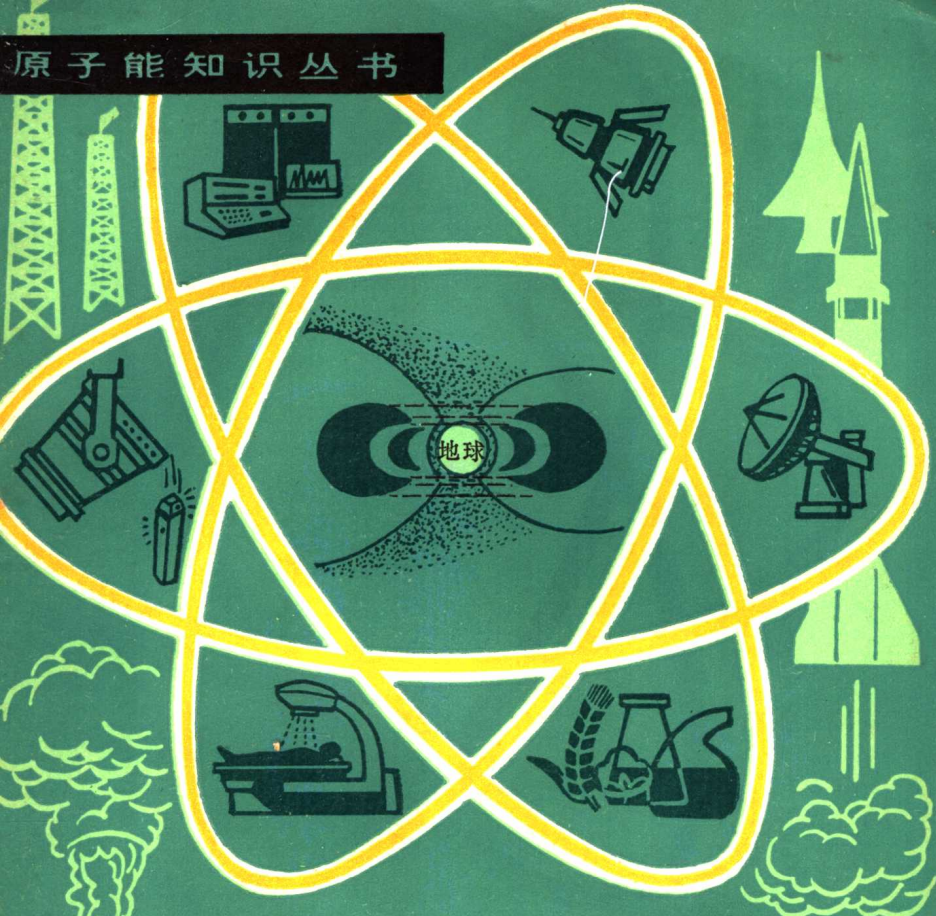


原子能知识丛书



空间辐射



原子能知识丛书

空间辐射

〔美〕威廉·R·科利斯 著

傅惠敏 译

原子能出版社

人间喜剧！

〔美〕威德·R·利利斯 著

加惠敏 译

原于池出版社出版

（北京2108信箱）

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $1^{7/8}$ ·字数 39 千字

1979年12月北京第一版·1979年12月张家口第一次印刷

印数001—7,000册·定价：0.22 元

统一书号：15175·197

出 版 说 明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书（Understanding the atom series）。这套丛书取材广泛、内容丰富、语言生动、深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

随着科学技术的急速发展，书中引用的有些材料已经过时。但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

一、行星际气候的主宰·····	(1)
二、地球的温暖舒适的避风港·····	(3)
三、空间辐射的主要探测仪器·····	(10)
四、罗盘磁针抖动的外来因素·····	(14)
五、高度的重要性·····	(29)
六、巨大的磁陷阱·····	(36)
七、在巨大的辐射带外面·····	(45)
八、宇宙旅行安全吗? ·····	(49)

一、行星际气候的主宰

在您的一生中，全身从头到脚，时时刻刻都在受到许多微小粒子的穿透。这些亚原子粒子，你看不见、听不到、也感觉不着，但是它们象肉眼看不见的绵绵细雨一样冲淋着整个地球表面。总而言之，这些具有穿透力的粒子被称为“宇宙射线”，它们来自遥远的星球，其中有些宇宙射线在地球形成之前已开始了它们的旅程。这是第一种类型的空间辐射。

第二种空间辐射只有宇宙航行者驾驶的座舱穿过巨大的电子和质子带时才能遇到，这些巨大的电子和质子带是由地球的磁场俘获的。第二种空间辐射以首次发现者詹姆斯·爱·范艾伦命名。范艾伦带笼罩住地球，只有当它们在地球极区的大气层“堆积”，因而激起极光照亮冬天的天空时候，人们才能发现范艾伦带的存在。

从不载人卫星和宇宙探测火箭送回到地面的无线电信号告诉我们还有第三种空间辐射——太阳等离子体。只有当携带仪器的宇宙飞行器（后来发展为载人的宇宙飞行器）穿过看不见的、笼罩全球的、水滴形状的屏障时，太阳等离子体才能被直接探测到。这个屏障被叫做磁层。穿过了这个防护层，便是广阔的行星际海洋。行星际海上刮着稳定的太阳风，并且频繁地遭到太阳表面扰动区喷出的巨大等离子体*火舌的冲击。我们怎样了解这个天上的海呢？又怎样能穿过这些风暴而到达其它行星呢？

* 等离子体是正负离子的混合物，电性呈中性。

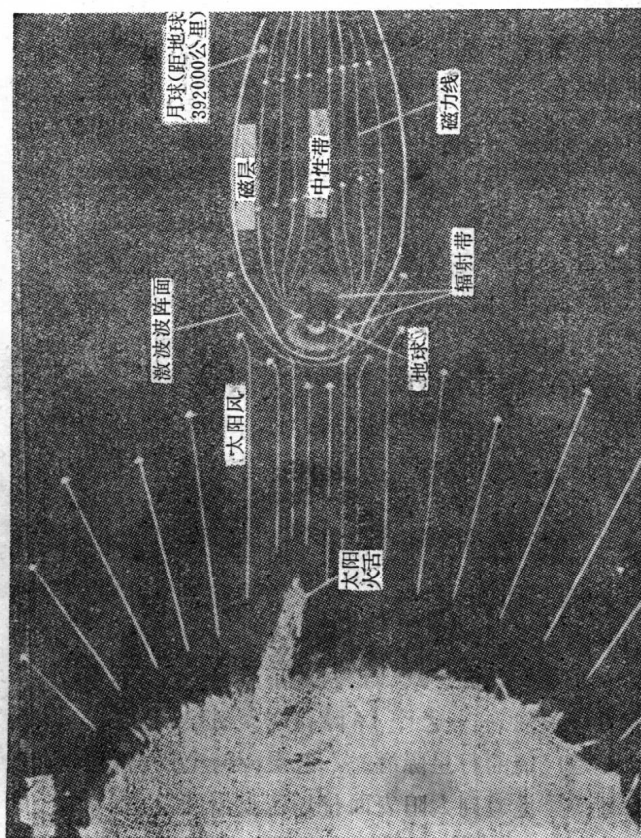


图1 太阳是外层空间“气候的主宰”，当太阳色球爆发时产生太阳等离子体火舌和宇宙射线。太阳炽热大气层形成稳定的“太阳风”（微粒辐射），从恒星来的银河系宇宙射线均匀地从四面八方到达地球（图上的距离未按比例）

由于空间辐射是不可见的，所以长时期以来没有引起人们的注意。当人们发现厚厚的大气层长时期地屏蔽行星际气候的秘密时，才十分惊讶地注意到宇宙射线、范艾伦带和太阳等离子体的存在。现在寻找这三种引人东西的踪迹，象南极探险或探测海底秘密一样，具有科学上的诱惑力。

二、地球的温暖舒适的避风港

一枚燃料几乎要消耗完的深空间火箭在穿过地球的磁层，进入行星际空间时，就好象离开了一个温暖舒适的避风港，到广阔的大海里去冒险一样。“海”这个名词使我们想起稳定的信风，波涛汹涌的巨浪，变化无常的海流和风暴。这种比拟很恰当，星际空间正是这样。在地球表面，我们仅能发现从大气层、电离层和地球磁场这三个保护地球的“防波堤”那里泄漏进来的一点儿蛛丝马迹（图1）。

大气层

大气层是最里面的防护层，它对电磁辐射和微粒辐射的屏蔽最有效。我们头上的大气层，就重量来说，相当于10公尺左右深的水层。大部分空气紧靠地面。根据简便的经验法则知道，每升高16公里，空气密度降为原来的十分之一，上升到100公里高度，空气密度仅是海平面处的百万分之一（ 10^{-6} ）。厚厚的大气层底部，屏蔽效果最好，因为进入大气层的光子*和带电粒子大部分同氮分子和氧分子碰撞，无

* 光子是电磁能量的一个量子或者一个单位，它没有质量，也没有电荷，但它有有效的动量。相反，带电粒子是物质的微小结构，质量可以测量到。

法到达地面。这个事实很容易在国立约塞米蒂公园(Yosemite National Park) 2750 公尺高的山地上的实验得到证明, 那里的仪器指示出, 该高度上的宇宙射线常常比海平面处的宇宙射线强二倍。

带电粒子或者带能量的光子进入高空大气层时, 有三种情况可能发生。它们与空气分子碰撞, 改变其入射方向, 在此过程中空气分子会吸收一部分能量。这个过程称为散射。如果散射发生足够多次时, 外空间来的带电粒子最终会耗掉它的大部分能量, 并永久地滞留在大气层里。同大气层碰撞的低能粒子大多是这个命运。它们在碰撞中失去的动能通常变为闪烁在大气层上部的可见光。例如美丽的极光和难以见到的大气辉光*, 便是由于地球大气层外部辐射激发空气的分子和原子而产生的。

能量稍高一些的带电粒子不是被大气中原子核散射, 而是被它们所吸收。宇宙射线中某些粒子流能量如此之大, 以致于把氮原子核和氧原子核轰击分裂为许多亚原子碎片。这些碎片又继续轰击分裂自己的原子。这样, 带有高能量的初级宇宙射线产生一连串次级宇宙射线的簇射或雪崩(图2)。

从太阳和其它恒星来的光子, 同样也会被大气层中的分子吸收和散射。我们非常熟悉的蔚蓝色天空, 就是上层大气中的原子散射太阳发射来的蓝光而显现的。太阳光子中大部分可见光能到达地球表面, 但许多短波长光子和长波长光子却不能到达地球表面。因为比可见光波长还长的红外光子在

* 大气辉光是在高空大气中发生的光, 并且与太阳辐射引起的气体光化学反应有关。

宇宙射线簇射

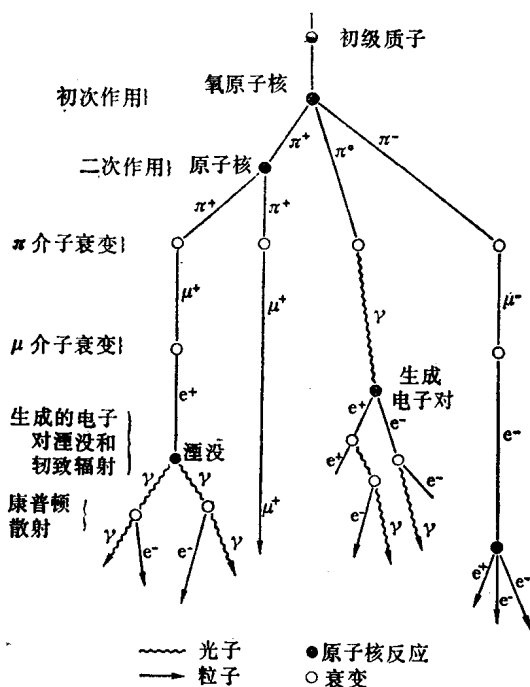


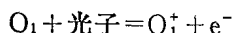
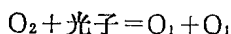
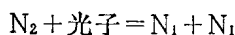
图2 宇宙射线簇射图

高能初级粒子（质子）和氧原子核作用。这强烈的碰撞产生许多次级粒子，包括高能介子、超子、反粒子和核碎片。次级粒子再发生碰撞，产生新的介子和核子。还有次级粒子衰变、生成电子对（电子和正电子）、正电子湮没或产生 γ 光子，光子可以再生成新的电子对。最后由于散射、电离和光电效应，光子和电子将其能量消耗在大气中。这样，如图所示的一个单粒子事件能在百万分之几秒的时间内产生几百万个新粒子。

上层大气中很快地被大气分子，尤其是水蒸气吸收掉。一些

短波长的紫外光子同氧分子 (O_2) 和氮分子 (N_2) 碰撞并被吸收掉。光子的能量可以使双原子分子离解或裂解, 也可以使单原子电离。

例如:



大气层总的作用是保护地球免受宇宙来的电磁辐射影响, 但是某些特定波长的电磁波可以通过大气层的“窗口”——光子在电离、离解和其它过程中不被吸收的电磁波频率范围——进入地球表面 (图 3)。

很幸运, 从太阳来的紫外光在它们到达地面之前被阻挡住了, 否则这些没有被过滤过的太阳紫外光会把地球上大部

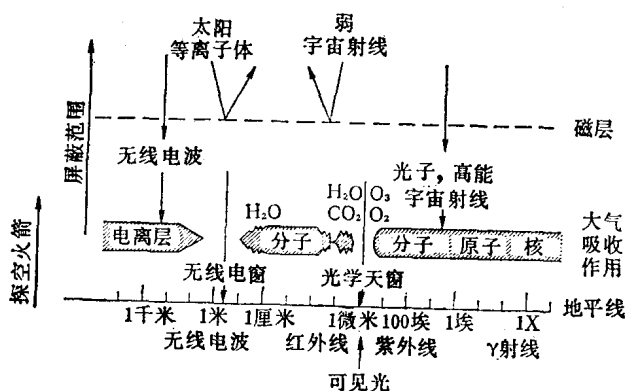


图 3 大部分宇宙射线被地球的三个屏蔽层——大气层、电离层和磁层吸收或反射; 电磁波通过大气层的“窗口”到达地球表面; 地磁场屏蔽了大部分辐射粒子

分生命杀死。为此，对宇宙航员免受紫外光流影响的防护，必须象屏蔽外空间中的高度真空一样小心。

电离层

被挡在大气层上面的短波长辐射建立了地球的第二道防波堤。氧原子和氮原子电离的结果，在56—320公里高度的空间里形成独立的自由电子层，它象镜子一样对低于二千万赫兹的低频无线电信号起反射作用。这一层叫做电离层（图4）。当无线电波从地面或者外空间穿过电离层时，由于自由电子改变了它的波阵面速度，因而发生折射，离开了原来的传播方向。自由电子越多，电波频率越低，那么电波被折射得越厉害，有的甚至从入射方向反射回来。如果没有电离

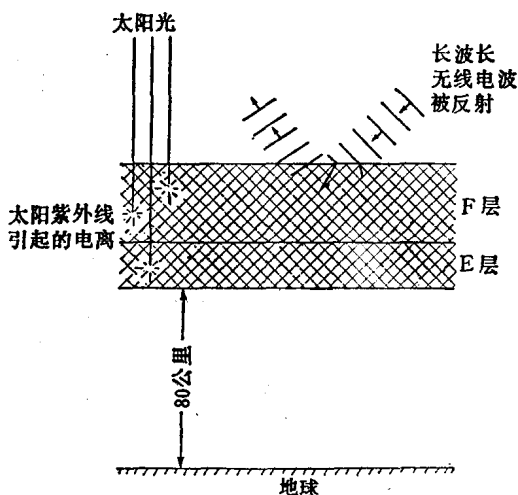


图4 短波长的太阳光子在大气层中电离氧和氮时形成电离层。长波长的无线电波通过由这些自由电子组成的电离层时，得到加速，结果使波阵面离开原来的方向，产生反射

层的反射作用，我们就无法使每秒低于20兆周，即20兆赫（20MHz*）以下的无线电信号作长距离传播。

虽然电离层能反射深空间来的低于20兆赫的无线电波，在这个意义上讲，它起了保护层的作用，但是我们甚至不需要这种防护层。电离层虽然无害，但对无线电天文学家来说却特别讨厌，因为电离层屏蔽了从行星和星系中来的所有吸引人的低频无线电波，使无线电天文学家无法收到它们。这样我们观察宇宙的“窗口”变窄了。因此，电离层被看作为地球的又一绝缘防护层。

磁层

第三道，也是最后一道防护层是地球磁场。地球磁场没有象电离层中的自由电子，或者大气层中的物质那样的东西，它却把地球和行星际膨胀的奇观和声音隔绝开来。地球磁场来源于我们地球的岩石地幔，大概是由于巨大的地下电流的电动机作用产生的，它延伸到数千公里以外的空间中。外磁场可以用设想的磁力线，即从地球磁极的一端引出，沿着地球周围的曲线，进入地球磁极的另一端来描绘（图5）。进入空间时代以前，外磁场被形象化为插入地球内的磁棒产生的。这个磁棒与地球的自转轴偏斜 11° 。磁场被假设为对称地围绕着磁棒，并延伸到很远的地方。本文后面几节将告诉我们，人造卫星得到的数据将会对这些理想化的叙述作出重大的修正。

图5所示的理想化的偶极磁场与事实很接近，它可以逼真地解释下面叙述的磁屏蔽的情况。了解磁屏蔽的关键是认

* 1 “MHz”：一兆赫，即每秒一兆周，或每秒钟一百万周。每秒一周叫一赫，以发现电磁波的德国物理学家H.R.赫兹而得名。

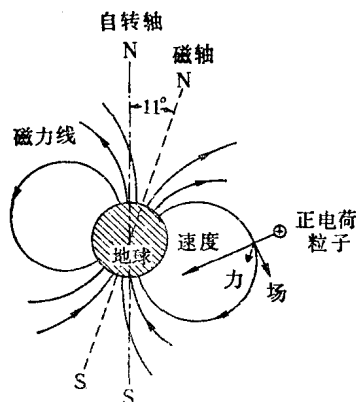


图5 地球磁场同地球自转轴倾斜 11° ，精确的位置随时间而变化。如图所示，入射带电粒子被迫离开直线轨道

识到带电粒子轨迹被偏转到垂直于磁场及粒子运动的方向。
偏转力 F 由简单的方程给出：

$$F = qV B \cos(\mathbf{V}, \mathbf{B})$$

其中 q = 电荷，单位为库仑*；

V = 粒子速度，单位为米/秒；

B = 磁场强度，单位为韦伯/米²**；

$\cos(\mathbf{V}, \mathbf{B})$ = 粒子速度方向和磁场方向之间的夹角余弦值。

得到的力垂直于 V 和 B 。

从宇宙来的带电粒子，如果对准赤道接近地球的话，那么它将会被反射回去。与此相反，如果带电粒子沿着地球磁

* 库仑是电荷单位，以法国物理学家C.A.库仑命名。

** 韦伯是磁通量单位，以德国物理学家W.E.韦伯命名。

轴的平行方向,那么它的运动方向一点儿也不会改变。因此,地球被包围在磁屏蔽圈内,这个磁屏蔽圈在两极开有窗口,在赤道处则屏蔽最厉害。由于微弱的(却是有害的)带电粒子很容易被磁力线改变方向,因此太阳风(又称为微粒辐射)无法到达地球高空大气层。然而,对于高能原始宇宙射线,地磁场则对它无可奈何。

前面讲的,仅作为文章的开场白。在本世纪初,如果你在一个科学会议上提出“地球处在宇宙射线强烈轰击之下”时,将会引起哄堂大笑。因为在一九〇〇年,就象地球受到三道防护层屏蔽,“隔绝”了各种各样的宇宙辐射的情况那样,科学也受到了“隔绝”。科学家们深信:宇宙射线既没有,也不会存在。然而,一些罕见而模糊的线索打破了这种局面,使得一些科学家情不自禁地到山顶、湖底和同温层去追踪搜捕。

三、空间辐射的主要探测仪器

微粒宇宙辐射的绝大部分由高速电子、质子和 α 粒子组成, α 粒子是剥去电子的氦原子。每一百个原始宇宙射线粒子中,大概有两个比氦原子还重的剥去电子的原子核。范艾伦带和太阳等离子体几乎都由电子和质子组成。

实验上的问题是如何测量这个辐射每个成分的数量、速度和运动方向。用技术术语来说,我们希望知道射线通量(单位时间每平方厘米通过的粒子数)同粒子的能量、运动方向及粒子种类的关系。

因为这些十分微小的粒子不可能直接观察到,所以我们

只能研究这些粒子经过物质时留下的残留物，这就象利用飓风的破坏路线来研究飓风一样。高速粒子经过后会留下离子的痕迹，每厘米径迹的离子数同粒子种类和速度有关。大多数辐射仪器的工作原理是依据这些分裂原子的短寿命分裂和复合现象。

原始的验电器（图 6）用来测量粒子通过它所产生的离子总和。当充填气体中的离子和电子分别向电性相反的两金箔漂移，箔片电荷中和，致使斥力减弱，最后落下。箔片落下的速度和验电器内产生离子的速度成正比。

现代的宇宙电离室也是用来测量电离室壁内的电离速度。在排球大小的电离室中，中央集电极和四周室壁代替了验电器金箔（见图 7）。电极和室壁吸收离子和电子时，电

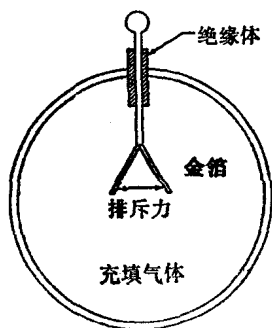


图 6 原始的金箔验电器。由于验电器自然放电，人们就发现了宇宙射线

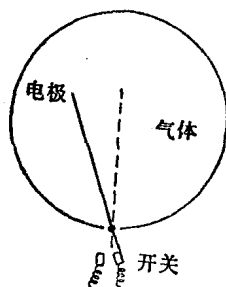


图 7 电离室

离室放电。当旋转的中央集电极徐徐偏转到它的放电位置时，断开把电流脉冲送到人造卫星上的遥测系统的开关，并对电离室重新充电。值得注意的是电离室本身不能显示出粒

子数、粒子能量、粒子方向和粒子种类。

在人造卫星上，电离室常和盖革-弥勒 (G-M) 计数管 (图8) 联用，测量周围电离粒子总数。我们把电离室设想成圆柱体形状。当一带电粒子在 G-M 管内留下一些电子和离子时，管子中央金属丝和管壁之间的电压，把电子加速到很高的速度，以致于与充填气体中的中性原子碰撞，使之电离。电离中性原子产生的次级电子继续与中性原子碰撞，引起更多的电离。这个过程继续下去，就出现了雪崩现象，一直到整个管子充满离子气体为止。单个粒子通过，使 G-M 管放电，产生一个电脉冲被送到人造卫星的遥测电路中。比较电离室中的总能量和周围的粒子数，便可得到粒子的平均能量。

闪烁晶体能给实验工作者提供更为精确一些的粒子能量估算值。每个粒子通过晶体时，例如通过用铯激活的碘化铯 $[CsI(Tl)]$ 晶体时，会留下电子和离子的痕迹。当这些离子和电子复合时，会发生闪烁光。闪烁光强度同粒子留在晶体内的能量成正比。闪烁光一般用与晶体连接的光电倍增管来测量。如果晶体厚得足以阻留入射粒子，那么闪烁光的强度与粒子能量成正比 (图 9)。

闪烁体和盖革-弥勒 (G-M) 计数管常常线性排列并

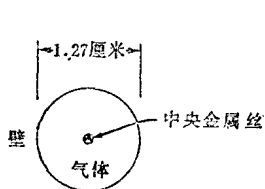


图 8 盖革-弥勒(G-M)计数管

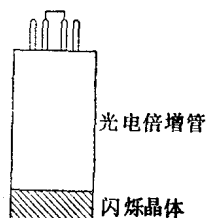


图 9 闪烁计数器管