的观点去认识引力。如果事实能够证明爱因斯坦的推理完全成立——它已经经受了与水星近日点及这次日全食有关的两次极为严峻的考验——那么它将是人类思想的一项最高成就的结晶。然而，这一理论也有着它的不足，那就是不易表达出来。看来，任何一个人要是对于不变量理论和变量微积分学没有透彻的了解，那就无法理解这一新的理论。”

汤姆逊的发言，无疑已经表明了古典力学的大本营——英国科学界已经

承认了爱因斯坦广义相对论的正确性。而他所提到的理解广义相对论的“困难”，在当时以及在很长一段时间内，科学界也都是这样认为。不久，科学界就流传出了一句话：“全世界只有三个人懂得广义相对论的真正内涵”。而这三个人中，有一个就是爱丁顿。

在会议的最后，皇家天文学会会长琼斯将两枚金质奖章颁发给戴逊和爱丁顿时说：

“在 1918 年，也就是大战的最黑暗的年月里，格林尼治天文台与剑桥大学各自筹划了一支考察队，以便在时间到来之际，如果世界形势许可的话就去观测 1919 年 5 月的日食，目的是对爱因斯坦的广义相对论进行一次有决定性意义的检验。1918 年 11 月，停战协定签字，大战结束，考察队出发了。而他们归来时所带回的消息和研究成果，从根本上改变了天文学家、物理学研究成果，从根本上改变了天文学家、物理学家关于引力本质的概念，也改变了普通人对他们所生活的这个世界在本质问题上的概念，而且这种改变是无可挽回的。

如果这一成就的荣誉必须在戴逊爵士和爱丁顿教授之间进行分配的话，我坦率地说真不知道该以何种比率来加以分配。但在我看来，这个光辉的时刻与其来分配荣誉，倒不如说把全部荣誉归功于双方，因为任何一方如果由于缺乏远见，或者缺乏热情，或者缺乏抓住正确时机的能力，从而未能发挥他的作用，那么我怀疑考察队究竟是否会如期出发，而通过观测，首次确定时空究竟意为何类事物的伟大荣誉也将会推迟到不知何时了。”

四、爱丁顿与爱因斯坦

在通过事实验证了爱因斯坦广义相对论的正确性后，爱丁顿又开始这一理论更深层次的探索。

当爱因斯坦系统地阐述他的广义相对论时，人们认为整个物理世界只需用两种力场来加以描述，即引力场与电磁场。在爱因斯坦的广义相对论中，已经说明了引力场是如何同时空结构合为一体，那么自然也应该尽力将电磁场与时空结构也合为一体。显然，如果要做到这样一种合并，那就必须在现有相对论的基础上加以推广，把爱因斯坦的几何学基础加以扩大，其途径就应该对黎曼几何学作适当的推广。

这一时期，有不少科学家投入到了相对论的研究之中，物理学家韦尔也是其中的一个，他在自己的研究中试图将引力和电磁统一起来，从而进一步推广广义相对论。经过努力后，韦尔取得了自己的研究成果：如果在真空的情况下，爱因斯坦方程

$$G_{ij} = 0$$

将由式

$$G_{ij} = -\frac{1}{2}g_{ij}$$

所代替，其中 Λ 是爱因斯坦在 1917 年引入的宇宙常数； g_{ij} 和 G_{ij} 分别为度规张量和爱因斯坦张量。

爱丁顿针对韦尔的研究进行了推广。在前面已经说过，要进行这方面的研究，就需要对黎曼几何学加以推广；韦尔与爱丁顿就积极地进行了探索。他们的作法总的表现为使一个矢量绕着一条无穷小封闭曲线平行地移动。黎曼几何中，矢量在描绘了这样一条无穷小封闭曲线后方向会发生变化，但长度则保持不变。而韦尔在应用时，假定长度也会发生变化，变化量同矢量的初始长度成正比；爱丁顿则允许长度在开始时就作任意的变化。

根据爱因斯坦方程，自然会得出宇宙常数项，这一事实使爱丁顿确信将它包括在方程中的必要性，因而这就形成了他一些观点的核心。正如他所解释的那样：“在任意一点上沿任意方向的曲率半径，与放在同一点上取相同方向的某个具体实物单元的长度之比是一个常数。而反过来说，某一具体实物结构的长度，与这个位置上这一结构所在方向的宇宙曲率半径之比是一个常数。”

爱丁顿通过各种方式来表达了他的这一核心原理。他认为，无论实物结构调整得与它们周围真空相平衡的实际定律是什么内容，都应该明白，爱因斯坦引力定律是用量度实物的工具来观察世界的必然产物。

他十分明白宇宙常数在应用中的重要作用，他认为在爱因斯坦方程中要是不带 Λ 项，就等于回到了牛顿理论，这样，广义相对论就将失去它的光彩。

在 1923 年 9 月，爱因斯坦来到英国，与爱丁顿、德西特、埃伦费斯特等著名学者进行了会晤。爱丁顿就广义相对论的问题与爱因斯坦进行了多方面的讨论，两人在许多问题上有着共同的见解，当然也存在着一些分歧。但爱因斯坦十分清楚，爱丁顿已经掌握了广义相对论的要旨。所以他在这一年年底给玻尔的信中指出：“爱丁顿比韦尔更接近于真理。”

1924 年，爱丁顿访问了加利福尼亚大学物理系，并进行了系列讲座。在几个月的时间里，他与物理系教授威廉斯合用一间办公室，刚好威廉斯也是

一位广义相对论的支持者，所以两人经常就相对论问题进行各方面的探讨；同时两个人又都是高尔夫球的爱好者，他们两个每星期都要一起打几次高尔夫球。这样，两个人结下了深厚的友谊。

在爱丁顿完成访美任务，即将回国的前一天晚上，加利福尼亚大学物理系为他安排了告别宴会；在宴会上，威廉斯教授应邀致告别辞，他根据自己与爱丁顿多日来一起讨论的相对论问题，写下了这样的一首诗做为离别发言：

《爱因斯坦和爱丁顿》

太阳转过了高尔夫球场，
月亮俯视着平静的海洋，
所有的球僮都已离场就寝，但在那还是可
以看到——
有两位玩球的人，
仍然徘徊在十三号球场的护沟旁。
爱因斯坦和爱丁顿，
正在计算他们的得分；
爱因斯坦的记分牌上写着 98，
而爱丁顿的得分也是如此。
他们正聚在一起，
讨论着不少高深的问题。

时间到了，爱丁顿说，
有好多事情该谈谈了，
说说立方体、时钟和米尺，
还有为什么摆锤会不停摇晃，
空间倾斜又到了何种程度，
时间究竟有没有飞跃的翅膀。

在学生时代我懂得，
是重力使苹果落入筐。
而现在你却告诉我，
原因只是在 G_{ij} 之上。
我真的有些不敢相信，
这才是千真万确的事实真相。
你断定引力的作用，
不是一种拉力，
你认为空间基本上空无一物，
而时间却几乎是满而无隙，
尽管我为怀疑你的话深感抱歉，
但这听起来必竟有违常理。

空间是四维的空间，
而不只是人们认识的三维。
关于斜边的平方

也不再是过去的概念。
你对平面几何的所作所为，
令数学家们头疼不已。

你认为时间严重地受到了限障，
甚至光线也被弄弯：
如果这就是你的意思所在，
我相信我已消除了怀疑，
掌握了它的实质所在，
而不必如别人一样费力去猜。

如果我以两倍的光速；
由美国前往剑桥，
今天下午四点动身，
昨天晚上便已回到了家。
你现在的确明白了，爱因斯坦说，
这实在是一点也不差。

但是以水星为例，
它绕着太阳在运行，
要是直到生命终结之时，
也永远回不到它所经过的地方，
那么我们动手做的事情，
最好还是不要开始。
因为如果过去还没有结束，

而未来却已经介入；
那么一切事物又有何用，
管他是人还是物！
请再告诉我的总统与主教，
对此不要再迷糊。

爱因斯坦还说到，
在相对论的影响下，
最短的线并不是笔直的线，
而是自然地弯弯曲曲就像数字 8。
如果你走得太快，
你的目的地将会很晚才能到达。

但是，复活节之日即圣诞节之时，
而远在天边即是近在眼前；
二加二将会大于四，
那里也就是这边。
你是对的，爱丁顿说，

未来将证明你所有的发言。

威廉斯的这首长诗，可以说将爱因斯坦的广义相对论以爱丁顿与爱因斯坦谈话的形式展现在了大家的眼前，而且是相当生动形象的，同时也代表了当时科学界对两人在建立及推广相对论这一问题上的充分肯定。

五、爱丁顿的宇宙理论

1926 年，爱丁顿的《恒星内部结构》一书出版了，这一年他 44 岁。在以后的 18 年科学研究中，他除了偶尔涉足于自己早年感兴趣的一些领域外，将自己的全部精力都用在了他所选中的一个特定宇宙模式的证明之中，进而将这个模式作为他“量子论与相对论统一起来的基本理论”的基础。

在此后不久，爱丁顿就发表了《相对论的数学理论》一文。在这篇论文中，爱丁顿认为存在着两种不同的宇宙模式，它们都同一个不为零的宇宙常数有关：一种是爱因斯坦宇宙，它是静态的，并处于流体静力平衡状态中；另一种是德西特宇宙，它也是静态的，但在不断地膨胀。这两种模式在理论上都是可能的，并且同有关均匀各向同性的假设没有矛盾。由于在德西特宇宙中存在着某种膨胀现象，天体的距离越远，退行速度越大；而爱因斯坦宇宙模式中不存在这种膨胀，因此爱丁顿在论文中将各符合自己观点的德西特宇宙模式的可能性会更大一些。除去他的主观认识外，他还根据了当时他所能得到的很少的一些观测资料而最终作出了这一选择的。

在爱因斯坦宇宙与德西特宇宙中，所有的度规系数都与时间无关，因此，从这个角度上来说它们都是静态的。而德西特宇宙尽管表现有膨胀，但它的静态特征是因宇宙中不存在任何质量密度而造成的。因此，在当时爱因斯坦宇宙便是不表现有任何运动的唯一宇宙模型。正如爱丁顿对这种情况所作的总结那样：“爱因斯坦宇宙包含有物质但没有运动，德西特宇宙则包含有运动但没有物质。”

1927 年，勒梅特在自己的一篇论文中证明了爱因斯坦方程允许均匀各向同性的非静态宇宙模式，并且相当详细地叙述了这一理论对天文学的影响。爱丁顿见到这篇论文后，进行了详细的分析，并在自己的著作中作了广泛的宣传。根据勒梅特的证明，宇宙常数项成了一个可以取正值，又可以取负值还可以取零的参数，这样，研究者们就有了可供选择的各种宇宙模式。这些模式为同天文观测事实进行比较而提供了广泛的基础。

爱丁顿虽然认识到了这一点，但他根据自己的研究方向，一开始就把精力集中在这一系列可能模式中的一个具体成员上，在他所在意的模式中，宇宙最初是某种德西特宇宙，它的质量（ M ）与半径（ R_E ）之间存在着这样的关系式：

$$\Lambda = \frac{1}{R_E} \text{ 和 } \frac{GM}{C^2} = \frac{1}{2} \pi R_E$$

后来由于它的不稳定性，宇宙开始膨胀。虽然收缩也是完全有可能的，但爱丁顿和其他一些学者认为在德西特宇宙模式中，最初的凝聚状态导致膨胀的可能性要比收缩来得大。

为什么爱丁顿会挑选这种特定的模型来说明天文学上的宇宙呢？在这时的科学日志中，他是这样解释的：“我现在好像是一名正在搜寻罪犯的侦探，这罪犯便是宇宙常数。我知道他一定是存在的，但由于情报不足，我不知道他的外貌特征，不知道他躲在何处，但他肯定是在科学的某个角落中。”

爱丁顿力图弄清楚他所追寻的那位“罪犯”的“外貌”和“藏身之处”，因此他所采用的方法大致遵循着这样的一条思路：对于在不变电荷的电磁场

中运动的一个电子来说，狄拉克方程中与电子 M_e 有关的项是 $\frac{M_e C^2}{e^2}$ 。于是爱丁顿力图说明这一项是由于宇宙中所有其他粒子的存在而出现的。也就是说，他认为这是同作了适当均分的宇宙中其他电荷进

行“能量交换”的结果；他还证明了这一项必然是 $\frac{\sqrt{N}}{R_E}$ ，其中 N 是宇宙的粒

子数， R_E 则是原始爱因斯坦静态宇宙的半径。这样，爱丁顿便得到了下面的这样一个关系式：

$$\frac{\sqrt{N}}{R_E} = \frac{M_e C^2}{e^2}$$

根据前面的关系式，就得到了一个新的关系式：

$$\frac{Nm_p}{C^2} = \frac{1}{2} \pi R_E$$

其中 m_p 表示质子的质量。利用、两个关系式可以发现：

$$N = \frac{\pi^2}{4} \frac{e^4}{(Gm_p m_e)^2} = 1.28 \times 10^{79}$$

以及

$$\frac{1}{\Lambda} = R_E = \frac{1}{2} \pi \frac{e^4}{Gm_p m_e^2 C^2} = 1.07 \times 10^9 \text{ 光年}$$

就这样，得到了上面的关系式与数据后，爱丁顿认为这两个数据同观测结果相当吻合，因而他感到自己已经找到了那名“罪犯”。于是，他对自己论点的可靠性深信不疑。在1943年，爱丁顿在都柏林高等研究院所作的一系列讲座中说道：“在过去的16年中，我从来没有对我这一理论的正确性有过任何的怀疑。”1944年6月即在他逝世的前5个月，爱丁顿在天文学会会议上最后一次露面时提交了一篇论文，题为《星系的退行常数》。在论文中，他说根据方程解出的是宇宙常数，而且认为，宇宙演化的时间尺度一定小于 9×10^{10} 年。在会议之后，爱丁顿与另一位天体物理学家麦克维蒂进行了这样的一段有关宇宙模式的谈话：

麦克维蒂：“爱丁顿先生，您的理论完全建立在从德西特宇宙开始膨胀的那个模型之上。我们知道，对“宇宙深处”旋涡星系分布情况的观测结果，为在不同宇宙模型之间作出鉴别提供了一种非常妙的检验标准。如果在实际观测中恰恰没有您所选中的那特定的宇宙模型，您的理论又将如何解释呢？”

爱丁顿：“我认为，在相当长的一段时期内，我们将不会取得足够精确的资料使这一问题得到最终的解决，因此我认为我不需要考虑这种或许可能发生的事情。我们应该力求通过其他的方法来作出判断，而不是通过与观测结果进行直接比较。”

从这段谈话中，我们可以看出爱丁顿显然是过于自信了，没有能够考虑周全。他的宇宙模式理论，在20年代时可以称得上是一种先进的理论，然而随着时间的推移，人类知识的进步，爱丁顿的宇宙模式理论逐渐显现了它的

不正确性。

根据最新的理论研究和实际观测，宇宙中充满了均匀各向同性的辐射场，该辐射场具有温度为 3K 的普朗克分布。这一事实意味着：宇宙自从辐射温度为 4000K、物质与辐射互相分离以来已扩大了大约 1350 倍。同样，由核合成所产生的原始氦也意味着宇宙在某个时期曾处于这样的一种状态：当时的密度为 $1000 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}$ ，温度为 10^9K 。这两个要求又进一步意味着那个时刻的宇宙半径一定要小 10^9 倍。宇宙半径有这样大小的变化，这显然是爱丁顿所没有预料到的。

但无论如何，爱丁顿的宇宙模式理论对于人类进一步认识宇宙起到了巨大的促进作用。

六、恒星的终结理论

爱丁顿在对宇宙的最初模式理论进行研究的时候，离不开对宇宙中的质点——恒星的研究，而恒星的最终状态如何，也是他探讨的一个重要问题。他对于这方面的研究成果，集中地体现在他于 1936 年夏天，在哈佛大学文学与科学 300 周年纪念大会上所做的发言：

“……在恒星内部，1 千万度的高温使大多数电子脱离原子而远走高飞，所以原子中所剩下的只是一个极其微小的结构。原子或者说离子的尺寸大大地缩小，它们越挤越紧，直到密度增大 100 万倍。正因为如此，在恒星内部密度大大增高之时仍然继续保持着理想气体状态。太阳以及其他一些密度比较高的恒星始终服从适用于理想气体的理论，这是很自然的，因为组成它们的物质是理想气体。

因此，没有什么因素能阻止恒星物质不断压缩，到达极高的密度；这本身意味着对于称为白矮星的一类恒星利用观测资料所算得的密度尽管高得使人感到不可接受，但也许完全是真实的。

在得出这一结论的过程中，我并不是没有一点疑虑的。我在担心这些超密星最终会发生什么情况。恒星似乎自行处于一种进退维谷的难堪状态。最后，恒星中所储存的亚原子能量总是会用完的，而这时恒星似乎必然地会冷却下来。但是一定会这样吗？巨大的密度可能是原子粉身碎骨的高温造成的。如果物质冷却了，它也许会回到地球的密度。但是这意味着恒星必然要膨胀到大约现在体积的 5 千倍那么大。然而，膨胀需要能量——克服重力做功；而恒星看起来已没有任何可供消耗的能量储备了。如果恒星不断地失去热量，而又没有足够的能量来使自己冷却，那么它究竟要干什么呢？

亚当斯教授及时地证实了天狼星伴星有着很高的密度，但这个谜仍未解开。不久，福勒教授在他的一篇论文中，应用了刚发现的波动力学的一个新成果，对亚当斯教授的理论给予了支援。但我认为这显然是一个巧合；就在天文学上发现了超高密度的物质之时，数学物理家们也正完全独立地将注意力转向了同一个课题。

物理学家们不会满足于现状而止步不前的，他们现在正着手对福勒公式加以改进。他们指出，以白矮星的条件而论，电子的速度会接近于光速，因而应当存在着一些福勒所没有考虑到的相对论效应。结果，被称为普通简单公式的福勒公式后来为一个新的公式所代替，后者称为相对论简并公式。一切看来都很好，可是后来钱德拉塞卡博士所作的某些研究又表明了这样一个事实，即相对论公式又把恒星的生命终点放回到了困境之中。在他看来，小的恒星可以冷却下来，这是不成问题的，它们以一种合理的方式结束其一生，最后变为暗星；但是当超过某个临界质量（太阳质量的 2 倍）后，恒星将不会冷却下来，而一定是继续发出辐射，并且继续收缩，直到天知道它会变成什么东西，然而这并没有使钱德拉塞卡感到担忧，他似乎喜欢恒星以这种方法演变，并且相信这就是实际上所发生的情况。但是我和 12 年之前一样，反对这种有关恒星的玩笑；至少这是非常奇怪，从而使我怀疑所用到的物理公式一定在什么地方出了差错。

我对钱德拉塞卡在研究中所用的公式——所谓的相对论简并公式，作了仔细的检查，我所得出的结论是：它是相对论和非相对论性量子论的某种混合物。但我认为由这种结合而产生的后代是不合法的。相对论简并公式、也

就是目前所应用的公式，实际上是没有根据的；而且，也许令人颇为吃惊的是，正确应用相对论所导出的公式是普通公式，也就是已经被人所改进了的福勒的原始公式。

我要冒昧地提到这项研究中的个人方面问题，因为它表明了不同的科学分支是如何密切地连结在一起的。当我因钱德拉塞卡的研究成果而对相对论简并公式产生怀疑时，要我挤出时间来把这个问题追究到底，却是一件相当麻烦的事，因为当时我正全力以赴地从事着属于不同思想领域的一项长期研究。这项工作用去了我6年的时间，已接近于完成，剩下的只有一个问题需要加以解决，那就是对宇宙常数作精确的理论计算。但是在这一点上，我被完全难住了。然而，我有4个月的轻松时间，这是我曾想在这一问题上狠下一番苦功——进行最后的努力。可是由于开始思考简并公式时没有谨慎从事，所以我又不可能把公式丢开不管，这就花去了我大量的时间。

几个月一晃就过去了，但在有关宇宙常数的问题上我却什么事也没有做。后来，有一天在我试图用各种观点来检验我的简并性结果时，发现在一种极限情况下，它成为了某个宇宙问题的一部分。这正好对被我撇在一边的那个问题开辟了一条新的研究途径，而通过这条新途径，问题就可以得到解决而没有太多的困难。现在我可以理解，用其他任何方法都是很难做到这一点的；如果我把4个月的时间要是仅花在问题的最后解决上，要想取得大的进展，可能性微乎其微，这也算是歪打正着吧。

几天前，我向数学部提交了一篇文章，其中根据简并方程计算了旋涡星云的退行速度以及宇宙中的粒子数，这篇论文有着天文学的血统。然而，它并非仅是因为对旋涡星云的考虑而提出来的。它是研究天狼伴星以及其他一些白矮星的结果。”

在这段发言中，爱丁顿的恒星终结理论与钱德拉塞卡的理论表现出了两种不同的倾向。

作为福勒关于白矮星物质状态讨论基础的简并电子状态理论，同索夫菲的金属电子论的理论一样，受这样一种状态方程的支配：

$$P = \frac{1}{20} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{h^2}{m_e} n^{\frac{5}{2}}$$

式中 P 表示压力， n 表示每立方米的电子数， m 表示电子的质量， h 表示电子的体积。对于普遍情况下白矮星中心所具有的密度条件来说，那些处于费米阈值的电子开始具有能与光速相比的运动速度。如果就这种环境条件加以修正，修正时所用的方法在当时是很普通的，而且到今天仍然广为采用，这样，经过修改后的状态方程与方程 所给出的形式有所不同。当电子浓度非常高时，极端情况下的方程形式趋向于：

$$P = \frac{1}{8} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} h c n^{\frac{4}{3}} (n \rightarrow \infty)$$

爱丁顿所以认为的“不合法”的相对论简并方程正是这一修正形式。

以上的两种方程，一种是应用状态方程的非相对论性形式方程，另一种则是应用严格形式的方程；即对于低密度极端情况是方程 而对于高密度极端情况为方程 。

根据非相对论性的状态方程，人们发现处于平衡状态中恒星物质的半径与质量的立方根成反比。因此，对于各种质量来说都有可能达到有限的平

衡结构。爱丁顿所满意的也正是这个事实。然而，如果应用高密度极端情况的严格形式状态方程，研究者发现一旦恒星的质量超过下面的公式极限，则任何形式的平衡状态也不可能达到了：

$$M = 0.197 \left(\frac{hc}{G} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{(M_{\epsilon} H)^2} = 5.76 M_{\epsilon}^{-2} M_{\odot}$$

式中 M 是每个电子的平均分子量， M 表示太阳的质量。

爱丁顿正是把这样的一个事实——对于超过公式的极限质量来说明不存在有限的简并状态恒星结构，并将其看作是“恒星玩笑”。正如他在自己的一篇论文中所写道的：

“钱德拉塞卡博士应用最近 5 年来一直为人们所接受的相对论公式，证明了质量大于某个极限的一颗恒星将始终保持理想气体状态，它永远不可能冷却。这颗恒星一定会不断地发出辐射，同时不断地收缩变小，我想，这一过程将一直会进行到恒星半径缩小为几公里时才会停止，这时引力强大得足以使辐射受到压抑，而恒星也终于可以归于平衡了。

钱德拉塞卡博士是在早些时候得到这一研究成果的，但他只是在最近才多次讲到这一点；而当我就这个问题与他进行讨论时，我感到不得不得出这样的一种归谬证法。可能会因各种偶然事件的介入，而使这颗恒星在它生命的最后免遭极限坍塌的厄运，但是我想得到比这更强的保护机制。我认为应该存在某种自然的规律，它会防止恒星按照这种恐怖的方式发展演变！”

从这段话中可以看出，爱丁顿在 1936 年时就已经充分地认识到，如果对于简并结构的质量存在着某个上限；那么，超过这一极限的某颗恒星在其演变过程的最后将极度压缩，密度增加到令人不可思议的地步。这样，爱丁顿实际上已接近了当代对于恒星终结的理论之一——“黑洞”理论。但不知出于什么原因，爱丁顿并没有接受一个如此有预见地得出的结论；而是认为：“应该存在某种自然的规律，它会防止恒星按照这种恐怖的方式演变！”他所说的恐怖的演变方式，就指的是“黑洞”。

爱丁顿对于恒星最终演变过程的研究，有着他的开创性意义。他认识到了大多数的恒星演变的最后一个阶段将是白矮星，也意识到了“黑洞”的存在可能性。然而由于认识 and 理解的偏差，他没能进一步发展自己的理论，但这并不影响他对于恒星演变理论的巨大贡献。

比爱丁顿稍后的物理学家克劳瑟是这样评价爱丁顿的科学工作的：“爱丁顿的工作大都是极其重要的。他的理论除了难以理解这一点外，所解释的内容也实在太多了；事实上它对什么都作了解释。但是，迄今为止学者们通常会认为他的理论对什么也没有作出透彻的解释，充其量它也只是片断性的工作；然而我认为，爱丁顿的工作研究，就如同达·芬奇的科学研究一样，它所包含的深邃的洞察力，只有在通过完全不同的途径与方法将其中有重大意义的内容充分发掘出来以后，才有可能为后代人所明了了它的巨大价值。”

是的，在今天的天体物理学科中，许多奠基性的理论就是爱丁顿所作出的。

另外，在宇宙模式的安全检查探索过程中，爱丁顿作为一位天体物理学家，也展示了自己深厚的数学功底。比如在处理狄拉克方程的过程中，爱丁顿改进了 E 数算法，这基本上是有 16 个元素的群代数，这些元素满足狄拉克矩阵的反射易定则。这一改进是一项很了不起的成就，它对于学者们加深对克利福德代数的认识，起到了重要的作用。

爱丁顿是这样改进 E 数算法的基本元素的，首先，他用下列的表示定义了五个 E 数：

$$E_1 = \begin{vmatrix} i\sigma_1 & 0 \\ 0 & i\sigma_1 \end{vmatrix}, \quad E_2 = \begin{vmatrix} i\sigma_3 & 0 \\ 0 & i\sigma_3 \end{vmatrix},$$

$$E_3 = \begin{vmatrix} 0 & -\sigma_2 \\ \sigma_2 & 0 \end{vmatrix}, \quad E_4 = \begin{vmatrix} i\sigma_2 & 0 \\ 0 & -i\sigma_2 \end{vmatrix},$$

$$E_5 = \begin{vmatrix} 0 & i\sigma_2 \\ i\sigma_2 & 0 \end{vmatrix}$$

其中 σ_1, σ_2 与 σ_3 是 2×2 泡利矩阵。这些 E 数满足对易定则：

$$E_\mu E_\nu + E_\nu E_\mu = -2\delta_{\mu\nu} \quad (\mu, \nu=1, \dots, 5)$$

$$\text{和 } E_1 E_2 E_3 E_4 = i E_5$$

爱丁顿代数的 16 个元素就是：

$$i, E_\mu \text{ 和 } E_\mu E_\nu \quad (\mu, \nu=1, \dots, 5)$$

接着，爱丁顿又进一步将 E 代数的平方定义为 16×16 的复矩阵。这一“双重 E 标架”是与九维基本空间中的三种克利福德代数中的一种相对应。爱丁顿在这一方面的研究，已经远远地走在了同时代数学家的前面。在今天，有关于超对称规范场方面的研究是以八维或九维克利福德代数为基础的，毋庸置疑，爱丁顿为奠基者之一。

在研究过程中，爱丁顿还相当重视去寻找幂等 E 数，也就是寻找克利福德代数中满足等式 $E^2=E$ 的那些元素 E，这些元素是量子电动力学中有关动量和自旋的基本组成。另外，由于他意识到在实数范围内 E 代数是五维的，这样他就在粒子物理学领域内第一次引入了“手征性”的概念，从而使计算方法更加清晰、明了。

尤其应该指出的是，爱丁顿还是认识到 4×4 实数矩阵代数及其意义的第一个人。这一代数矩阵后来被马约喇纳所推广；被称为“马约喇纳旋量”。

七、自信的爱丁顿

从以上的介绍中可以看出，爱丁顿在科学的许多方面都取得了相当重要的成就，显现了他惊人的智慧。那么他的力量源泉又是来自何处，究竟是什么样的信念促使他在科学的道路上不断前进呢？从下面这段爱丁顿在英国皇家学会的演讲中，我们应该有所领悟。爱丁顿此时 38 岁，他是这样说的：

“……我不知道什么是我们可以用来检验科学理论的合理发展和抛弃无用的推测的试金石。我们都知道有一些理论被科学思想看作为无用的猜测而自然地遭到了抛弃，但是要做到说清楚它们的缺陷，或者提供某种规则以便一旦我们自身确实犯了过错它就会给我们指出来，那可并不容易。通常认为推测和作假设是同一回事；但是在更多的场合中它们是对立的。正是当我们让自己的思想在可尊敬的，然而有时却是靠不住的那种假设的外围游荡时，我们被说成是在进行推测。假设使推测受到限制，则对推测的怀疑往往成为思维不严谨的庇护所——一些混乱的观念侵入我们的脑海之中，从而影响到我们的观点；但另一方面则是推测过份，以致没有让它们去接受会对它们驱邪除魔的科学上的彻底检查。

如果我们不满足于一味地积累实验事实，如果我们作了一些推论和概括，如果我们寻求一种理论来指导我们，那么进行某种程度的推测是不可避免的。有些人总是喜欢看上去非常直截了当的那种解释，并且立即把它作为一种假设；另外一些人则宁可想设法去寻找和事实并不完全矛盾的最广泛的可能性，并对这些可能性进行分类。但无论挑选哪一种观点都有它的危险性：第一种观点太狭窄，结果会走入死胡同；第二种观点则牵涉面太广，将会同实验知识分道扬镳，越走越远。发生后一种情况时，所得到的结论必然是：知识还没有完善到适合于作理论处理，推测也还没有成熟。当推测性理论和观测性研究可以做到互相配合，携手前进之时，也就是能够通过实验，使理论可以把那些遗留下来的错误途径逐条得以排除的一些检验法指点出来的时候。

数学物理学家处在特别困难的地位上。他也许算出了具有特定性质的某种理想物质模型的变化特征，同时又服从一些严密的数学定律，到这时为止他的工作是无懈可击的。这并非是什么推测，就如同二项式定理不是推测出来的一样。但是，当他感到他的模型可能像自然界中所存在的某种东西时，他便不可避免地要开始作推测了。这个现实的天体真的同理想模型一样吗？会不会有其它情况？对此他是无法肯定的，但是他不可能不进行比较；因为正是不断地观察自然才引导他选择了某个课题。他必然经常会认识到一个普遍性错误是利用经验更丰富的观测家对之摇头的那些观测资料来进行比较；这些资料是很不可靠的，不能广泛地作为比较的依据。但即使在这点上理论还是可以为观测出力，这就是指出哪一类观测资料特别需要加以改进。

我认为，如果研究工作在正确观点的指导之下来进行，那么比较没有根据的推测就可以避免。一旦理想模型的性质通过严密的数学方法计算出来了，同时对所有的基本假定又有了清楚的理解，那么就有可能说，正是由于如此这般的性质和规律才会取得这样的效果。如果存在别的什么没有考虑到因素的话，那么在同自然进行比较时它们马上就应该暴露出来。当模型和观测不完全一致时没有必要感到失望；因为目的已经达到了，已辨别出需要新的条件来作出解释的事实现象的特征是什么。大体上同观测取得初步的一

致是必要的，不然模型就没有希望了；这并不是说就目前而论它一定是错误的，而是说它将不太重要的一些性质放到了第一位。我们一直是拉着死结错误的一端，所以一定要通过不同的途径才解得开来。但是，在同观测取得了大体上的一致，并且这个死结开始松动之后，我们总是又在准备解决下一个问题。但我想，研究者不应该因为自己的理论刚刚在观测面前通过一项严峻的考验而感到心满意足，他们应该感到失望——‘又没有完全成功’！这一次我原来希望发现某种不一致的地方，以便有助于指出可以对我的研究加以改进的一些关键之点。这样，我们才会在自己的研究范畴内取得更大的进步。

我们的自然模型不应该像一幢大楼——一座使人们赞叹不已的建筑物，因为也许随着时光的流逝会有人从中抽掉一块基石，这时整个大厦就会垮下来。它应该如同一台有着可动部件的发动机。我们并不需要把任何一根杠杆的位置固定下来——也就是应该根据最新观测的知识而随时地加以调整。科学工作者的目标就是要知道由杠杆带动的轮系——也就是作为发动机灵魂的各个部件的联结系统。”

从上面的这段发言中，我们可以看出爱丁顿作为一位卓越的天体理论家，并没有忽略实践对理论的巨大指导意义，十分重视将工作的实践与思想的理论结合在一起。同时，他积极向上，永不言败；在困难面前他是一位强者，在成功面前他又能不被荣誉所迷惑。因此，他在自己所从事的科研范畴内取得了骄人的成就。

但是，由于时代的限制，爱丁顿的许多工作并没有得到同时代人的重视。对此，爱丁顿有些苦恼，然而他仍然对自己所从事的研究工作充满了自信，他在 1944 年给友人的一封信中说：

“我一直在想办法弄清楚为什么人们会对我的工作感到难以理解。但是我要指出，即使是爱因斯坦也被看作是难以理解的，而且有许许多多的人认为有必要来对它进行解释。我不可能真的相信对我所做工作的难以理解已到达爱因斯坦的程度。但是对爱因斯坦来说，人们却认为克服困难去弄懂这种难以理解的内容是值得的。我相信，当他们意识到他们必须这么做，因而也就当‘解释爱丁顿’成为一种时髦的时候，他们是会正确理解我的。”

这就是爱丁顿，自信的爱丁顿。

从以上几部分的介绍中可以看出，爱丁顿的头脑中充满着惊人的智慧，他是现代天文学理论与天体物理学的奠基者之一，也是爱因斯坦广义相对论的支持者与推广者。他重视理论的研究，同时也重视实践的探索；他领导英国科学观测组成功地对 1919 年的日全食进行了观测，从而证实了爱因斯坦广义相对论的正确性。在爱丁顿的科学研究过程中，充满了艰辛、曲折，但他都以非凡的自信心克服了这些困难，从而在科学领域内取得了非凡的成就。

当然，爱丁顿的科学研究也存在着一些不足或不全面的地方。但我们应该明白，限于当时整体的科学发展水平以及研究条件的不充分，在爱丁顿的研究中有这样或那样的瑕疵也就不足为奇了。更主要的是，在爱丁顿的身后，在他工作的影响下，有着更多的科学工作者继承发展了天体物理学理论，为人类文明的发展做出了新的贡献。这也正是爱丁顿所希望的。

