



现代自然科学普及丛书

基本粒子探索

殷 鹏 程

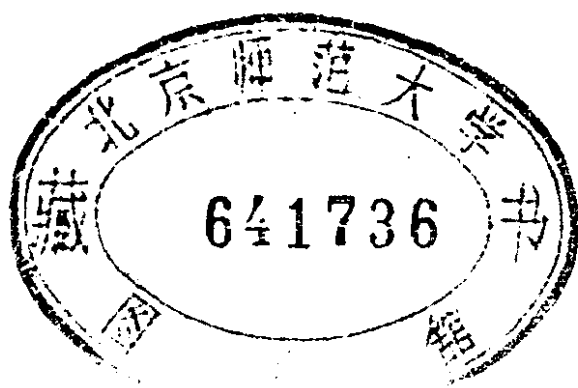
上海科学技术出版社

· 现代自然科学普及丛书 ·

基本粒子探索

殷 鹏 程

JU1136/14



上海科学技术出版社

出版说明

《现代自然科学普及丛书》是一套中级科学读物。为了发展我国的科学技术，赶超世界先进水平，有必要以辩证唯物主义的观点为指导，及时介绍当代一些基本理论问题、基础学科和发展较快的新兴学科、边缘学科，包括其基本内容、发展历史、目前进展概况和今后动向，供有关干部、青年和科技人员参阅。

这套读物有数、理、化、天、地(包括气象、海洋)，以及有关现代农业、现代医学基础理论的选题多种，力求有中等文化水平的读者即能读懂。本丛书将陆续出版，欢迎同志们提出宝贵意见。

现代自然科学普及丛书

基本粒子探索

殷鹏程

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 江西印刷公司印刷

开本787×1092 1/32 印张6.25 字数138,000

1978年6月第1版 1979年6月第1次印刷

印数：1—70,000

书号：1311·767 定价：0.45元

+ 写在前面 +

基本粒子物理学是物理学的前沿，是目前国际上最为活跃的学科之一。其新的理论、新的实验技术发展极快，日新月异，大有瞬息万变之势。而十多年来国内既无基本粒子理论专著，也没有这方面的科普读物。这种局面实在不能和目前科学发展的形势相适应。

由于“四人帮”的干扰和破坏，十多年来我国的基础理论研究和中学教育都受到极大的摧残。一般知识青年对于基本粒子研究的重要性虽有所闻，对基本粒子的内容也颇感兴趣，可是由于脱节较多，常有不得其门而入之感。甚至因之而视为畏途，望之却步者亦有人在。因此在我国力争实现“四个现代化”的今天，的确迫切需要一本引路入门的书籍。

写一本基本粒子的通俗书会遇到很多困难。首先，基本粒子的理论基础非常广泛，几乎包括了全部近代物理理论，例如相对论，量子论，群论和量子场论。而且这些理论的概念颇多抽象，离日常的概念甚远。用通俗的语言来描述，常难做到确切而易懂。其次，基本粒子里新现象错综复杂，新理论众说纷纭，因此叙述难有头绪，论理不易严谨。另外，基本粒子物理发展迅速，报道既不易及时，更难求全。作者才疏学浅，当此重任，虽力求其善，然完全克服上述困难，非所敢望。愿读者多予指教，俾便改进。

本书的内容是按人类认识基本粒子的发展历史而编写的。可是历史发展并非单道独进，常是多线齐头并进，因此叙

述不能完全按时间顺序进行。依照相互关系来看,本书内容大抵沿以下几条干线贯穿而成。第一条干线是叙述人类发现各种基本粒子的历史事实。由原子世界,“核宫”内幕,奇异粒子,粒子分类(四类粒子), ψ/J 粒子以及粲粒子和重轻子等组成,在发现这些事实的同时,人们提出了各种理论和各种模型。这些理论和模型又沿两条线进行。一条是由运动学来进行的。由同位旋,坂田模型,夸克模型, $SU(3)$ 以及 $SU(4)$ 对称等组成。另一条是由动力学来进行的,由形状因子,结构函数,部分子模型,强子结构的袋模型等组成。还有一条干线就是关于基本粒子之间相互作用的研究进展,由四种相互作用、弱电合流,中性弱流等组成。这几条线是本书内容的主干。其余零星章节都是为以后章节所需,或者在各个主干之间起联系作用而写的。当然这四条线也是相互渗透,相辅相成的,不必截然分开。如果读者想要了解全貌概况,可按章节顺序阅读;如果读者想要了解某一方面的问题,也可在上述四条线中,选读有关的内容。

由于篇幅有限,本书不能对所有基本概念都作详细说明。阅读过程中可能会发现有些概念不甚理解或未曾接触过,希望读者查阅有关的科普或专业读物,勤于钻研,问题是不难解决的。本书是引路入门的科普读物,对各个问题只能谈到一定深度。想要在某方面继续深入研究的读者,还必须阅读有关方面的专著和文献。本书所介绍的内容,基本上都是合理的,然而各种模型和理论还必须接受实践的检验,在实践中发展,特别是那些近期所提出的模型和理论,不能把它们绝对化。

如果本书能使读者增加钻研兴趣,在基本粒子物理学方面继续探索下去,那将是编写出版本书的一大收获,也正是作者的衷心愿望。

目 录

谈天说地	(1)
探深观微	(6)
有效截面	(16)
原子世界	(21)
能级分立	(26)
波粒统一	(29)
“核宫”内幕	(37)
自旋与同位旋	(44)
产生和湮灭	(53)
真空秘密	(60)
天外来客	(65)
粒子加速	(68)
贮存对撞	(72)
奇异粒子	(78)
空间反演	(84)
宇称之谜	(88)
粒子分类	(95)
相互作用	(99)
弱、电合流	(103)
中性弱流	(109)
坂田模型	(112)
八重态结构	(116)
层子模型	(121)
夸克幽灵	(126)

颜色与胶子	(130)
双峰突起	(136)
强弱之辨	(139)
粲偶素	(143)
$SU_F(4)$ 对称	(148)
粲粒子	(154)
重轻子	(160)
形状因子	(164)
部分子模型	(172)
强子结构	(179)
鉴往观来	(187)

+ 谈天说地 +

夏夜晴空，繁星闪烁，美丽的天体诱发了多少诗人的诗兴，抒发情怀，想象飞驰，创造了多少神话故事流传民间。例如，李贺的《天上谣》：“天河夜转漂回星，银浦流云学水声，玉宫桂树花未落，仙妾采香垂珮纓，……”李商隐的《嫦娥》：“云母屏风烛影深，银河渐落小星沉，嫦娥应悔偷灵药，碧海青天夜夜心。”李商隐的《七夕》：“鸾扇斜分凤幄开，星桥横过鹊飞回，争将世上无期别，换得年年一度来。”优美的诗句，勾划出人们对遥远星空的神思遐想。

日月星辰，朝起夕落，穿梭往来，景象万千却又井然有序，神秘的天体又引起了多少哲人的深思，观察分析，追究探索，发现了多少规律和理论流传后世。例如康德的星云学说，哥白尼的日心说，开普勒的行星运动三大定律，牛顿的万有引力理论，爱因斯坦的广义相对论……。经过长期的实践，随着科学技术的发展，人类对天体的认识愈来愈清楚，宇宙的秘密已愈来愈退却到远离人类的遥远天区。飞船游月宫，吴刚、嫦娥早离广寒；射电探银河，牛郎、织女已返人间，而天外有天并非虚构，星外有星亦属事实，宇宙之大无有边际。

地球在天体中运行真可谓沧海一粟，渺若尘埃，然而大小并非绝对，事物只能通过比较才能有所鉴别。地球虽小，对比其上的一山一水，一草一木，一人一物却又是庞然大物，另有它自己的一幅天地。而地球上的一草一木，一人一物又自有它自己的内部结构。真是大外有大，小内有小。我们已知宏

观物质均由分子原子构成，即使小到分子原子，依然有它自己的小天地，而且原子核心也有它自己的内部结构，看来物质层次之深也是无有止境。

研究物质结构的最基本成元（也就是所谓基本粒子）的性质及其运动规律的科学，通常称为基本粒子物理学。通过长期的实践，随着科学技术的发展，人类对物质结构的认识也是愈来愈清楚，愈来愈深入。基本粒子其实不是最基本的成元，物质结构的奥秘已愈来愈退缩到物质的更深层次。基本粒子物理学的研究对象，也随之推进、愈来愈深入到物质的更深层次。

基本粒子物理学是目前最为活跃的学科之一。人们对基本粒子研究的兴趣，不亚于对天体物理的研究，而人类对基本粒子的研究成果，又大大促进了对天体物理的研究。例如在天体物理中常用的光谱分析方法，就是基于我们对原子物理的研究。正是通过光谱分析方法的发展，才使我们能更精确地理解河外星光所带给我们的讯息，从而使天体物理学成为一门基于科学实验的学科。又如在 1930 年发现中子以后，不久在天体物理里就引出了中子星的假说，这个假说直到三十多年后的 1968 年，在天文观测中发现了这种奇异的天体后得到证实。又如我们对中微子的研究，就有助于对天体演化各种模型的鉴定。

另一方面，天体又为我们提供在地球上不能建立的各种特殊条件下的天然实验室，例如高温、高压、高密度、强磁场、强辐射、高能量等特殊的天然实验室，特别是宇宙射线为我们提供了高能粒子，天体实在是一个大型加速器，成为研究基本粒子的重要工具。同时天体物理学又是检验基本粒子物理学的各种理论模型的极好领域，基本粒子物理学和天体物理学



图1 云南高山宇宙线实验站外景

可谓相互促进，相辅相成。图 1 是我国的云南高山宇宙线实验站，它为我国的高能物理研究提供了不少可贵的讯息。比如 1972 年该实验站的云雾室记录下一个可能是重质量的荷电粒子事件。

基本粒子和天体二者虽大小悬殊，却有紧密连系。宇宙之大超过数亿光年距离，粒子之小不足费米(10^{-13} 厘米)的尺度，但它们并非是截然分开的领域，它们都服从普遍适合的物理规律，都同样充满着矛盾和矛盾的转化。当然，我们在强调事物的普遍联系的同时，也应指出：事物在不同条件下，有着不同的特殊性质。例如在天体物理中，研究天体运行时，基本粒子之间的强相互作用和弱相互作用的这些短程力（参看后面“相互作用”一节），常常是可忽略的因素，而引力作用却起着主导作用。相反，在基本粒子物理里，强作用和弱作用成了主要研究对象，而引力作用却常处于微不足道的地位。也就是说，在不同的条件下事物有着不同的主要矛盾。

在目前我们所谓的基本粒子的层次里，确也发现了许多新的现象，提出了不少新的概念、新的模型，然而千头万绪仍欠条理，众说纷纭莫衷一是。在这里更需要我们用正确的观点来分析比较，综合研究。下面我们将对基本粒子的历史和现况作一番简略的介绍，摆一些事实，讲一些道理，以供读者参考。

在讨论基本粒子本身内容以前，我们先来介绍一下基本粒子与其他领域的相对“地理”位置，如图 2 所示。我们把有关物理量在各领域里的数量级作一比较，以便读者首先有一个数量级的概念。

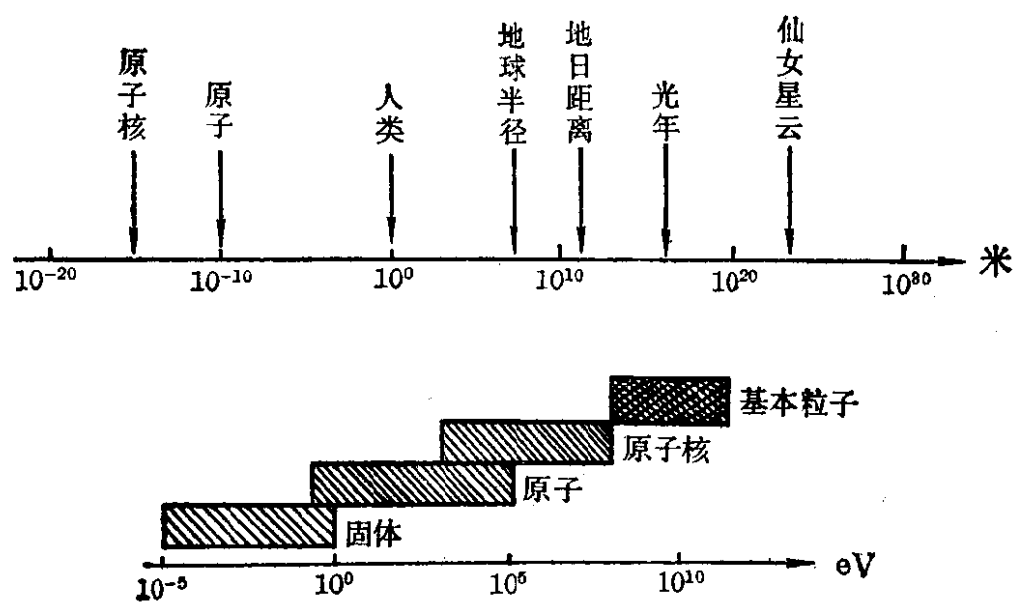


图2 基本粒子的“地理”位置

+ 探 深 观 微 +

基本粒子既然是多种多样的，那末我们就应该有科学的方法来把它们加以分类，正如我们用若干特征来区别各种植物、各种动物或各个人种一样。不过基本粒子有所谓全同性，即我们只能区别属于不同类的粒子；而对于同一类的粒子它们的外表和性格都是完全相同的，即除了位置和运动状态可有不同外都是相同的，以致我们无法把它们区分开来，就好象我们只能区别不同的人种而不能区分同一人种中的个别的人。如同我们用例如肤色、身长、毛发等固有特征来区别人种那样，用以区别基本粒子的特征的就是若干量子数，其中最重要的有静质量、电荷、自旋等，这些物理量在经典物理里都可有相应的类比；此外还需要若干没有经典类比的量子数，例如宇称、同位旋、奇异数、轻子数、重子数等(参看以后有关章节)。所谓对基本粒子的鉴别就在于确定它的全部量子数。当然对于一个确定的粒子(具有确定量子数的粒子)还会有不同的运动状态，例如它们可以有不同的能量，动量或角动量等。正象某一人种中的个人的精神状态和健康情况有时是会不同的。

只有能对基本粒子进行鉴别并能观测它的运动状态，才能对它进行定量的研究。可是怎样才能观测到基本粒子呢？通常我们用以探测的仪器要比被探测的对象更精密细致。可是基本粒子是如此微小，其半径不过 $\sim 10^{-18}$ 厘米，即使在小如针尖的范围内也足以容纳亿亿计的基本粒子，当然我们无法用肉眼看到它，甚至用高倍显微镜也不能观察到它。我们

目前还无法用比基本粒子更精细的仪器来探测基本粒子，最多也只能用基本粒子本身来探测基本粒子，实际上目前最精密的仪器的主要工具就是基本粒子中的光子和电子。为了最终能进行观测还必须通过宏观仪器的记录，对基本粒子的观测必然是间接的，而且远比其他领域的观测更为间接，因此对实验数据的分析往往需要庞大的工作量，还需要电子计算机的帮助。

观测工具的创制和改进往往可以促进科学研究的重大发展，常常也是科学发展史上的重要标志。这一点在基本粒子领域里就更为突出。在基本粒子领域里观测工具的研究创制，由粗糙到精密、由简单到复杂，目前更是日新月异、突飞猛进，已发展成为一个专门的领域，它对基本粒子研究起着极其重要的推进作用。

我们不在此地详细地分析基本粒子的各种观测仪器的性能和结构，以免占用过多的篇幅并分散我们的注意力。我们仅对其原理述其概要。

基本粒子的观测工具虽然名目繁多，然其原理却不外是利用基本粒子和介质中的电子或原子核的电磁相互作用。由于这种相互作用，当带电粒子通过介质时常使介质中的原子电离*。被电离的原子(离子)可以用电的形式显示出来，例如可以在外接电路中形成电流(需要时可以放大)从而观测它的电流波形。或者由电能转换为声能，我们就可以听其声而计其数，例如盖革-穆勒(Geiger-Müller)计数器、正比计数器、闪烁计数器和半导体计数器均属此类。这种计数器往往只能观测事件的发生而不能记录事件的过程。

* 使中性原子失去其一个或多个价电子而成为带电的离子的现象称为电离。

早在1908年由盖革所发明的计数器,其构造也是很简单的,它不过是在金属管中心封入导线,并使管内气压减低,在导线和管壁之间加上适当的电压。如果有带电粒子通过管内,在它的路程上可能使管内气体分子电离而出现离子,这些离子在所加电压作用下加速又可产生更多的离子,而在管壁和中心导线之间产生脉冲电流。平时没有带电粒子通过管内,就没有离子产生也就不会出现电流。所有其他的计数器也都不过是在这个计数器的基础上发展起来的。

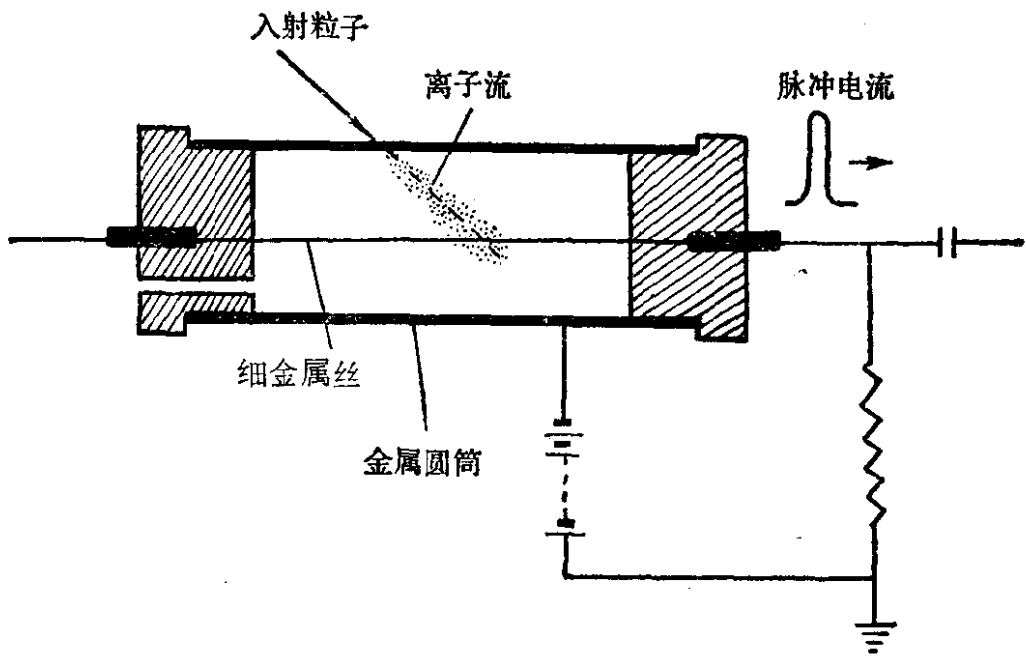


图3 计数器结构示意图

离子也可以由光的形式显示出来,以便观其形而察其事。例如由于电离作用,粒子射击到荧光屏上可以显示出光斑,粒子可使乳胶片感光并在乳胶片内留下粒子走过的痕迹。又如在1911年由威耳逊 (Wilson) 所发明的云雾室,就是利用在过饱和水蒸汽中产生离子,以致水蒸汽的水分子可以这些离子为核心而形成水滴这样的原理来制成的。云雾室中充以

水蒸汽，如果让云雾急速膨胀，温度下降，这样就可以在室中得到过饱和状态的蒸汽，如果这时有带电粒子通过云雾室，就会在它的路程上产生离子，从而产生水滴留下可观察的痕迹。又如离子可使过热液体形成气泡（气泡室）。在金属板之间的高速离子可以在金属板被电击穿时形成火花（火花室）。这些都是以光的方式显示出粒子过程的简单描述，它们所基于的原理也都只是威耳逊云雾室的原理的发展。总之由于基本粒子和介质（包括气体、液体、固体或半导体）的相互作用，可以通过光的方式把粒子在介质中的电离过程留下痕迹。这好象在高空飞行的飞机，当它在云层中飞过时常会留下



图4 云雾室一角

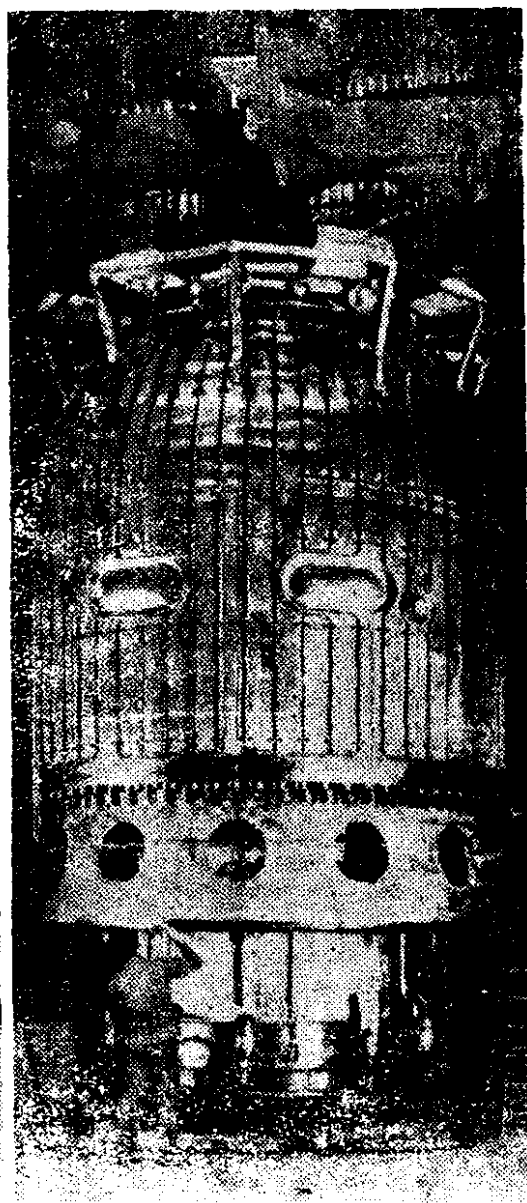


图5 气泡室外观

一条明显的痕迹。通过拍照可把粒子运动的痕迹记录下来以备随时分析。问题在于我们怎样来分析这种痕迹以鉴别通过的是哪种粒子,以及它处于怎样的运动状态。

原来不同种类的粒子与介质的相互作用的机制不同,在介质中留下的痕迹的形态也各异。因而我们可由痕迹的形态来鉴别出粒子的所属种类。例如重的带电粒子,质子或 α 粒子*等,在与介质中的原子相碰撞而使介质原子电离时,由于它的质量较大,它的相对的能量损失 $\Delta E/E$, 它的相对的动量改变 $\Delta P/P$ 都是很小的。当然实际上粒子通过介质时往往不只是经过一次碰撞而是经过多次碰撞,即使考虑到多次碰撞的统计相加,重带电粒子的能量损失和动量的偏离依然是相对很小的。因而重带电粒子的径迹一般是平滑而很少曲折的。

如果入射的不只是一个而是一束重的带电粒子,并具有一定的能量和一定的入射方向,在通过介质的多次碰撞后,其能量会有稍许的减少,并且变成不再是单值的而是分布在一个很小范围之内。其出射方向也会分布在原来方向附近的一个小范围内。只要介质的厚度不超过一定的数值,入射的重带电粒子将几乎全部可以透射过去。可是当介质的厚度增加到一定的数值时,几乎全部粒子都被截止在介质之内。透过粒子的数目与介质厚度的关系如图 6 所示。也就是一定能量的重带电粒子通过介质时将会有一定长度的径迹。这个长度的大小与介质性质以及粒子的能量有关。因而粒子在介质中的径迹的长度也是我们测量重粒子能量的一种方法。

光子和介质的相互作用主要通过三种方式:(一)光电效

* α 粒子是由两个质子和两个中子所组成的复合粒子。