

名 词 目 录

一 宇宙线和初级宇宙线

宇宙线 cosmic rays	1
初级宇宙线 primary cosmic rays	1
初级宇宙线成分 composition of primary cosmic rays	1
原初同位素成分 primary isotope composition	2
原初电子和正电子成分 primary electron and positron	3
原初反物质 primary anti-matter	3
宇宙 X 射线及 γ 射线 cosmic X-ray and γ -ray	3
初级谱 primary spectrum	3

二 宇宙线的起源和传播

宇宙线的起源 origin of cosmic ray	5
宇宙线的传播 cosmic ray propagation	5
加速机制 acceleration mechanism	6
宇宙线年龄 cosmic ray age	6
宇宙线能量密度 energy density of cosmic rays	7
空间宇宙线密度 density of cosmic rays in space	7
宇宙线各向同性 isotropy of cosmic rays	7
宇宙线各向异性 unisotropy of cosmic rays	7
宇宙 X 射线源 cosmic X-ray source	7
宇宙 γ 射线源 cosmic γ -ray source	8
2.7K 微波背景辐射 2.7K microwave background radiation ..	8
星际物质 interstellar matter	8
星际磁场 interstellar magnetic field	9
宇宙尘 cosmic dust	10
陨石 meteorite	10

三 近地空间的宇宙线

辐射带——范艾伦带 radiation belt——Van Allen belt	12
宇宙线调制 cosmic ray modulation	12

福布希下降 Forbush decrease	13
宇宙线层 cosmic ray ionosphere	13
地磁效应 geomagnetic effect.....	13
刚度 rigidity	13
截止刚度 cut-off rigidity	14
宇宙线赤道 cosmic ray equator	14
纬度效应 latitude effect.....	14
经度效应 longitude effect	15
东西不对称性 east-west asymmetry	15
方位不对称性 azimuthal asymmetry.....	15
气象效应 meteorological effect.....	15
气压效应 barometric effect	15
温度效应 temperature effect.....	16
宇宙线的强度变化 intensity variation of cosmic ray	16

四 次级宇宙线

次级宇宙线 secondary cosmic rays	17
强子成分 hadronic component	17
电子光子成分 electron-photon component.....	17
μ 子成分 muon component	17
中微子成分 neutrino component	18
次级宇宙线能谱 secondary cosmic ray spectrum.....	18
宇宙线流强的高度变化 cosmic ray flux in different altitude...	18
硬成分和软成分 hard component and soft component.....	18
天顶角分布 zenith angle distribution	19
μ 子正超 positive excess of muons.....	19
地下宇宙线 underground cosmic rays.....	19
等效水深 equivalent water depth.....	20

五 宇宙线与物质的相互作用

超高能核相互作用 super-high energy nuclear interaction	21
作用长度和吸收长度 interaction length and absorption length	21
多重数 multiplicity	21
非弹性系数 inelasticity	22
横向动量 transverse momentum	22
电磁相互作用 electromagnetic interaction	22
游离 ionization	22
δ 电子和击出电子 δ -electron and knock-on electron	23

荷电粒子的弹性散射	elastic scattering of charged particles	23
荷电粒子的射程	range of charged particles	23
轭致辐射	bremsstrahlung	24
辐射长度	radiation length	24
电子对产生	electron pair production	25
直接电子对产生	direct pair production	25
契伦科夫辐射	Cerenkov radiation	25
穿越辐射	transition radiation	26
逆康普顿散射	inverse Compton scattering	26
磁轭致辐射	magnetic bremsstrahlung	26
电磁级联簇射	electromagnetic cascade shower	26
级联簇射的近似计算	approximation of cascade shower	27
径迹长度	track length	27
簇射年龄	shower age	27
横向分布与结构函数	lateral distribution and structure function	28
核级联簇射	nuclear cascade shower	28

六 广延大气簇射

广延大气簇射	extensive air shower	29
大空气簇射	large air shower	29
心结构	core structure	29
簇射前沿	shower front	30
富 μ 簇射和贫 μ 簇射	μ -rich air shower and μ -poor air shower	30
大气簇射的契伦科夫光	Cerenkov light of EAS	30
大气簇射的荧光	scintillation light of EAS	30
水平空气簇射	horizontal air shower	31

七 宇宙线的探测

宇宙线探测器	cosmic ray detector	32
康普顿电离室	Compton ionization chamber	32
尼尔电离室	Neher ionization chamber	33
中子堆	neutron monitor	34
μ 子望远镜	muon telescope	35
云雾室(云室)	cloud chamber	35
核乳胶和乳胶叠	nuclear emulsion and emulsion stack	36
乳胶室	emulsion chamber	36

强子量能器	hadron calorimeter	36
μ 子谱仪	muon spectrograph	37
广延大气簇射阵列	extensive air shower array	37
空间荷电粒子探测器	spatial charged particle detector	37
空间X射线探测器	spatial X-ray detector	38
空间 γ 射线探测器	spatial γ -ray detector	38
科学气球	scientific balloon	38

一 宇宙线和初级宇宙线

宇宙线 cosmic rays

来自宇宙空间的高能射线称为宇宙线。人们早就发现一种难于屏蔽的射线能引起空气电离。1912年赫斯(Hess)用气球进行观测,发现这种电离强度随气球高度增加而增加,白天和夜晚这种电离强度并不改变,确定了这是一种来自宇宙空间的射线,故得名为“宇宙线”。宇宙线的主要成分是高能质子,部分 α 粒子和少量其它原子核。1962年罗西(Rossi)等发现天空中存在着X射线源。以后,人们将来自空间的X射线、 γ 射线(即用核探测器探测的射线)也称为宇宙线。

人们首先利用宇宙线进行高能物理研究。研究高能粒子的电磁相互作用,电子-光子级联簇射现象,在宇宙线中发现了正电子、 μ 子、 π 介子、 K 介子和超子。近年来还利用宇宙线进行 10^{15} 电子伏以上能区的超高能作用的研究。

1948年在原初宇宙线中发现了多种原子核成分。1958年用人造卫星又发现了辐射带。接着在1962年发现宇宙中存在着X射线源。促进了宇宙线起源研究的长足进展,宇宙线研究成为空间物理和天体物理研究的一个重要分支。

初级宇宙线 primary cosmic rays

在地球大气层外,尚未与大气发生作用的宇宙线称为初级宇宙线(又叫原初宇宙线或原初辐射)。初级宇宙线主要由裸原子核组成,其中 10^{10} 电子伏左右的氢核(质子)约占85%,氦核(α 粒子)14%,以及少量其它原子核。另外还有大约1%的电子、正电子。初级宇宙线的平均能量约为20亿电子伏,总通量约为 $1/\text{厘米}^2\cdot\text{秒}$,相应的能量密度约为1电子伏/厘米³。宇宙线粒子的强度随着能量增高而迅速减弱。太阳耀斑过程是较低能量(10^7 — 10^{10} 电子伏)宇宙线的重要来源。来自银河系的宇宙线具有较高的能量(10^{10} — 10^{16} 电子伏),其分布是各向同性的。极高能量($>10^{18}$ 电子伏)的宇宙线可能大部分起源于银河系外。

初级宇宙线成分 composition of primary cosmic rays

初级宇宙线是由各种原子核以及正负电子,中微子,X射线和 γ 射线组成的。在初级宇宙线中几乎发现了所有的原子核,甚至还发现了

$Z = 106$ 的超重元素。但是, $Z \geq 30$ 的原子核, 不仅含量极微, 而且确定电荷也很困难, 所以相对丰度的测量不准确。下表中仅给出 $E \geq 3$ 京电子伏/核氢核至铁核的相对丰度。

原子核	Z	宇宙线丰度	宇宙丰度 [*]
氢核	1	100	100
氦核	2	5.9	8.4
轻核	3—5	0.09	2.0×10^{-7}
中等核	6—9	0.37	0.15
重核	10—20	0.11	0.02
超重核	21—25	0.01	9.0×10^{-3}
铁核	26	0.02	3.6×10^{-3}

* 相对丰度以氢核为 100

从太阳的元素丰度, 地球、陨石的元素丰度以及对星光光谱的分析推算出宇宙的平均化学组成, 这称为宇宙丰度。把各种原子核的宇宙线丰度和宇宙丰度比较发现:

1. 两种相对丰度有相似的分布。氢和氦都是主要的成份。 $Z \geq 6$ 的核都呈现明显的偶奇性, 即偶数核丰度比奇数核多一个数量级左右。这表明宇宙线的成份和宇宙的演化密切相关。

2. 宇宙线中 Li, Be, B 的丰度比宇宙丰度高出几个数量级。从 Sc 核到 Fe 核则高出两个数量级。这说明原初宇宙线核在宇宙空间的输运过程中与星际物质(主要是质子)相碰撞使较重的原子核散裂成较轻的原子核。并推论宇宙线在宇宙空间中运动了几千万年后才来到地球上。所以, 宇宙线起源于太阳系外很远的地方。

3. 总的来看, $Z \geq 3$ 的重核丰度高于宇宙丰度。由于重元素是在恒星演化的过程中产生的, 所以, 宇宙线起源于恒星演化的晚期阶段, 如超新星爆发。对宇宙线成份的研究可以提供宇宙线起源和传播的线索。

原初同位素成分 primary isotope composition

初级宇宙线中所含的各种核素的同位素成分称为原初同位素成分。因为, 某种核素的各种不同同位素成分与这类核素在星体演化过程中形成时的各种条件, 以及它们在宇宙空间中传播的情况等有密切的关系, 因此, 分析原初同位素成分, 可以为宇宙线起源及宇宙线传

播等的研究提供重要的信息。

原初电子和正电子成分 primary electron and positron

初级宇宙线中含有少量的电子和正电子，称为原初电子和正电子成分。1 京电子伏 (1 京电子伏 = 10^9 电子伏) 电子和正电子成分的流强约为质子流强的百分之一。在这中间，正电子所占的份额相对比电子为低。例如，在能量高于 1 京电子伏的原初电子和正电子成分中，正电子仅约占 10% 左右。

原初反物质 primary anti-matter

是初级宇宙线中存在的反物质。例如，初级宇宙线中的正电子就是一类原初反物质。一九七九年六月，在一次带有磁谱仪的气球飞行中，美国科学家第一次观测到初级宇宙线中的反质子，测得反质子与质子流强比大约为 5×10^{-4} 。从而，在初级宇宙线中找到了除正电子以外的第二种原初反物质——反质子。至于其它原初反物质，迄今尚未观测到。

宇宙 X 射线及 γ 射线 cosmic X-ray and γ -ray

来自宇宙空间的高能电磁辐射，能量在 0.1—100 千电子伏 (波长约为 100 埃—0.1 埃) 范围称为宇宙 X 射线，能量大于 100 千电子伏称为宇宙 γ 射线。由于地球大气对这类辐射有强烈的吸收，因此，观测必须在探空火箭，高空气球或卫星上进行。对宇宙 X 射线 γ 射线的观测开展得较晚。自从 1962 年发现太阳系外 X 射线源以后，这种观测进展极快。从此，天文观测在电磁辐射从射电至 γ 射线所有波段上进行了，并且推动了天文学的迅速发展。

宇宙 X 射线和 γ 射线有三个来源：一、来自太阳，二、来自太阳系外，构成一个近于各向同性的弥散背景，三、来自一些发射 X 射线或 γ 射线特殊天体，即 X 射线源和 γ 射线源。

初级谱 primary spectrum

是指初级宇宙线的微分能谱，实际上就是初级质子的微分能谱。这种谱可以分段用幂函数来表示，即能量在 E 到 $E + dE$ 间隔内的初级质子数正比于 $E^{-r} dE$ ， r 称为谱指数。对于 10^{10} — 10^{14} 电子伏能区， $r \approx 2.6$ ； 10^{14} — 10^{18} 电子伏能区， $r \approx 3.2$ ； 10^{18} — 10^{20} 电子伏能区， r 的绝对值有变小的趋势；低于 10^9 电子伏能区，由于太阳磁场的调制作用，在地球附近测到的初级谱与银河系内星际空间的宇宙线能谱有较大的不同。总的说来宇宙线初级能谱很陡，随着能量升高宇宙线的流强迅

速减小。因此探测超高能宇宙线必须采用大面积探测器。例如，在大气顶层能量大于 10^{12} 电子伏宇宙线粒子流强约为 $1/\text{米}^2 \cdot \text{秒}$ ， 10^{14} 电子伏约为 $1/\text{米}^2 \cdot \text{小时}$ ， 10^{16} 电子伏约为 $3/\text{米}^2 \cdot \text{年}$ ， 10^{18} 电子伏只有 $1/\text{公里}^2 \cdot \text{天}$ ，大于 10^{20} 电子伏的宇宙线粒子非常少了，其流强仅有 $0.03/\text{公里}^2 \cdot \text{年}$ 。

二 宇宙线的起源和传播

宇宙线的起源 origin of cosmic ray

宇宙线的起源是高能天体物理学的重要研究课题，迄今还不能作出明确的回答。一般认为，大部分宇宙线起源于银河系内。普通恒星只能产生少量较低能量的宇宙线。超新星、超新星遗迹以及脉冲星等可能是重要的宇宙线源。其依据是初级宇宙线中重元素的相对丰度比较高。这表明宇宙线的起源与恒星晚期演化阶段的天体活动有关，因为恒星晚期演化才能生成较多的重元素。超新星正处在这样的演化阶段上。同时，从超新星遗迹的射电，可见光，X射线及 γ 射线观测表明，超新星遗迹正在不断地向外喷射高速运动的电子流。当然，喷射高速运动的质子流也不是不可能的。再说从银河系超新星爆发输出的平均功率来看也足以维持宇宙线密度所需要的能量损耗率，而普通恒星的输出功率要比它小得多。此外，超新星爆发之后还可以形成一个高速旋转的中子星——脉冲星，这种星体表面有极强的磁场使带电粒子加速而产生高能宇宙线粒子。但也有些理论认为大部分宇宙线起源于银河系外，因为河外星系中存在着很多射电星系、爆发星系以及类星体等高能天体。据分析，这些高能天体都是很强的宇宙线源。

关于大于 10^{18} 电子伏的极高能量的宇宙线起源问题更不清楚，由于这种极高能粒子受银河系磁场偏转较小，而测量到的这种极高能宇宙线粒子并不明显的集中指向银盘，故一般认为这种极高能宇宙线粒子多数起源于银河系外。不过也有人提出过这种粒子起源于银河系的模型。

宇宙线的传播 cosmic ray propagation

系指宇宙线从源到地球附近的传播过程。宇宙线荷电粒子在空间传播时，要受到运动的不规则星际磁场的影响，轨道会发生偏转，并产生对流，这种无规则的运动也称扩散运动。同时，荷电粒子又受到此磁场的加速，使较低能的荷电粒子获得很高的能量，从而产生宇宙线的加速“源”。荷电粒子与星际物质碰撞会损失能量或产生核反应，使宇宙线粒子的强度、成份及能谱发生变化。高能电子与星际物质（包括磁场）发生作用时，会产生韧致辐射和同步加速辐射，在与2.7K微波背景辐射的光子相互作用时，又会产生逆康普顿效应，从而形成从射电波直

到X射线, 仍至 γ 射线的多种电磁波。这也是宇宙 γ 、X射线的来源之一。由于星际物质相当杂乱, 与其关联的磁场又向各个方向运动。这样, 宇宙线在星际空间中被充分地混合, 因此, 宇宙线呈现出各向同性。另一方面, 星际物质及其相关的磁场由银盘向高处膨胀, 所以宇宙线也有可能偏离银盘而流动。最后逃逸的粒子, 一部分逃到银河系之外, 另一部分到达太阳系。

进入太阳系的宇宙线受到太阳的调制作用。太阳风在行星际空间造成高速运动的不规则磁场, 进入太阳系的宇宙线由于受到此磁场的散射, 使得较低能宇宙线的原子核数目减少。在太阳活动期, 宇宙线受调制的作用增大, 因此到达地球附近的宇宙线强度减少。对于每个原子核能量低于 2×10^{10} 电子伏的宇宙线, 其强度随太阳活动的强弱呈现出以11年为周期的变化。另外, 太阳耀斑爆发时又会引起宇宙线强度的短时间下降。

对于能量大于 10^{11} 电子伏的宇宙线的来源和传播, 至今仍不清楚。

加速机制 acceleration mechanism

宇宙线粒子获得能量的过程。弄清楚它的加速机制有助于对宇宙线加速“源”的研究。但是对于宇宙线粒子的加速机制至今尚未完全搞清楚。可能的加速过程有:

1. 等离子体湍动加速和费密加速

星际和行星际的等离子体波(湍动元)和宇宙线荷电粒子碰撞, 总是导致粒子平均能量的增加。当等离子体波的相速度大于粒子的热运动速度时, 只有少数的快粒子能得到加速。而当等离子体波的相速度小于粒子的热运动速度时, 大多数的粒子都能得到加速。统计平均而言, 宇宙线荷电粒子的等离子体湍动加速速率是很高的。

星际和行星际的稀薄的电离气体所带的运动的不均匀磁场与宇宙线荷电粒子相碰撞时, 如果迎头碰撞, 粒子被加速。要是追赶碰撞, 粒子被减速。统计平均的结果, 粒子的平均能量将系统增加, 这就是费密加速。对于电子, 还有受此磁场随时间变化的加速, 即电子感应加速。

从加速速率来看, 等离子体湍动的加速速率比费密加速的大, 所以等离子体湍动加速机制是主要的。

2. 其他的加速过程还有, 诸如爆发(如超新星爆发)过程中的冲击波加速和脉冲星表面旋转磁场所产生的低频电磁波的加速等。

宇宙线年龄 cosmic ray age

宇宙线粒子从产生(诞生)到消失(死亡)所经过的平均时间称为宇宙线的年龄。从初级宇宙线中的 Li、Be、B 各同位素的强度和放射性同位素 ^{10}B 强度的测量,可以估计出宇宙线的平均年龄约为 10^7 年。由此方法测得的宇宙线年龄可以解释星际物质与磁场分布的关系。

宇宙线能量密度 energy density of cosmic ray

宇宙空间每单位体积中所含宇宙线粒子的能量。例如,在地球附近,宇宙线能量密度约为 1 电子伏/厘米³,或 10^{-11} 尔格/厘米³。这个数值大致相当与星光、星际磁场以及运动星际云的平均能量密度。

空间宇宙线密度 density of cosmic rays in space

宇宙空间每单位体积中所含宇宙线粒子的数目。据 γ 射线天文观测资料推测,银河系空间宇宙线密度分布是不均匀的,一般说来离银核愈远,宇宙线密度愈低,银河系内平均值约为 2 个/厘米³。银河系外宇宙线密度目前尚不清楚。

宇宙线各向同性 isotropy of cosmic rays

在各个不同方向上初级宇宙线总强度较为接近的现象称为宇宙线各向同性。之所以会出现各向同性,是因为宇宙线粒子在长期传播过程中不断受到星际磁场偏转的缘故,因此传播距离长、能量又不高的宇宙线粒子会表现出各向同性,即除太阳宇宙线外,能量低于 10^{16} 电子伏的宇宙线都呈现为各向同性,能量高于 10^{16} 电子伏的宇宙线粒子受星际磁场偏转较小,到达地球方向与它的起源有关,因而显示出各向异性。

宇宙线各向异性 unisotropy of cosmic rays

在各个不同方向上初级宇宙线强度存在着差异,这种现象称为宇宙线各向异性。一般用各向异性度

$$\delta = \frac{i_{\max} - i_{\min}}{i_{\max} + i_{\min}}$$

来描述这种差异的大小,式中 $i_{\max}$ 为最大方向强度, $i_{\min}$ 为最小方向强度。对于能量低于 10^{16} 电子伏的初级宇宙线, δ 仅为 0.1—0.3%,因此可以认为是各向同性的。当能量 $\sim 10^{17}$ 电子伏时, $\delta \leq 1\%$; 能量 $\sim 10^{19}$ 电子伏时, $\delta \leq 30\%$ 。由此可见, δ 随初能量增大而增大。

宇宙 X 射线源 cosmic X-ray source

有一类天体,它们主要是靠发射 X 射线来辐射自己的能量。这类

天体就成了X射线源。迄今发现的上千个宇宙X射线源,大体上可以分为两类。一类是分立的宇宙X射线源,包括银河系内的X射线星和河外星系中的某些射电星系、赛福特星系等。在已观测到的河内X射线星中,又包括X射线双星、单星X射线脉冲星、X射线爆发源以及暂现X射线源等;另一类是延伸的X射线源,包括银河系内的超新星遗迹以及河外星系中的某些星系团。

宇宙 γ 射线源 cosmic γ -ray source

这是指以发射 γ 射线为主的一类天体,包括分立 γ 射线源和弥漫 γ 射线源二类。迄今所观测到的数十个分立源中,有银河系内的 γ 射线星、 γ 射线脉冲星以及河外星系中的某些类星体(如3C273)和某些赛福特星系(如NGC4151)等。1973年以来,还发现了宇宙 γ 射线暴,这是一种在宇宙空间中突然爆发 γ 射线现象,爆发机制至今尚不清楚。

2.7K微波背景辐射 2.7 K microwave background radiation

宇宙空间充满着一种各向同性的微波辐射,其频谱相当于2.7K黑体辐射谱,故称为2.7K微波背景辐射。这类背景辐射的来由,至今还没有完全搞清楚,有些人认为,它们是大爆炸宇宙学的必然产物。微波背景辐射的存在,会使极高能宇宙线粒子在星系际空间传播时,因与这类光子作用而损失能量。另外,由于高能宇宙线粒子与微波背景辐射光子的逆康普顿散射,可能产生宇宙弥漫X射线背景及 γ 射线背景。

背景辐射的光子密度约为400个/厘米³。仔细测量表明,地球上看到的背景辐射并不是完全各向同性的。在对着狮子座轩辕14的方向最强,比反方向高出0.3%。由这种各向异性,可以推断出银河系相对于背景辐射有600公里/秒的运动。

星际物质 interstellar matter

星际物质是指分布在星际空间中的气体,尘埃,宇宙线和磁场。

在银河系,星际气体和尘埃主要聚集在银道面附近大约200秒差距的范围以内。平均密度为0.5—1氢原子/厘米³。它们的分布很不均匀,主要集中在银河旋臂内年轻的恒星周围。即使在旋臂内密度也不均匀。密度为10—10³氢原子/厘米³的高密度区叫做星际云。星际气体和尘埃的总质量为银河系的1/10。其中,气体占9/10,尘埃占1/10。平均密度为10⁻²⁴克/厘米³。这是地球上无法实现的超高真空。目前,实验室里最好的真空度只能做到10⁻¹¹克/厘米³。

星际气体是1904年,在遥远恒星的光谱中,观测到明显不属于恒

星的气体特征发射线时发现的。其组成主要是氢,占 70%;其次是氦,占 28%;较重元素占 2%。

在年轻的明亮的 O 型星和 B 型星周围的氢原子,由于受到这些恒星发出的强烈的紫外线(波长 $< 912 \text{ \AA}$) 的辐照而电离,并形成一個由离子氢组成的电离氢区,又称 HII 区,其平均温度为 10^4 K 。在离 O 型星和 B 型星 10—100 秒差距处,能使氢原子电离的光子数急剧减少,氢不再被电离。这个以中性氢原子为主要成份的区域叫中性氢区,又称 HII 区,其平均温度为 100 K 。HII 区总质量为星际气体的 $1/10$ 。

HI 区内气体云密度为 3—30 个氢原子/厘米³,半径为 1—10 秒差距,质量为太阳的 $1-10^4$ 倍,平均温度 $50-200 \text{ K}$ 。此外,在 HII 区和 HI 区的边界附近还存在着密度高达 10^3 氢原子/厘米³,温度 10^4 K 的高温高密度的暗星云。从这些星际云中已发现了 H_2 , OH (羟基), CN (氰) CH , NH_3 , H_2O , H_2CO (甲醛), CH_3OH (甲醇)以及 Na, K, Ca, Ti, Fe 等近 50 种原子和分子。

分布在星际间的叫星际尘 (interstellar dust), 分布在行星际间的叫行星际尘 (interplanetary dust)。1930 年,发现引起遥远恒星的消光现象、红化现象的不是星际气体而是尘埃。并且知道尘粒大小为 0.1 微米左右,温度为 $5-20 \text{ K}$,平均密度为 10^{-26} 克/厘米³。尘粒大致分为四类:(1) 水,氨,甲烷组成的冰晶。(2) 由 SiO_2 , MgSiO_3 , Fe, Fe_2O_3 , FeS 等组成的矿物。(3) 石墨。(4) 以上三种物质的混合体。由星光极化现象推断尘粒多为扁平形和细长形而不是球形。并且尘粒还有自旋,自旋时其长轴大致与银盘相垂直。

在太阳系内,行星际尘是 1963 年在观测黄道光时发现的。这种黄道光附近出现的微光是聚集在那里的尘埃散射太阳光的结果。近年来,从宇宙飞行器偶而回收的行星际尘,在电子显微镜下发现它有复杂的卷绕外形,因而可以更有效地散射太阳光。其大小为几个微米。它的化学组成与陨石相近似,有的是金属性的,主要是含铁和镍,有的则含大量的硅及其氧化物,有的就是微陨石。

星际磁场 interstellar magnetic field

从遥远恒星射来的光是部分偏振的,其偏振度与星际吸收的程度成正比,由此发现了星际空间存在微弱的磁场。此外,宇宙线电子的同步辐射现象,21 厘米射电波的塞曼效应和脉冲星射电波的法拉第旋转现象都进一步证明星际磁场的存在,并估计其强度为 $10^{-6}-10^{-7}$ 高斯。星际磁场的分布很不均匀,有的地方较强,有的地方没有。银河系磁场比较规则,基本上与银盘面平行并且有沿着旋臂行进的趋势,只有在几个千秒差距的大范围内才能看出它的方向变化。

星际磁场的来源还不清楚。它的强度虽然很弱，但从宇宙空间的大尺度来看，它对宇宙线的起源，传播起着重要的作用。

宇宙尘 cosmic dust

近 100 年来，人们在地球表面不断发现有来自地球之外的尘粒，并对它进行系统地收集和研究。一般地，我们把这些来自地球之外的固体微粒通称为宇宙尘。实际上，它们主要是行星际尘，彗星尾部物质和微陨星。其大小为几个微米至几百微米。

每天大约有数百吨宇宙尘散落到地球表面。在深海的沉积物中，高山的积雪中，极地古老的冰层里以及几十公里的高空都找到了宇宙尘样品。从外形看，它们多为球形，表面有的粗糙并有烧蚀的痕迹，有的光滑而晶莹透明并呈现五颜六色。不同的颜色说明其中元素丰度的不同。黑色球粒多含 Fe, Mn, Co 等。对其元素丰度和放射性同位素的相对丰度进行测量可判断它们是否来自宇宙空间。在宇宙尘中已发现由宇宙线产生的放射性同位素 ^{26}Al , ^{53}Mn , ^{40}K , ^{10}B 等。从这些放射性同位素的丰度可推知宇宙尘的年令与太阳系相近。宇宙尘长时期地在宇宙空间浮游，其中一定积累了大量极端条件下(极低温，极高真空等)高能核作用现象，并且由于它在落入地球大气层后运动速度很慢，不会像流星那样燃烧，它可能保存更多的原始信息。因此，宇宙尘是研究宇宙线长期变化，宇宙线产生，传播和成份的重要天然样品。它是迄今人们能够得到的除陨石，月岩之外的第三种宇宙物质。

陨石 meteorite

流星燃烧后落到地面的残留部分称为陨石又称陨星。根据化学组成陨石可分为

1. 石陨石 (aerolite) 主要含硅酸盐矿物，伴有少量铁、镍及其硫化物等。比重为 3.5 克/厘米³。
2. 铁陨石 (siderolite) 介于石陨石和陨铁之间的陨石。比重为 4—6 克/厘米³。
3. 陨铁主要由铁和镍组成，少量的磷化物，硫化物和碳化物组成。比重为 7.8 克/厘米³。

有一部分陨石来自太阳系之外，给我们提供了研究宇宙物质的样品。用放射性同位素年代测定法：Rb-Sr 法，K-Ar 法，U-He 法可知陨石的年龄为 $4-5 \times 10^9$ 年。陨石即然来自宇宙深处，又在宇宙空间滞留了几亿年，它必然和宇宙线发生作用。对陨石中宇宙线产生的核素为 ^3He , ^{21}Ne 等的测量可以推算出它受到宇宙线照射的总量，从而可知道过去几百万年宇宙线强度变化不大，并可获得宇宙线的成份，能

谱以及高能核作用的知识。所以陨石有天然“探测器”之称。此外，在澳大利亚落下的一个陨石中发现了多种碳氢化合物及氨基酸，而且这些氨基酸结构形式与地球的类似物质有所不同，因此对陨石的研究有可能提供宇宙生命的信息。

三 近地空间的宇宙线

辐射带——范艾伦带 radiation belt——Van Allen belt

在地球赤道上空,运动着的荷电粒子受到地磁场的束缚,在围绕着地球的一个环形区域内运动,这个区域称为辐射带。这是1958年由卫星“探险者”1号、3号用盖革——弥勒计数管探测带电粒子密度随高度和经纬度的变化时发现的。1961年“探险者”12号和1962年卫星“先锋”3号又作了精确测量。发现带电粒子密度随高度的变化有两个峰值,一个峰在离地球中心约1.5倍地球半径处(高度约3200公里),以这个峰为中心的辐射带叫内辐射带。另一个带电粒子的密度峰在离地球中心3—4倍的地球半径(高度约12700—19100公里)处,以此峰为中心的辐射带叫外辐射带。

内辐射带大约以高度3200公里为中心向上、下延伸到10,000公里和600公里左右。它从赤道上空向两极延伸到南、北纬度各约 40° 的范围。该辐射带由能量等于或小于100个百万电子伏的质子和能量为几个百万电子伏特的电子组成的,结构稳定。在峰值处,大于4百万电子伏的质子通量为 10^5 个/厘米²·秒。大于百万电子伏的电子通量为 10^8 个/厘米²·秒。

外辐射带约以高度12,800—19,100公里为中心向上、下延伸到大约10,000和60,000公里的地方,并由赤道上空向两极延伸到南、北纬度约 50° — 70° 处。它由能量大于几个百万电子伏的质子和一些电子组成,结构不稳定,受太阳耀斑的影响很大。在峰值处,能量大于0.5百万电子伏的电子通量为 2×10^7 个/厘米²·秒。能量大于30百万电子伏特的质子通量为10个/厘米²·秒。

这些辐射带首先是由美国衣阿华(Iowa)大学范艾伦(Van Allen)等人根据卫星“探险者”1、3号测得的数据分析得到的。故又称为范艾伦带。

近年来,卫星对其他行星的探测表明:木星等行星也有类似的辐射带存在。

宇宙线调制 cosmic ray modulation

从太阳系外来的宇宙线粒子在太阳系内传播时,要受到太阳系的影响,这样,宇宙线的强度、成分和能谱都要发生变化,这个过程称为宇宙线的调制。宇宙线调制主要是由太阳活动和行星际磁场引起的,故又

称太阳调制。这种调制随太阳活动程度而变化。在太阳活动极小时，对能量大约在 2000 百万电子伏以下的粒子影响较大，随着粒子能量的减低，调制作用增大。在太阳活动极大时，这种调制可影响到 10,000—15,000 百万电子伏的粒子，而且和太阳的运动状态有关。例如，太阳活动具有十一年周期和太阳自转具有 27 天周期，因此宇宙线强度变化也有十一年周期和 27 天周期。太阳调制随着离太阳距离的增大而减弱，宇宙强度的空间梯度为每离太阳一天文单位（日地距离）增大 3%；估计至少在 50 个天文单位处，才能达到星际空间的强度。

福布希下降 Forbush decrease

由于在太阳耀斑时发射大量的带电粒子和电磁辐射，而且形成强烈的冲击波，造成对宇宙线的强烈调制，使宇宙线强度急速下降，这种现象首先由美国物理学家福布希用游离室观测到故称为福布希下降。

这种现象发生时，往往伴随着发生急始型磁暴及电离层扰动等一系列地球物理事件。福布希下降与在太阳面上耀斑位置的对应关系有明显的东西不对性。

宇宙线层 cosmic ray ionosphere

宇宙辐射穿过大气层时，与大气发生电磁相互作用，因而使大气上层形成电离层。电离层 D 层的下层称为 D_s 层（高度约在 50—70 公里），它主要是由于银河宇宙线对大气的电离作用而产生，故把 D_s 层叫做宇宙线层。在 70 公里附近，太阳的 X 射线和紫外线对大气的电离贡献与银河宇宙线对大气的电离贡献相等。D 层上层（ D_u 层）以及更上面的 E、F 层主要是由太阳的 X 射线和紫外线对大气的电离作用产生。

在太阳活动极大时，银河宇宙线对 65 千米下的大气电离起主要作用，在太阳活动极小时，银河宇宙线对 75 千米以下的电离起主要作用；在夜晚，其他电离消逝时，银河宇宙线也对更上层的大气电离起主要作用。

地磁效应 geomagnetic effect

宇宙线带电粒子在地球磁场中要发生偏转，由于地磁场分布亦不均匀，有一定的结构，因而造成宇宙线强度随观测地点的地磁经、纬度的不同而不同，而且还随观测方向的不同而不同，形成所谓纬度效应、经度效应、东西不对性等。这些效应总称为地磁效应。

刚度 rigidity

刚度是用来表征在磁场中运动的带电粒子受磁场偏转程度的一个