

真空的跃迁

德青

提到真空，人们就会把它理解为完全空虚的空间。按经典物理学的概念，凡是在一体积内没有实粒子存在的状态就称为“物理真空”，它和通常的空虚空间的概念是一致的。在这个空间中，没有物质，没有粒子也没有光子等等。但是由廿世纪初所发展起来的狭义相对论和量子力学两大主要理论所组成的近代物理对真空的理解却完全和经典的概念不同。

三十年代，英国理论物理学家狄拉克把狭义相对论和量子力学结合起来，建立起很好描述电子运动规律的方程。但是在方程中存在着负能量的解。负能量态表示比正能量态更低的状态。物理世界一切粒子、物质能量都是正的。如果有负能量状态存在，那么势必得出这样的结论，一切正能量态的粒子和物质都将无休止地向负能量态“倾注”，这样宏观物体岂不要完全解体了吗？

为了摆脱这种与客观事实不符的困境，狄拉克提出了所有电子的负能态已经完全被占据，没有空位让新的电子来就座。这样来解决这个正能态向负能态跳跃的矛盾。根据这一假设，真空实际上是被无数多个负能电子所填满的大海。客观世界发生的一切物理现象都是以这个负能电子海为背景，而这个被负能电子所填满的大海并不产生任何可观察的效果。只有当负能电子吸收了足够的能量跳跃到正能态成为一个普通电子时，在大海中才会留下一个可观察的空穴。这个空穴就表示少了一个负电荷、负能量的粒子，也可看成多了一个正电荷、正能量的粒子。这个带正电的粒子被狄拉克定名为正电子。随后，在 1932 年由美国的安德逊从宇宙射线中发现了正电子，从而在 1936 年荣获诺贝尔奖金。自此以后，反质子、反中子和其他的反粒子相继被发现。

也许人们会问，怎样才能证明这个无穷多负能电子海的存在呢？

根据量子电动力学的精确描述，在真空中不断地消灭、不断地产生着虚的正、负电子对。这些带电的虚粒子在电场的作用下，将沿场的方向排列，正像物质中的分子在电场作用下，沿场方向极化一样。例如，在真空中重原子核附近的强电场就会产生“真空极化”现象。这一效应可使原子中的电子受到场的作用而产生可观察到的能级移动，精细的实验结果很好地与理论取得一致。

由此可见，用近代物理的观点来看“真空”，它决不是简单的空虚空间，而是极为复杂，内容十分丰富的。

它揭示了真空的物质性。

从物理真空到简单真空

科学家在过去的岁月里，为了解释粒子物理和宇宙论方面的疑难问题，相信早期宇宙真空的性质与现在的状态有着显著的不同。

长期以来，使粒子物理学家困惑不解的是：在真实的世界中与粒子物理的简单图像格格不入的是观察不到自由夸克。许多物理学家力图找到单个夸克所作的努力从未成功。现在人们相信原来构成物质的基本砖块夸克和胶子都携带一种与电荷大不相同的“色”荷，它是与我们所生活的物理真空强烈排斥的，绝对不能相容的。夸克只存在于一种能量密度非常高的状态中，这种状态称为“简单真空”。夸克在简单真空是自由运动的。例如，在核子非常小的线度内，由于夸克的动能非常大，使得核子内部的能量密度很高，这样高的能量密度足可以把那里的空间变成“简单真空”。因此，在原子核内的物理真空运动的核子犹如一个简单真空的小“袋”。用这个简单的袋模型解释观察到的“基本”粒子的质量谱已取得很大的成功。

在宇宙大爆炸后的几微秒的瞬间，早期宇宙的能量密度相当高，以致于可以使整个宇宙处在“简单真空”之中。夸克和胶子除了碰撞散射之外，总是作自由运动的，这种状态称为夸克胶子等离子体。当宇宙膨胀冷却时，简单真空又转变到现在的物理真空的状态，夸克成群地集结到我们目前所看到的质子、中子内部。

大型计算机运算给出，当温度达到 2 垓度（1 垓为 10^{12} ）时，物理真空即转变为简单真空，如果用 1 万 2 千度的温度等价于 1 电子伏来换算，即相当于 170 兆电子伏的能量。

熔 融 真 空

与冰吸水潜热而熔化类比，我们将物理真空过渡到简单真空称为“熔融真空”。

现在我们要问应如何产生这样高的温度以模拟大爆炸早期的宇宙状态呢？用什么样的真空盒子来做我们的加热炉呢？原子核内部大部是物理的真空，而质子、中子仅占一部分体积，看来原子核就是我们理想的加热炉，加热方式就是原子核的碰撞。可惜，我们现在所进行的高能碰撞是利用质子撞击原子核，而单个质子往往只能把原子核穿了一个洞，而不能使整个原子核加热。两个质子对撞，成员又太少了。

日、美联合施放高空气体，把大块“核乳胶”带到高空经受宇宙射线的轰击，结果发现了 100 垓电子伏的硅核撞击一个银核而产生上千个带电粒子的可喜景象。测量结果表明温度已达 200 兆电子伏，恰是所需的温度范围。这就表明要模拟这一跃迁过程，采用轻核轰击重核是适宜的。

美国加州洛仑兹伯克利实验室的加速器已进行了

每个核子 2 京电子伏（1 京=1000 兆）能量的重核碰撞。最近他们把铀束加速到 1 京电子伏/核子或 200 京电子伏/核。积累了很多实验数据。不过他们还是嫌能量太低，所以没有观察到这种夸克胶子等离子体的跃迁。

在欧洲联合核子研究中心(CERN)，已将氦核引进交叉的储存环里，作两束粒子对撞，其有效束的能量大约为 1000 京电子伏/核子。只有四个核子的氦核对撞，其相撞情形和质子对撞差不多，他们观察到大角散射的粒子。

现 CERN 正同德国、美国实验室一道建造氧粒子束流（氧核有 16 个核子），准备在 CERN 的质子同步加速器上进行加速。能量可达 16×225 京电子伏。实验可望在 1985 年进行。另外，美国咨询委员会已决定建造直到铀核的各种核的高能对撞机作为下一个加速器。他们利用在纽约布鲁克海文国家实验室那个已废弃的前 ISabelle 加速器的地下隧道，计划进行将硫核注入到目前的 30 京电子伏的同步加速器中进行实验。

能量即使达到，如何测量碰撞后产生的成百上千的粒子也决非易事，这确是对高能物理学家的严峻考验。用分辨率高达 1000 条线/毫米的核乳胶对宇宙射线所产生的碰撞探测是很好的，但却不适用于分辨夸克胶子等离子体。

迄今，还没有人在一次事件中测得上百个粒子。不过决心作这种实验的物理学家们研究过这一问题认为利用当前最好的技术是可以解决这一问题的。

去年春，CERN 已经在高能正反质子对撞机上找到了 W^\pm 、 Z^0 粒子。从而证明了早在 1967 年被格拉肖、萨拉姆和温伯格所提出的弱、电统一模型，使自然界的四种基本作用力之中的两种统一起来。弱、电统一理论的成功，使理论物理学家确信，他们企图统一自然界的各种力的途径是正确的。

根据量子色动力学理论，在低能时，强相互作用强度比弱、电相互作用强度大得多。随着能量的增加，夸克胶子相互作用强度趋近于零，即所谓的“渐近自由”。因此，必然存在着这样的能量密度，在这个能量密度之下，强、弱和电相互作用具有类似的强度，只有在这个能量密度下，才有真正大统一明确的意义。

如果实验上真的能够达到那样高的能量密度实现简单真空，就可模拟大爆炸后某一阶段的情景，瞥见真正自然力的大统一。夸克囚禁、量子色动力学理论、宇宙演化也会取得进一步的认识。随着碰撞温度的降低，简单真空又恢复到我们所接触到的物理真空。各种相互作用都冻结起来，展现出我们现在所见到的强、电、弱相互作用强度的明显差别。科学家们估计过，在这种高能核——核碰撞过程中，夸克、等离子体冷却凝聚时可能形成至少有 50 个夸克所组成的新物质形式。