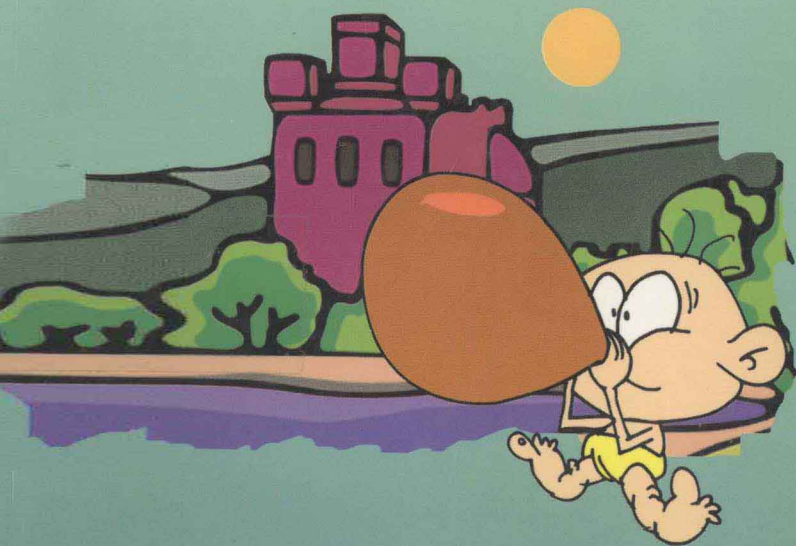


中华 学生科学探索丛书

天体

主编 / 纪容起

新天地



内蒙古人民出版社

天体新天地

纪荣起 张平 主编

内蒙古人民出版社

编委会

主 编

纪荣起 张平

编 委

苟 妮 李 响 宁 霞 李 荣

周文国 李改肖 谢 燕 苗柳美

韩 伟 曹树光 刘 军 袁海燕

刘 程 刘建光 窦世涵 张 燕

徐 静 刘 涵 龚 然 展 招

邢石鹃 季珍明 孟 亮 刘国安



目 录

太阳中微子疑难	(1)
耀斑的发现	(8)
太阳元素有哪些	(23)
太阳风	(25)
神秘的金星	(43)
木星大红斑	(57)
天王星的发现	(66)
海王星的发现	(71)
最遥远的冥王星	(77)
美丽动人的土星光环	(82)
探索火星	(91)
泰坦星	(98)
恒星家族划分	(106)



学生科学探索丛书

恒星运动的发现	(110)
变星的发现	(114)
新星的发现	(118)
天狼星伴星的发现	(122)
星云的发现	(128)
脉冲星的发现	(133)
蟹状星云的发现	(141)
暗星云的发现	(146)
行星状星云的发现	(149)
主序星:恒星的壮年	(154)
白矮星	(161)
超新星	(170)
黑洞	(186)
恒星的寿命	(193)
恒星的死亡	(197)
观测太阳系	(200)



太阳中微子疑难

众所周知,中微子是很不一般的基本粒子,起先人们对它毫无所知。20世纪30年代,物理学家在研究原子核 ρ 衰变时,发现有一部分能量“失踪”了。1931年,泡里勇敢地提出可能有一种神秘的粒子把一部分能量带走了,它就是后来被称为的中微子。它不带电,没有静止质量,以光速运动,这一点像光子,但自旋为 $1/2$,这一点又像电子。1956年,美国两位物理学家柯恩(C. L. Cowan)和莱因斯从实验中证实了中微子的存在。已经77岁的莱因斯与另一位发现 τ 轻子的珀尔分享1995年诺贝尔物理学奖。

然而时至今日,人们对于中微子仍有若干问题没有弄清楚,这些问题将涉及到某些重要方面。人们研究太阳时所暴露出来的关于中微子问题尤为



明显。

一、标准太阳模型

太阳不断地向广袤的宇宙空间释放巨大的能量;地球得到的太阳能仅为其中的 22 亿分之一。据实验测量,在这一部分能量中,约 31% 被云层、地面和大气反射掉;约 33% 转化为长波热辐射,又辐射到太空去;约 30% 用于蒸发海水和陆地表面的水分,形成水的循环;约 5% 被植物吸收。煤和石油就是古代贮存下来的太阳能。由此可见,太阳只要赐给地球这么一点能量,就使地球成为生气盎然的世界了。

太阳的能量是如何产生的呢?为了揭开这个奥秘,天文学家和物理学家们相继提出了化学能或引力能的转化假说等,但都不能解释太阳为什么能够长年累月稳定地提供如此巨大的能量。现在这个问题已初步解决,并取得共识。太阳能就是氢核(p)聚变为氦核(4He)的时候,释放出的聚变能。氢核的质量是 1.007825 原子质量单位,氦核的质量是 4.002603 原子质量单位。4 个氢核聚变为 1 个氦核后,质量亏损了 0.0287 原子质量单位。根据著名的爱因斯坦算出 1 克氢聚变后能产生 6.5×10^{11} 焦(或 1577 亿



卡)的能量。假设太阳中有 $1/10$ 质量的氢发生聚变,根据目前太阳的总光度,可知每秒约有 400 多万吨的太阳物质转化为能量。这样就可估算太阳能稳定放出光和热的时间大约为 100 亿年。太阳现在的年龄约 46 亿年,这说明可供燃烧的氢大约已消耗了一半。

按通常的理解,氢气的温度必须达到 1000 开,氢核热运动的平均动能才能克服它们之间的库仑势垒,使它们接近到核力的作用范围,氢核才能发生聚变。另一方面,设想太阳是一个在自引力作用下的均匀理想气体球,从已知的太阳质量和半径容易估计出太阳中心温度约为 1500 万开,比能够越过库仑势垒的温度小 3 个数量级。这样岂不是在太阳内部不可能实现核聚变反应吗?伽莫夫应用量子力学中的隧道效应摆脱了这个困境。原来太阳物质是处于非简并态的气体,作热运动的粒子什么速度都有,只是应遵守麦克斯韦速度分布律,即粒子数随速度增加作指数式的减少。若按经典力学,速度小的核不能穿透势垒。但按量子力学的观点,还是有一定的几率可穿透过去,这叫做隧道效应,其穿透几率随着粒子速度减小作指数式的减小。将这两种因素结合



起来可知,速度很大的核虽然容易穿透势垒,但由于数目太少,对核反应率贡献非常小。速度太小的核,由于穿透势垒的几率太小,对核反应率也没有什么贡献。只有适中的速度,并在该速度附近的小范围内的核对核反应率才作出贡献,并且该适中的速度贡献最大,显示出一尖锐的峰,被称为伽莫夫峰。以上就是伽莫夫所奠定的热核反应的理论基础。后来,美国物理学家贝特建立了一个具体的、令人信服的太阳模型,现在人们称它为太阳标准模型。贝特的理论经过 29 年的考验后,于 1967 年荣获诺贝尔物理学奖金。现在人们深信,在太阳内部进行着两种类型的聚变反应:一是质子—质子(PP)反应,直接通过质子之间的相互碰撞实现聚变;二是碳、氮、氧(CNO)循环, ^{12}C 起着催化剂作用。美国天体物理学家巴柯尔等 20 多位科学家花了 20 多年的时间研究了两种类型核反应的全过程:

由此可见,在太阳产能过程中,诡秘的中微子是一种副产品。中微子不会被太阳物质吸收,因而它的能量不会转变成太阳的热能。这份能量大约占释放能量的 2%,即每聚变一个氦核,要带走 0.59MeV 能量。在计算太阳能时,应把它扣除掉,于是只有



26.14MeV 的能量使太阳发光。在反应产物中,还有正电子,它的寿命极短,瞬间就与电子湮灭了,释放出能量至少与两个电子的静止质量相当的两个光子。

研究表明温度只要达到 400 万开,便可发生 PP 反应,温度达到 1200 万开才发生 CNO 循环。不过,发生聚变反应不等于核“燃烧”起来,因为温度高不到一定的程度,可能会熄火。只有当氢燃烧释放的能量刚好与以各种方式散逸的能量相平衡时,核聚变才能持续下去。满足这个条件的温度被称为点火温度。PP 反应的点火温度为 1000 ~ 3000 万开。太阳中心温度有 1560 万开,太阳表面温度只有约 6000 开,温度是由中心往外逐渐降低的。因此,只有在中心附近的一个不大的区域里才能进行热核反应。在这样的条件下,太阳能的 98% 是由 PP 反应提供的,CNO 循环只占 2%。

二、太阳中微子失踪案

人们怎样检验太阳标准模型呢? 这只能靠观测分析从太阳发出的光子和中微子。但是太阳的热核反应“炉”是深深地埋在太阳的核心区域,其周围被



大量不透明的物质包围着。一个光子诞生后,要经过几千年才发射出来,所以它不能反映太阳内部的情况。然而中微子则大不相同,因为它和物质的相互作用极其微弱,所有的物质对它来说几乎都是透明的,以致于它可以穿透一光年厚的岩石而没有明显的衰减。因而中微子诞生后可以毫不费力地穿透太阳而跑到太空中来,如入无人之境,而且只需 8 分多就能到达地球。如果人们观测中微子也像观测光子那样方便的话,那么太阳内部的情况就一览无遗了。

然而正是由于中微子和物质作用极其微弱,所以捕捉探测中微子是极为困难的事。1946 年,意大利物理学家庞特科尔沃提出了一种测量中微子的方法。其依据的原理是:氯 37 通过弱作用吸收一个高能中微子变成氩 37,同时发射一个电子,该反应阈能为 0.81MeV 。 ^{37}Ar 在 35 天半衰期中捕获 K 电子又成为 Cl,并放出 2.8KeV 的 X 射线,因此很容易被发现。在太阳中微子场中的³⁷Cl 大约经过几倍半衰期时间,³⁷Cl 和 ^{37}Ar 达到平衡。1956 年,美国物理学家戴维斯(R. Davis)根据阿尔瓦雷兹的方案率先进行了尝试,直到 1968 年才取得不容忽视的进展。那一



年,他把 610 吨纯四氯乙烯(C_2Cl_4)注入一个直径 6 米、长 15 米的大筒内,并把它安置在南达科他州霍姆斯塔克的一个 1.5 千米深的金矿矿洞中。上面厚厚的岩层可将宇宙线中的所有其它粒子都屏蔽掉,只有太阳中微子射进来。从 1970 ~ 1988 年,他们每周只探测到 3 ~ 4 个中微子,折合 $2.18 \pm 0.25 \text{SNU}$,只理论值 $7.9 \pm 2.6 \text{SNU}$ 的 $1/4 \sim 1/3$,而其余的中微子却杳如黄鹤不知去向。如果人们接受令人信服的太阳标准模型的话,那么,太阳中微子的失踪案已困扰着人类达 $1/4$ 世纪之久。它和另外两个问题:太阳磁场的产生机制和演化、日震的形成和演化,构成了太阳物理中的三大悬案。而后两者已初露端倪,唯有太阳中微子的失踪是最难解之谜。



耀斑的发现

我们已经知道平均每隔 11 年左右,太阳的变化有一次高峰,即黑子相对数达到极大值,这时发生在



太阳耀斑

太阳大气中的一些其它活动,如光斑、谱斑、耀斑、日珥也达到极盛时期,而耀斑则是最强烈的太阳活动,对周围的影响也最大。



一、什么是耀斑

用单色光观测色球层会发现有一块块云朵状的亮区,被称为谱斑。用 II 谱线和用 Ca 谱线观测到的谱斑并不相同。Ca 谱斑的结构和光斑很相似,所以有人认为 Ca 谱斑是光斑在色球层中的延伸。然而 II 谱斑的结构和光斑就有明显的差异,当 II 谱斑的面积突然增大,光度突然增亮时,意味那里正在发生剧烈的爆发,被称为耀斑(耀眼的斑点)。最早发现耀斑是在 1859 年,那是英国的卡林顿和霍德逊分别观测到的。他们发现在一大群黑子附近有一大片新月形的明亮闪光,以每秒 100 千米的速度掠过黑子,然后很快消失。后来才认识到这是一次特大的耀斑,而且是白光耀斑。因为一般的耀斑只能通过某些谱线(如 II)才能看到,而那次用白光就可观测到,所以称为白光耀斑。罕见的白光耀斑是非常珍贵的事件,自 1859 至 1991 年,只报道过 60 次。白光耀斑的空间尺度很小,平均只有十几角秒,持续时间很短(几分钟),释放的能量比普通耀斑大,现有的理论仍不能清楚地解释关于它们的观测事实。

用太阳光单色仪观测一般的耀斑将会看到,有



的像猛烈的火山喷发,有的在太阳边缘突然冒出巨大扭曲的拱桥状日珥,增亮区内的物质在猛烈沸腾着,气势极为壮观。耀斑按它的光面积大小分为4级,由1级到4级逐渐增强。一个3级耀斑的光面积大约为地球表面积的50倍,地球上没有任何一种自然现象的规模能与其相比。

耀斑的最大特点是:来势凶猛,其亮度上升很快,下降直至消失却较慢。一般说来,耀斑面积越大,其寿命越长。小耀斑的寿命只有几分至十几分钟,大耀斑可持续几十分钟至1~2小时。在此期间,大量的能量(10^{22} 焦~ 10^{26} 焦)从相当小的体积内释放出来。一个特大的耀斑释放的总能量相当于100亿颗百万吨级氢弹爆炸释放能量的总和,如果把这些能量分配给地球上的人,那么每个人可得到2颗百万吨氢弹的能量。可见耀斑爆发是一场惊天动地的爆炸,不过和太阳输出的总能量相比仍是微不足道的。

由于耀斑是发生在从色球层到日冕(很可能是低日冕)的过渡区中大规模的爆发现象,并引起局部区域等离子体瞬时加热,从而把数十亿吨物质在几秒钟内加速到每秒4~5百千米的速度。由于高能



带电粒子的加速,因而产生从 X 射线、光学乃至射电波段的辐射。特别是其中的紫外线、X 射线的辐射通量比宁静时大几个数量级,虽然这些高能部分只占整个太阳电磁辐射的 1%,这时太阳在高频波段上表现为一颗激烈骚动的星。除此之外,太阳发生耀斑时,还会喷出大量的高能粒子流(主要成分是质子,也有重核离子),即太阳宇宙线通量也同样增大好几个数量级。

二、耀斑对地球的影响

虽然太阳耀斑是发生在太阳上的最为强烈的活动现象,但也只能算作在宁静太阳色球层上发生了一些涟漪,这些微小的扰动一般来说对人类的生活不会产生很大的影响。因为地球上的生灵有着大气层(特别是其中的臭氧层和电离层)和磁层的双重保护,所以可免遭伤害。但在某些场合下则必须考虑耀斑对日地空间和地球物理造成重大的影响。

正如上述,太阳发生耀斑时,发出许多辐射和粒子,其中 X 光和紫外光只需 8 分钟就会到达地球。这时地球高层大气中太阳紫外线与 X 射线的强度突然增大几十甚至几百倍,特别是其中波长为 $1 \sim 10$



埃的 X 射线会使低电离层(D 层)进一步电离,电子密度增大,使其对短波、超短波的无线电信号的吸收增强,导致下行的无线电波突然变弱,甚至中断,从而造成通信系统、导航系统失灵,卫星图像和数据不能传到地面站等事故。

来自耀斑区的高能粒子流(主要是质子)需几小时后到达地球。由于高能带电粒子有很强的穿透力,难于屏蔽,因而会威胁到航天器舱内的人员和仪器的安全。例如单粒子事件就是引起卫星故障的主要原因之一。所谓单粒子事件是指高能粒子单次轰击在半导体器件上所引起的故障,产生假信号,造成“软”错误,也能引起绝缘被击穿或器件烧毁等“硬”错误。我国风云气象卫星就是因为出现单粒子事件,使卫星失去控制的。

更大量的慢速粒子流则需 1~3 天才能到达地球,冲击地球的磁层,并把它压缩,使地磁场发生扰动。扰动大的叫做磁暴。磁暴按地磁场强度随时间变化的方式分为两种:一种是磁场强度急剧上升,强度大,时间短的急始型磁暴,另一种是缓始型磁暴。大的急始型磁暴会使科学家们目瞪口呆,这时会严重影响航海和地球物理探矿的正常进行。1989 年 3