



卢鹤绂

自然科学基础理论的发展，对于人类社会实践有时会产生巨大的影响；这往往会出乎人们的预料。号称“现代原子物理学之父”的大科学家卢瑟福，当年就不能预见到今日原子核能利用的广阔景象，迟至三十年代中期他还在说什么：“就释放能量来说，用原子核来做实验可以说是纯属浪费，所有那些谈论在工业上利用核能的人们都是在作荒唐的空谈。”然而，“荒唐的空谈”终究变成灿烂的现实，历史的经验就是如此。那末，今日高能粒子物理学的蓬勃发展，会对人类今后的社会实践产生怎样的影响呢？根据当今世界的研究动态，我想谈几种可能性，这当不至于是无稽之谈吧。

(一)

所谓“原子能时代”，就是以人工释放原子核内潜在能量为其主要标志的。如何更有效地实现和控制重核裂变和轻核聚变，是人类对能源探索的重大实践问题。

先谈裂变问题。众所周知，天然裂变物质铀²³⁵地面存量有限，人们正在试行采用在裂变链式反应堆内增殖的办法来补充燃料的损耗，即让天然存在的不适于裂变的物质，诸如铀²³⁸和钍²³²，吸收中子，转变成适于裂变的物质钚²³⁹和铀²³³。为了实现这一转变，或者用快中子增殖反应堆，或者用慢中子（热能中子）增殖反应堆。但是二者都是利用反应堆内裂变本身产生的中子，前者堆中心能量密度过高，难于控制，后者由裂变产生的中子不足于提供增殖燃料所需的中子，因此都有其难以克服的缺点。而对后者来说，高能加速器却能成为经济上合算的强中子源，补充中子的缺额数。

实验证明，每个 1 GeV 的质子射入铀块中会产生约 50 个中子，据此可料到，每个 1000 GeV 的质子就将

产生 5 万个中子；同时还在铀块中产生大量热能，可用来推动热机、供应电力。高能质子束的增殖量是大的，据估计束流为 300 毫安培的 1 GeV 质子束每年能生产 1 吨可裂变燃料。而如果仅给增殖反应堆提供补缺，所需束流就可小得多。美国布鲁克海文实验室正在考虑这种新的增殖计划。显而易见，它并不涉及什么崭新科技，是完全可以办到的。

当年，卢瑟福单从加速器本身所耗功率和入射粒子能量的大部分在靶内耗散为热这两点，就否定加速器会对大规模利用核能产生任何贡献，在今日看来似乎是太片面的了。

(二)

经济上合算（指得偿所失）的受控热核聚变的探索工作在全世界范围已进行了三十年，成功尚未在望。利用稳态磁场束缚高温等离子体的企图并未成功，一些耗费甚巨的稳态装置大都收了场。剩下的只是快慢脉冲压缩装置继续在做。慢脉冲的前景也不妙。近年来人们热衷于采用特快脉冲的探索，其目的当然是尽快地达到足够高的等离子体密度和温度，使在脉冲期内由热核反应释放的能量超过产生脉冲所耗费的能量。既然靠的是特快脉冲，就不必一定要靠磁场来提供这一冲击，四面八方的惯性冲击就有可能导致成功。大家知道，首先被用来试探的是强激光脉冲，继而采用高能电子束。而随着高能加速器技术的发展，人们又认为，用高能重离子束实现热核聚变的可能性更大。因为重离子束能量更高、惯性更大、在靶物质上的能量沉积率更强。经计算人们知道，若重离子束的总能量达到 10^6

* 本文是《高能粒子物理学漫谈》一书（即将由上海科学技术出版社出版）第七章的缩写。

焦耳,脉冲功率达到 10^{14} 瓦,使每克靶物质(氘、氚)承受 2×10^7 焦耳,则即可达到预期目的。有些地方正在按此要求设计高能(几十 GeV)重离子加速器,以及使这个高能重离子脉冲倍加的储存环;或者用铀离子,或者用其它重离子。国外有人鼓吹:“如果核聚变真有一天成为人类能源之一,高能重离子束途径是最有可能成功的一种。”一般认为这类企图在概念上是正确的,在当前已有技术上也是办得到的。然而还应指出,这条途径的成本费用也极高,即使成功,也不大可能比其他常用方法便宜。但既然它最有可能取得能量增益,总不免引得人们兴趣倍增,跃跃欲试。

(三)

冷核聚变是释放原子核能的另一条途径。夸克能否催化冷核聚变?这里以氘核为例,从冷核聚变的机理说起。氘气分子的两个氘核由其共同的轨道电子束缚在一起,并不散开;但又由于其间的静电斥力而不聚合。轨道电子的玻尔半径在 10^{-9} 厘米数量级,与强相互作用的有效力程 10^{-13} 厘米相差甚远,因而聚合的几率是微不足道的。倘若以质量比电子大二百多倍的负 μ 子代替电子,玻尔半径缩小了二百多倍,氘核聚变的几率就大为提高。两氘核聚合,放出能量,原负 μ 子又被释放出来。这就是说, μ 子并不损耗掉,仅起催化作用。但是 μ 子不够稳定(半衰期为 10^{-6} 秒),不能长时间连续使用,因而 μ 子催化冷核聚变,实际上不能提供有效的能源。

目前能在加速器上产生的带负电重粒子都比 μ 子更不稳定,这就使多年来渴望实现冷核聚变的愿望终成泡影。但是人们对夸克模型还寄予一线希望:如果这种理论模型确实正确反映客观实在,“夸克囚禁”又可打破,那末就可指望用带负电的自由夸克代替电子,达成冷核聚变而放能。

因为要是带有分数电荷的夸克确能存在于自由状态上,那末按照电荷守恒定律,至少有一种夸克是稳定的。假定自由夸克质量很大,那就会与电子环绕氘核

运动不同:夸克和氘核组成的束缚体系实际是氘核环绕夸克或夸克对运动的体系,其玻尔半径约为 10^{-12} 厘米数量级。这就是说,此时氘核聚变是相当容易发生的。在一对氘核聚变的同时,夸克或夸克对重又被解放出来,再去催化另一对氘核聚变。有人计算,在压到每平方吋两千磅的氘气中,用反夸克对($\bar{u}\bar{u}$)催化核聚变的速率约为每秒 1 次左右,而每次聚变平均放出 3.65 MeV 能量。这是十分可观的放能速率,照此推算,10 公斤的($\bar{u}\bar{u}$)就有可能足够催化出全世界目前所耗费的功率了!

这可并不是“荒唐的空想”,而是有一定科学根据的推测,如果真的存在很重的自由夸克,这或者可说是合理的预言。我认为这是很重要的。我们在更高能量领域里进行科学实验,根据观测到的新奇现象会发现有必要改造旧的理论,或者建立新的理论,并进而据此作出科学预言。历史表明,正确的预言能指导社会实践,为更大规模地改造自然提供有效的手段。如果夸克理论是正确的,而很重的自由夸克确能稳定存在的话,那末它给人类带来的福利将是无可估量的。让我们衷心祝愿未来的高能加速器会把携带着京电子伏能量的夸克从普通物质中解放出来吧。

从技术上讲,人类业已跨入“原子能时代”,未来的能源革命具有什么样的特性,现在当然还很难断言;当然也难预料未来的高能实验还会揭示出什么样的更有利于人类的微观奥秘,使人类有可能发明创造出在更大规模上释放能量的手段。但就目前状况来看,就已可肯定:高能物理学的突破,将使社会面貌为之改观,它给人类社会实践带来的影响之大,将远远超过四十年代中子物理学导致的原子核反应堆的发明。因此,今日大力推动高能物理学的理论研究以及加速器等高能技术的进展,对于人类的长远利益是有极为重大的意义的。

(题头设计:冯永路)