

宇宙线研究的过去现在和将来

霍安祥

《现代物理知识》杂志创刊了，我衷心祝愿她在传播现代科技知识方面大有作为。

宇宙线物理是现代物理的一个重要组成部分。为此，我特写这篇文章，希望广大读者能了解什么是宇宙线物理，希望能为传播这方面的科学知识起一些传播作用。

现在人们把 1912 年 Hess 的气球高空飞行实验的成功之日定为宇宙线发现的日期，此事件成为发现宇宙线的标志。事实上，它的发现并不是由这一个实验完成的。

本世纪初，科学家们研究的导电性，尽管预言气体处于不导电状态，但是总还有当时人们还不能理解的剩余导电性，为了解决这个难点，科学家们进行了大量实验，其中最成功的是 Hess 的工作，他乘坐气球，用一个电离室测量这种导电性随高度变化的情况，结果发现到 5 千米高空时，导电率增加了几倍。于是他认为这种导电性的来源是来自地球之外的、具有穿透力很强的辐射引起的。由于未发现昼夜之间的明显差别，所以他认为这种辐射不是来自太阳。

1927 克莱 (Clay) 在从阿姆斯特丹到爪哇的航行中，在航船上用电离室测量宇宙线强度，发现地球赤道附近的强度比高纬度要小，这就是所谓的纬度效应。这个时期的实验结果表明：来自宇宙深处的辐射至少有相当部份是带电的。另外，一些实验结果表明：由西面来到地球某处的宇宙线强度高于从东面来的强度，这个效应叫做“东西效应”。根据当时斯托末 (Störmer) 建立的荷电粒子在地磁中运动的理论，可以认为初级宇宙线主要是由带正电的粒子组成的。

1929 年 Bothe 等用盖革——米勒 (G-M) 计数器符合方法，测量了宇宙线的荷电成份，同年斯科贝尔琴 (Skobelzya) 根据粒子在云室中的径迹辨认了第一批宇宙线粒子的性质。1932 年安德逊 (Anderson) 利用云室发现了狄拉克 (Dirac) 从理论上预言的正电子。

(我国科学家赵忠尧在这之前也做出过出色的研究工作)。这一重要的发现引起了实验物理学家和理论物理学家极大的重视。

1933—1935 年罗西 (Rossi) 用 G-M 计数器组成簇射测量装置来测量簇射频数。当改变这个装置上的吸收物质层的厚度时，发现吸收层铅为 2 厘米时，簇射的频数最大。他解释这个现象是由于粒子数目倍增的结果(过渡效应)。类似的实验还证明了在大气层中宇宙线有两种成份——软成份和硬成份，前者主要是电子，后者主要是 μ 子。在此期间福彻尔 (Piotzer) 利用装上气球上的计数器“望远镜”发现在大约 15 公里高空宇宙线强度有一个极大值，这个现象称为大气层中的过渡效应。上述实验的理论解释对量子电动力学的发展起了重要作用。

1935 年汤川 (Yukawa) 假设在强相互作用中存在一个中间媒介粒子-介子，并利用费米的 β -蜕变理论预言了这个介子的质量约为 $200me$ (me 是电子的质量)，寿命约为 10^{-8} 秒。两年之后在一系列实验的基础上，安德逊等人用云室发现了 μ 子。最初人们以为这就是汤川预言的介子，但后来发现它没有强相互作用的性质。直到 1947 年在高山曝光的核乳胶中发现了 π 介子，而带电的 π 介子又衰变为一个 μ 子， π 介子才是汤川预言的介子。

核乳胶作为测量器用来研究高能宇宙线粒子核作用取得了重要结果，我国学者梅镇岳曾用核乳胶叠研究过这方面课题并取得了重要成果；何泽慧在 50 年代初在国内领导一个组进行了核乳胶的研制，并达到世界水平。这个组能制作不同类型的核乳胶，包括对相对论性电子灵敏的核乳胶。这一技术已广泛地应用到我国的核物理和核工程各个方面。

1938 年俄歇 (Auger) 和其合作者及其他实验组独立的用相距很远的两组 G-M 计数器测量其宇宙线粒子的符合计数频率，首次观测了广延大气簇射 (EAS)

的横向分布。同一时期,许多实验组利用云室和 $G-M$ 计数器广泛地研究了电磁簇射和有穿透性很强粒子的簇射(穿透簇射)现象。我国学者赵忠尧根据云室照片分析出在穿透簇射中大量的 γ 射线引起的级联簇是 π^0 介子衰变为两个 γ 光子形成的。当时 π^0 介子在实验上未直接测量并证实它的存在。

早在 1944 年法国学者利用云室得到一个事例,经过分析得出这个带正电子的质量约为 $990mc$ 。1947 年罗彻斯特(Rochester)和巴特勒(Butler)在云室发现了两个伴随着穿透簇射的奇异事例,一个是带正电荷的粒子的衰变,另一个是中性粒子衰变,它们的质量约为 $1000mc$ 。这两个事例被认为是 K 介子的发现,在这种新粒子事例很罕见的时候,当时我国年青的物理工作者肖健在安德逊领导下与合作者一起在海平面和高山上用云室获取了 30 多个奇异粒子事例,大部分事例是肖健扫描得到的,经过分析,确定这些粒子的平均寿命为 10^{-10} 秒,中性粒子衰变方式主要是二体衰变,它们是在核作用中产生的,两种中性粒子的质量分别为 $2200mc$ (A^0 超子)和 $800mc$ (K 介子)。

1949 年张文裕利用云室研究 μ^- 子在铅、铁、铝薄片中的吸收,发现在核的外部由于 μ^- 子在波尔轨道之间跃迁辐射出 $1-5MeV$ 的光子。这是人们首次得到 μ 子原子存在的例证。

五十年代前期,我国科技工作者在王淦昌、肖健的领导下,在落雪山宇宙线实验站获取了 700 多个奇异粒子的事例。对一些稀有事例的分析和高于加速器能区的产生截面等研究成果曾引起国际同行的重视。

在 高能加速器问世之前,宇宙线作为唯一的高能粒子源对微观世界的一系列的重大发现:如正电子、 μ 子、电磁级联过程、核级联过程、广延大气级联现象、 π 介子、 K 介子和超子等,从而开辟了粒子物理这门重要的前沿学科。

地磁和日地物理环境对宇宙线的影响在叙述宇宙线发现时期时已有一些讨论,如纬度效应、东西效应等。

宇宙线强度的时间变化是日地空间宇宙线研究的重要内容之一,有周期性和非周期两种。周期变化中较重要是 11 年变化,非周期性变化中重要现象有福布什(Forbush)下降,主要特征是在地磁暴期间,全球范围内宇宙线强度下降。在人造卫星上天的第二年(1958 年),范·艾伦用放置在“探险者”1 号和 3 号卫星上的 $G-M$ 计数器,在超过大约 1000 公里高度的有限范围内测到了高的计数率,这是被地磁场捕获的荷电粒子造成的(辐射带或范·艾伦带)。日地空间宇宙线本文不再给与更多叙述。

1948 年,布拉特(Bradt)等用气球载核乳胶和云室发现了初级宇宙线的重核成份,这些核的相对丰度的总体特征与银河系元素核是相似的,其明显差别部

份如锂(Li)、铍(Be)、硼(B)和亚铁元素等对研究宇宙线的传播,宇宙元素的形成均有重要意义。1967 年福勒(Fowler)等人用核乳胶观测到铀核,甚至可能有超铀。70 年代以来,宇宙线空间观测有了长足的进展,取得了许多重大成果。宇宙线初级成份各元素丰度的数据的统计量有了数量级的提高,许多同位素有了精确的测量,能量范围也有很大提高。如氖(Ne)、镁(Mg)、和硅(Si)的测量表明宇宙线和太阳系丰度有明显差别。宇宙线 $^{22}Ne/^{20}Ne$ 的丰度约为太阳系的 4 倍;氦核和氢核(质子)之比,宇宙线丰度比自然界高出 100 倍。所有这些都对宇宙线源、宇宙线传播及宇宙模型的研究提供了有力依据。

50 年代初,人们根据银河射电波段辐射的观测,推论这是由于电子在银河磁场中同步辐射的结果。真正第一次观测到初级宇宙线电子的存在是在 1961 年,实验是用气球载多板云室得到了级联簇射的照片事例才肯定的,电子的流强约为同能区带电粒子流强的 1% 或更少。

1962 年罗西等用装载于火箭上的探测器观测到宇宙 X 射线。1968 年前后许多科学家用卫星上的探测器发现了宇宙 γ 射线。由于 γ 光子在宇宙空间传播不受星际间磁场的影响,X 射线、 γ 射线的观测对于产生源的信息就特别重要。一些天体上激烈活动中的高能过程与宇宙线起源有密切的关联。相当数量的信息来自卫星 SAS II (1972—1973) 和 COS B (1975—1982) 卫星对 γ 光子能量为 $35MeV < E_\gamma < 5GeV$ 能区的观测数值。许多 X 和 γ 射线对应的脉冲星天体已经确认。我国成功地发放了一系列的大型高空科学气球,并成功观测了蟹状星云脉冲星和武仙座 X-1 的 X 射线,并得到了国际上同行的重视。

近年来,宇宙线研究中引人注目的发现是甚高能 and 超高能 γ 射线源。联邦德国基尔大学广延大气簇射研究组在分析 1976—1980 年期间的簇射数据时,发现在天鹅座 X-3 方向簇射的事例有明显增加,并具有 4.8 小时周期,事例的能量 $\geq 10^{13}eV$ 。之后不久,一些实验组还报导了其他星体也有超高能 γ 射线的发射。另外,在位于地下 700 多米的实验组宣称他们积累的单个 μ 子事例,在 10^{-3} 置信水平上发现了天鹅座 X-3 方向来的 μ 子。对这些现象解释已成为天体物理和高能物理科学家们共同感兴趣的课题。目前一些新的广延大气簇射阵列正在新建,英、美两国合作在南极极地建设了一个小型阵列,其目的都是为了观测超高能 γ 射线源。

1987 年观测到的超新星 1987a 的爆发是天体物理和高能物理研究中的重大事件。1987a 超新星位于大麦哲星云处,距地球约为 17 万光年。许多实验组观测到中微子的发射,其中日本神冈组给出的中微子流强 $I_\nu = 10^{10}/\text{厘米}^2 \cdot \text{秒}$ 。为了观测这颗超新星各个

等离子体家族

杜 钧 福

古代中国人把宇宙万物归结为金、木、水、火、土五种基本元素——五行。而古代希腊人则把世界看成是由土、水、气、火四种基本物质构成。从现代科学的观点来看，古代希腊人的观点更接近实际一些。因为他们所认识的四种基本物质恰恰对应于现代物理学中的四种物态——固体、液体、气体与等离子体。

随着温度升高，物质逐渐由固体变为液体，以至于气体。当温度升至几千度到几万度时，气体的分子或原子就会失去电子成为带正电的离子，失去的电子成为自由电子。这个过程称为电离。当气体中的离子和电子充分多时，这些带电粒子之间，以及带电粒子与环境之间的电磁相互作用将成为主要的作用。这种电离气体称为等离子体，又称为物质的第四态。

百分之九十九以上的宇宙是由等离子体组成的。但人类对于物质的第四态认识得最晚。这是因为：虽然等离子体在宇宙间到处都有，然而在我们生活的环境中却很稀少。在地球的生物圈中，唯一自然产生的等离子体可能就是转瞬即逝，因而很难研究的闪电。可以这样认为：人类恰恰生活在那不到百分之一的非等离子体物态之中。

虽然人类对于等离子体认识得最晚，只有不到一百年的时间。但在这段时间内，人类发现并且创造出了形形色色的等离子体。为了介绍这些等离子体，并指出它们各自在整个等离子体家族中处于什么地位，我们用参数范围图来表示它们。这个图的横轴表示温度，单位为摄氏度；纵轴表示密度，单位为每立方厘米内的粒子数。不同类型的等离子体按这两个参数表示在图的相应位置上。

波段的电磁波发射，许多国家为此专门发射卫星、气球和在南半球建立新的广延大气簇射阵列。

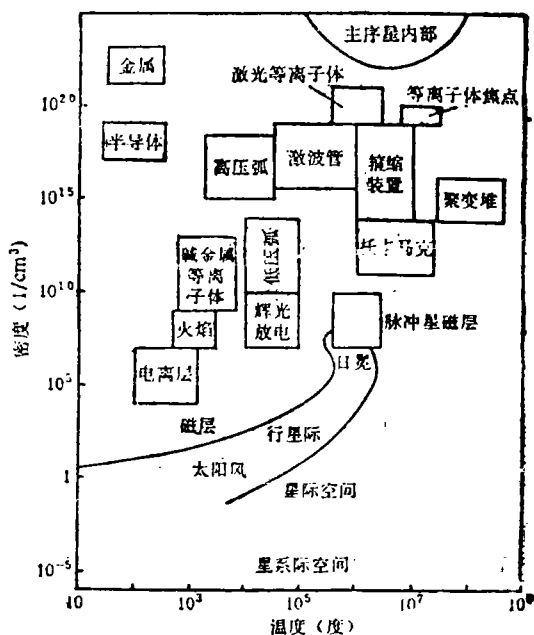
60年代以来利用高山大面积乳胶室研究 10^{14} — 10^{17} eV 的核作用取得了重要成果并取得相当大的进展；如 10^{16} eV 能区碳靶中超高能核作用主要特性均被西欧中心 SPS 对撞上的实验所证实。1970 年以来我国

我们从古代希腊人所说的第四种基本物质——火，或者说火焰开始。一般的火焰只有几百度到一、二千度的温度，其中的带电粒子所占比例很小，只能勉强算是等离子体。较火焰温度稍高的为碱金属等离子体。这是在钠、钾等金属蒸汽中产生的等离子体。它较易得到，而且比较稳定。使用这样的等离子体所作的物理研究在等离子体物理发展史上曾起过十分重要的作用。

辉光放电是在气压较低的环境下放电产生的等离子体，在历史上很早就经过充分研究。近年来，利用不同气体中的辉光放电作用发展了一种称为气相沉积的技术，在制造各种薄膜等重要应用中，取得了很大进展。

如果在较高的气压，直至大气压下放电，放电就会变为电弧。它们依气压高低区分为高压弧和低压弧。这类型的等离子体在工业上获得较多的应用。它们包括等离子体焊接、等离子体冶金、等离子体喷涂等。自然界的闪电也是一种电弧。

另一种产生等离子体的装置称为激波管。这种装置用激波加热的方法得到几万度以上的等离子体，非常适合研究一些物质在高温下的物理化学性质。



图

开展了利用高山乳胶室研究超高能核作用的课题，从1980年开始中日两国合作扩大了甘巴拉山乳胶室的规模，目前甘巴拉山乳胶室在世界四个组中高度最高（5500米），超高能核作用事例积累率居第二位。这方面的研究工作取得了可喜成果并为国际同行所重视。

气球载乳胶室在研究 10^{14} eV 能区的核-核作用和

以上这几种等离子体在参数范围图中处于左上方。虽然从日常生活的标准来看,它们的温度相当高。但从整个等离子体家族来看,它们只能称为低温等离子体。由于它们的温度相对地较低,以目前的技术水平容易得到它,故在很多方面得到广泛应用。

在参数范围图上,处于低温等离子体右方,即图的右上方,是温度在几十万度到几十亿度的高温等离子体。如果温度达到几十亿度,一些轻原子核如氢的同位素氘、氚的核,或锂核,便会反应生成重核并放出大量的能量。这个过程称为聚变。氢弹爆炸时,聚变反应的能在瞬间释放出来。而我们的希望则是使这一反应缓慢进行,实现受控聚变,并进一步在聚变堆中把这一能量转化为电能。这样的聚变堆目前尚未建成。图示的几种人造的高温等离子体装置,如托卡马克等,都是为实现受控聚变而研制的。在这样一些设备以及未来的聚变堆上产生的高温等离子体,可称为聚变等离子体。

聚变等离子体可分为两类。第一类以激光产生的等离子体为代表。这样的等离子体密度较高,不用磁场约束,称为惯性约束等离子体。第二类聚变等离子体的主要类型有托卡马克、箍缩装置、等离子体焦点等。在这样的装置中,都用磁场来约束带电粒子,所以这一类等离子体称为磁约束等离子体。

上述低温等离子体和聚变等离子体中,绝大部分是人造等离子体。处于参数范围图下方的各种等离子体,则完全是在自然界存在的,称为空间等离子体及天体等离子体。这些等离子体处于天体周围及天体之间。其中,距离我们最近的是地球的电离层。它是地球的上层大气因太阳辐射而部分电离所引起的。它距地面的高度为从几十公里到几百公里的范围。在电离层以上,等离子体密度逐渐减少,这个区域称为磁层。

磁层以外的空间称为行星际空间。在行星际空间中,充满着来自太阳的带电粒子辐射。这一辐射称为太阳风。随着与太阳距离的不断增大,太阳风的参数不断变化。因此,它在参数范围图上划出了一个弧形区域。太阳风起源于太阳大气的最外层。这个区域称为日冕。日冕是一种较稀薄而完全电离的等离子体。

和地球一样,其它一些行星周围也存在着磁层。和太阳一样,其它一些恒星,以及其它天体附近,也存在着各种等离子体。例如,有一种称为脉冲星的天体,它因发射周期性的脉冲电磁波而得名。经研究得知它

是一种主要由中子组成而体积很小,密度极大的中子星。中子星磁层中的磁场可达 10^{12} 高斯以上。然而地球磁场还不到 1 高斯,由此我们不难想象,处于脉冲星磁层中的等离子体的性质是极其特殊的。

在恒星际空间和星系际空间,等离子体是极其稀薄的,平均每立方厘米还不到一个粒子。

位于参数范围图下方的这些空间等离子体和天体等离子体占据了百分之九十九以上的宇宙空间。但是,如果从质量来说,这些等离子体只占已知宇宙的不到百分之一。另外百分之九十九以上的质量哪里去了呢?产生这个疑问的原因是我们尚未谈到一种最重要的天体等离子体。也就是恒星这样的天体内部的等离子体。

大多数恒星内部进行着激烈的聚变反应,因而维持了很高的温度,物质呈完全电离的等离子体态。作为一个例子,我们在参数范围图上标出了主序星内部等离子体所处的位置。银河系大部分恒星属于这个范围。

恒星内部等离子体的参数如温度和密度与我们所要达到的聚变堆等离子体相近。所以,我们进行聚变等离子体研究,正是模仿恒星内部的聚变反应,以便将来能制造出一个个小太阳——用之不竭的能源。但是,处于恒星内部的等离子体,由于恒星有巨大的质量,并承受了巨大压力,其特性必然与人造的聚变等离子体有很大区别。因此,目前对这种等离子体主要进行理论上的研究,尚无法进行直接观测。它仍然是一个未知的世界。

除去上述的低温等离子体、聚变等离子体和空间及天体等离子体这三个分支以外,在等离子体家族的参数范围图上还有一类等离子体。这就是居于图左上角的金属和半导体。这样的一些物质形态本应属于固体,但由于其中存在着自由电子,因而某些性质类似于等离子体,故通称固体等离子体。

以上我们主要从温度和密度这两个参数来划分和介绍了庞大的等离子体家族的主要成员。还应补充一点的是它还应包括仅由电子或正离子组成的非中性等离子体。

据说,原始生命起源于地球上原始大气的闪电之中。生命赖以存在和繁衍的能量也来源于太阳。而人类未来可能使用的能源也是发生于高温等离子体的聚变反应。故等离子体这一物质第四态虽然最晚为人们所认识,但对人类是极重要的。

测量宇宙线重核成份方面取得了初步但很好的结果。应该提到 1972 年在宇宙线中发现了 D^+ 粒子,它是人们首次得到的粲介子。

从上面我们可以看出:宇宙线的研究既涉及微观现象也涉及到宏观现象,并沟通了两者的关联。宇宙线物理研究主要是要探索下面一些问题:高能氢核

(质子)到铀核(甚至超铀元素)这些初级宇宙线粒子是如何产生和加速的?它们在漫漫宇宙空间里如何传播?在空间各种物理环境下其高能物理变化过程又如何?各个电磁波段的发射机制及其关联和星体演化中的物理过程是如何形成的?为了逐步探索上述问题,需从以下一些方面来进行观测和研究。在方法上分

划时代的伟大发现

——纪念裂变现象发现五十周年

侯明东

1938年12月发现了原子核的裂变现象,至今已整整五十年了。裂变的发现在科学史上是一件极其重大的事件,它给人类的历史和科学技术的进程带来了巨大的影响,并由此开始了一个新的能源时代。本文将回顾裂变发现的历史经过,并评述这一发现半个世纪给世界所带来的深远影响。

裂变现象发现的经过

裂变的发现不是一次完成的,是在先前许多科学家几度濒临发现的边缘之后,才呈现在它的发现者的面前。可以说,1919年卢瑟福第一次人工核反应的实现,是核裂变现象发现的第一块基石,因为这是一个开创性的研究,从此以后人们开始了用一个粒子作为炮弹轰击原子核的一系列的研究。1932年查德威克发现中子是核裂变现象发现必不可少的条件,它给人们提供一种新的炮弹,最先发现的核裂变就是由中子轰击所引起的。1934年约里奥·居里夫妇用 α 粒子轰击较轻的元素成功地发现了人工放射性,但由于 α 粒子受到核电荷的排斥,对于重的元素则不起作用。正是这一挫折启发人们从另一条途径上取得了成功。

意大利物理学家费米用中子做为炮弹所进行的一系列的研究工作为裂变的发现奠定了基础。特别重要的是他们在中子轰击银的实验中发观,如果在轰击之前先让中子在含氢多的水或石蜡中慢化,减低中子的速度,则中子引起核反应的能力可以上百倍地提高。这个发现对于以后核反应的研究,特别是核能的释放起了极其重大的作用。由于中子不带电不受核电荷的排斥,所以使最重的元素也能产生核反应。他们在短短的几个月内就制备了37种不同元素的放射性同位素。被轰击的原子核俘获一个中子后,处在不稳定状

为空间观测和地面观测。

1. 宇宙线初级带电成份及其有关同位素的观测和研究:

一些轻核的同位素如 ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al 等,反质子和正电子均被认为宇宙线在宇宙空间产生的“次级粒子”,这些粒子能谱的进一步测量并大大的增加其统计

态,总要通过 γ 跃迁和 β 衰变而成为比先前原子序数更高的周期表中下一位的元素。这个过程对于所有重核似乎是一个规律,即生成物总是在原来靶核的附近。因而费米产生一个想法,试图用中子轰击周期表中最后一个元素铀,以期获得原子序数大于92的超铀元素。实验的结果是出人意料的,测量表明有十个半衰期不同的各种放射性核被产生,并且其中13分钟和90分钟两个引人注目的半衰期绝不属于原子序数在86到92之间的元素。他们误认为这就是93号元素,称之为“铀x”。虽然这一结论当时就受到化学家的批评,费米本人也产生过疑虑,但受他化学分离技术的限制没有能给予正确的解释。

因为实验中所出现的困惑难解的现象,因此中子打铀的反应在1936—1938年中在许多实验室受到了特别详细的研究。1938年约里奥·居里夫妇和萨维奇在中子轰击铀时发现,原来设想应是镭($Z=89$)的同位素竟是一种化学上与镭($Z=57$)很相似的产物,但是他们无法解释为什么会从铀中产生镭,两者质量数相差了100个质量单位。

哈恩和斯特拉斯曼复核了上述实验,对产物进行了艰巨的化学分析,不仅证实了确有镭的存在,还惊奇的发现,原来设想应当是镭的产物却是质量相差很远的钡的同位素。化学方面的工作,做得十分精细,令人无可置疑。为了慎重,哈恩在发表论文之前写信把实验结果和存在的疑难全部告诉了曾与他合作达三十年之久而刚到瑞典避难的奥地利女物理学家迈特纳。迈特纳和她的侄子弗里施深信哈恩的实验技术,他们从原子核的液滴模型出发大胆地提出了一个新的反应机制:铀原子核俘获中子后,可能分裂成大致相等的两个原子核,钡与镭等元素正是铀核分裂的产物,并且从

精确度,将对宇宙线在空间传播和宇宙模型有很大的帮助。超重元素核事例进一步大量积累,有助于宇宙元素形成机制的研究。为此,美国在九十年代宇宙线物理的建议中,把发展空间站的大型超导磁谱仪放在首位;另外美国还赞成发展空间重核收集器,这是一个很大面积(100平方米)的塑料径迹探测器,它将在空

反应前后的质量亏损推算出反应必然会产生巨大的能量。不久弗里施就用电离室观察到了裂变碎片所产生的巨大的电离脉冲,从实验上证实了关于能量释放的结论。1939年1月16日他们把这篇重要的论文连同弗里施实验的论文一起寄给了英国《自然》杂志。

事先获得这一消息的波尔在美国参加国际理论物理学会时无意中泄露了迈特纳的解释,立刻引起了与会物理学家的兴趣,以致于迈特纳的论文还没有正式刊出就有许多实验室用不同的方法证实了这一现象,使得波尔不得不在很多场合为发现裂变的荣誉之争做出解释。后来哈恩因裂变的发现而获得了诺贝尔奖金,不公平的是迈特纳却始终没有得到这样的荣誉,而把“核裂变”这一术语第一次奉献给人类的,正是这位在科学上留下巨大足迹的女性。

裂变发现的深远影响

裂变现象发现之后,它巨大的政治的、经济的以及科学的意义马上吸引了大批的科学家,几乎全世界的实验室都在进行这方面的研究,研究的步伐是如此之快,以致所造成的奇迹远远超出了卢瑟福、爱因斯坦、波尔等当时有名的大科学家在几年前的预测。可以说裂变发现之初,它的基本应用和根本问题就清楚地显现了——原子动力、原子武器以及人类对获得这种来自原子内部的非凡自然力的喜悦与惊惧一起带给了人类。

原子弹的制造

裂变给人类所带来的首先是原子弹的灾难。人们刚刚得知核分裂能释放出巨大的能量就用于伤害人类,这真是一幕悲剧。1941年12月美国总统罗斯福批准了耗资20亿美元、二十万人包括许多著名的诺贝尔奖金获得者参加的研制原子弹的庞大的“曼哈顿工程计划”。在很短的时间就解决了反应堆的建造、核燃料的制备、 ^{235}U 的分离、原子弹的弹体设计等一系列复杂的问题,从核裂变发现到第一颗原子弹的爆炸仅仅经过了六年。投于广岛和长崎的两颗原子弹不仅使二十万无辜人民的伤亡,而且这种残忍的破坏力给全世界人民留下了不可磨灭的印象,这至今仍成为和平利用原子能的心理障碍。更不幸的是,核武器的研制从那时起一直延续到现在。氢弹和中子弹已相继问世。目前全世界战略和非战略核武器弹头总数达5万多

同飞行2年以上,可得到相当数量的铀系元素核。

10^{14}eV 能区的宇宙线成份的测量可利用大面积气球载乳胶室来进行,长时间飞行是主要关键。 10^{14}eV 能量以上,由于宇宙线粒子流强极弱,只能利用设在地球表面不同高度的广延大气簇射阵列进行间接测量。虽然这些测量难度很大,但是其学科意义是十分重要的。

件,总当量为150亿吨。这些核武器主要为美国和苏联所占有,英国、法国和中国三国的总核弹头数不足3%。

核能的利用

二次大战之后,美、苏、英、法等国相继发展了军用核动力反应堆,主要用于核潜艇、核动力航空母舰和破冰船。在此基础上逐渐开始了工业规模获得电能的工艺研究。1954年6月苏联建成世界第一座原子能发电站,其发电容量为5MW。1956年5月英国卡德威尔核电站投入运行,这座气冷反应堆以360MW的热动力提供78MW的电力。1956年美国建成希平港1号压水堆核电站,发电容量为60MW。核电有许多优点,燃料消耗量少,运输方便,尤其是在煤缺乏及偏僻的地区更为重要。三十多年原子能发电发展的很快,核电站趋于普及。至1987年底止,全世界已有轻水堆(压水堆和沸水堆)、重水堆、石墨气冷堆以及快中子增殖堆等各种堆型417座核电站在运行,分布在26个国家和地区,生产的电力占全世界发电量的16%。13个国家和地区的核电占其总发电量已超过25%,其中法国最高达69.8%。可以预见,在受控聚变反应永远解决能源之前,在今后三四十年来裂变能将愈来愈占据主导地位。核反应动力装置的小型化会受到重视。苏联宇宙-954号卫星上电源使用的反应堆堆芯核燃料只有45公斤重。

裂变研究对科学的推动

裂变是一种新的特殊的反应机制,它的研究可使人们对核的内部结构有更深入的认识,推动了核大形变理论的发展。此外,研究核的裂变稳定性以及 α 衰变、 β 衰变和裂变之间的竞争,对于合成超铀元素探索超重核有重要意义。四十年代以后成功地合成了93号以上一系列的超铀元素,只有在认识了裂变之后,才有可能在众多的裂变产物中识别出这些新的元素。由于裂变在能源方面的应用,使得原子反应堆工程技术得到发展,辐射化学已发展成独立的学科。裂变产物的研究开拓了新的核素,特别是远离 β 稳定线的丰中子同位素。周期表中的最后一个空白61号元素就是1945年在处理裂变产物时发现的。通过核反应堆可以生产核燃料 ^{239}Pu 以及制取各种放射性同位素,它们在工业、农业及医学方面有广泛的应用。核反应堆也是一个强的热中子源,可供科学研究使用。

2. 全波段 γ 射线宇宙线天体物理的观测和研究:

γ 射线与同能区宇宙线粒子流强相比仅占很少份额,由于它们不受空间星际磁场的影响,而且其能区跨越十几个数量级,它们能带给人们某些强烈活动着天体的许多直接演化信息。因此,宇宙 γ 射线源、 γ 射线

(下转第13页)

表1 近年建成和建造中、计划中的高能加速器

地 址	单 位	加速器名称	周长(千米)	粒 子	能量 (GeV)	亮度 ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	运 行
中国,北京	高能物理所	BEPC	0.24	$e^+ + e^-$	2.8+2.8	1.7×10^{31}	1988
瑞士,日内瓦	西欧核子中心	SPS/ACOL	7	$p + \bar{p}$	315+315	4×10^{30}	1987
		LEP 1	27	$e^+ + e^-$	55+55	1.6×10^{31}	1989
		LEP 2	27	$e^+ + e^-$	95+95	2.8×10^{31}	1993
西德,汉堡	DESY	HERA	6.3	$e + p$	30+820	2×10^{31}	1990
苏联,塞波科夫		UNK 1	20	p	3000		1990
		UNK 2	20	$p + p$	3000+3000	$> 10^{31}$	1993
				或 $p + \bar{p}$	3000+3000	$> 10^{30}$	
日本,筑波	KEK	TRISTAN	3.2	$e^+ + e^-$	30+30	6×10^{30}	1987
美国,巴伐里亚	FNAL	TEVATRON	7	$p + \bar{p}$	900+900	1.2×10^{30}	1987
美国,斯坦福	SLAC	SLC		$e^+ + e^-$	51+51	6×10^{30}	1988
美国,?		SSC	83	$p + p$	20,000+20,000	10^{32}	1995(?)

子的内部结构。当用质子轰击氢靶时,轰击粒子的能量 E 中“真正”有用的只是 $E^{1/2}$ 。能量很高时,很不经济。因此往高能发展,最好的办法是“对撞”,这样两束的能量可以全部用于改变粒子的内部结构。这就说明了为什么近期新建的加速器几乎全是对撞机。北京正负电子对撞机建造的主要目的是研究 c 层子(也叫作粲层子)物理,因此设计在2.8GeV能量。康乃尔大学和DESY的对撞机研究 b 层子物理,对撞机每束的能量为5GeV。像SSC那样的对撞机,是着眼于再深入一个层次。关于各种层子的研究,像对于含有 c 层子的 K 介子的研究,已经有了三、四十年,但直到现在还不能说完全搞清楚了。对于 c 层子物理,刚开始十多年,很多重要问题如果用现有的和即将建成的北京正负电子对撞机来作,估计今后一、二十年内还不可能全部弄清楚。所以,北京正负电子对撞机将是大有可为。

乒乓球是小球,我国在体育运动上的突破是从乒乓球开始的。我国在高能物理上的突破也是走这一条路,先从我国经济力量可以支持的能量不是太高的北京正负电子对撞机开始,力争作出在科学上有较重要意义的工作,从而能立足于世界高能物理之林。现在国际高能物理界十分重视北京正负电子对撞机,寄以厚望。例如目前高能物理上的一个重要问题,胶子球

的寻找。在重要的国际会议上,一提到胶子球,人们时常提到北京正负电子对撞机,说要等待用它所作的实验的结果。

我国建造北京正负电子对撞机,目的有二,一是进行高能物理实验,另一个目的是利用同步辐射。同步辐射是作高速圆周运动的电子或正电子放出的辐射。这种辐射是十分理想的光源,具有通量大、亮度高、频谱广(从可见光、紫外一直到几万电子伏的X射线)、光束准直性好等优点,已经成为很多学科的非常有用的研究工具,用于凝聚态物理、表面物理、微电子学、化学、生物、医学等方面。所以,北京正负电子对撞机的建成,必将有助于我国上述学科的发展。

高能加速器属于高技术,它的建造必然能够带动、促进我国有关的工业技术和高技术水平的发展。现在已经初见成效,例如在提高10厘米微波功率管(名叫速调管)的输出功率方面,通过对撞机工程引进消化了国外先进技术,得到了很好的结果。以往中国只能生产功率为16兆瓦的速调管,现在已提高到30兆瓦。

总的说来,我国的高能物理,尤其在实验方面,随着北京正负电子对撞机的建成,必将有较好的发展,同时还能对其他相当多的学科和国民经济的发展也作出一定的贡献。

(上接第19页)

源、X射线和 γ 射线爆以及它们的弥漫背景等的观测就特别重要。 γ 射线全波段的观测与常规射电和光学观测的结合不仅使天体物理的进入一个新时期,而且对我们了解宇宙线起源和加速机制起着重要作用。

3. 10^{11}eV 以上超高能现象的研究

这个领域的研究由于实验数据积累很慢,研究工作仍处在开始时期。宇宙线极高能端 10^{11}eV 左右有否截止? 10^{11}eV 能区谱形变化的确切特征是什么? 这些问题均涉及到宇宙线起源尺度和宇宙模型。

4. 高于高能加速器能区的超高能核作用的研究。

超高能区宇宙线粒子的核作用是探索高于加速器能区作用过程的唯一途径,重核的核作用是当前热门课题。地下实验有其特殊作用,中微子问题、磁单极子的导线和核子衰变等的探索都是地下实验的重要内容。各种核作用模型,特别是夸克-胶子等离子体相变过程也是超高能核作用的主要内容。

宇宙线发现七十六年以来,它的研究为人类了解粒子物理和天体物理作出了重大贡献。随着空间技术和实验技术的飞速发展,宇宙线的研究定会做出更大的贡献。