

国内外高能物理与高能 加速器的发展

中国科技大学 金玉明

安徽省科学技术情报研究所

說 明

英明领袖华主席继承毛主席的遗志，粉碎了“四人帮”篡党夺权阴谋，推动了我国社会主义革命和建设的发展。一年来，全党全军全国各族人民积极响应华主席抓纲治国的号召，抓革命促生产，出现一派大干快上的新形势。在华主席关于“科学要兴旺发达起来，要捷报频传”的指示精神鼓舞下，科技战线也和其他各条战线一样，形势大好。为了赶超世界先进水平，为实现“四个”现代化贡献力量，为制订我省科学技术发展规划服务，我所在有关单位的大力支持下，请各专业的科技领导干部、专业研究人员，分学科作国内外科技发展水平、动向学术报告，现将报告材料付印，供参考。

安徽省科学技术情报研究所

一九七七年十月

一、什么叫高能物理

高能物理是研究“基本”粒子内部结构及其相互作用、相互转化规律的科学。它是当代自然科学中三大前沿科学之一（毛主席提出的三大前沿科学是指天体演化、生命起源、物质结构）。高能物理研究的进展，必然会直接间接影响到其他学科的发展，必然同新材料、新能源、新技术的发展有密切的联系。高能物理研究的重大突破，必将最终地推动社会生产力的发展。

1. 人类对物质结构的认识

从中国古代的“五行”之说到今天的“层子”模型，从古希腊的“原子论”到现代的“夸克”学说，人类对物质结构的认识经过了漫长的岁月。早在西周初期，中国的一些朴素的唯物主义者，就提出了“五行”说，认为世间万物都是由金、木、水、火、土这五种东西组成的。此后，古希腊的哲学家德谟克利特（公元前五世纪）曾经假想自然界里一切物体都是由极小的不能再分的原子组成的。到了十九世纪初叶英国物理学家兼化学家道尔顿又提出了现代的原子论。这种认为原子是构成物质的始原的看法一直延续到十九世纪末。

十九世纪末叶到二十世纪初物理学上一系列重大的发现打破了原子不可再分的陈旧观念。1896年法国物理学家贝克勒尔发现了天然放射性，1897年又发现了电子，说明了原子不再是构成物质的始原了。原子里面包含了比原子更小的微粒。那末原子究竟是由什么构成的呢？为了回答这个问题，1910年英国物理学家卢瑟福做了一个 α 粒子的散射实验。他用一种带正电荷的 α 粒子去打一片很薄很薄的金属片。发现绝大部分粒子穿过金属薄片方向不会改变，其中有很小一部分发生小角度（ $2^\circ-3^\circ$ ）的偏转，极少量的 α 粒子有大角度偏转，甚至个别的 α 粒子被弹了回来。这个实验说明了原子并不是一个均匀分

布的实心的东西，而里面是很空很空的，使大部分 α 粒子能毫无阻挡地穿过它。卢瑟福根据这个实验提出下面的原子构造模型：原子就好像太阳系似的。中心是一个小而重的带正电荷的原子核，周围有若干小而轻的带负电荷的电子绕核旋转，正负电荷抵销，所以整个原子是中性的。原子的半径大约为一亿分之一厘米左右，而原子核的半径只有原子半径的万分之一左右。

原子既然可以分为原子核和电子，那末原子核是不是也可以再分呢？1919年卢瑟福用放射性镭 (RaC') 放出的 α 粒子去轰击氮原子核，发现氮原子核变为氧原子核的同时放出一个质子(即氢原子核)。这个实验说明质子是组成原子核的一种成分，原子核也是很复杂的。到了1932年又发现了中子，人们终于认识到原子核是由质子和中子组成的。质子带正电，中子不带电，质子和中子统称核子，它们以很强的核力结合在一起构成原子核，所以一般的原子核是很坚固很稳定的。那时人们已经知道了三种微观粒子即电子、质子和中子。这三种粒子给它起个名字叫“基本”粒子。所谓基本粒子物理学就是从那个时候(1932年)开始的。1932年底又发现了正电子，也加入了“基本”粒子的行列。到了四十年代，在宇宙射线实验中又发现了一些新的“基本”粒子，如 μ 子、 π 介子等。尤其是到了四十年代末五十年代初，中能和高能加速器出现以后，许多新的“基本”粒子也陆续被发现了，特别是许多反粒子如反质子、反中子等只有在高能加速器建成后才能被发现的。直到现在，人们已经发现二百多种“基本”粒子。于是“基本”粒子是否可以再分的问题又摆在人们的面前了。

2. 高能物理研究的对象

我们开头就指出高能物理学就是研究“基本”粒子的内部结构及其相互作用、相互转化的规律的科学。“基本”粒子的内部究竟是否

有结构，或者说“基本”粒子是否可以再分的问题是大家很感兴趣的问题。本世纪六十年代，人们用高能电子（约十亿电子伏能量的电子）去轰击质子时，发现质子的电荷是分布在一个半径为百万分之八厘米（ 0.8×10^{-12} 厘米）的球体上的。1968年，当人们用更高能量（约二百亿电子伏）的电子去打质子时，甚至发现了质子内部的电荷呈点状分布，而不是连续分布的。这就说明“基本”粒子也是有结构的。也就是说“基本”粒子并不是最“基本”的，它是由更深一个层次的粒子构成的。六十年代中期我国“基本”粒子理论工作者提出了关于“基本”粒子结构的“层子模型”，认为“基本”粒子是由三种更基本的“层子”组成的。这些层子可以带分数电荷，如三分之一或三分之二的电子的电荷。在同一时期国外也提出了所谓“夸克（quark）”模型，与层子模型的思想差不多，认为“基本”粒子（更确切一点是“强子”）是由三、四种“夸克”组成的。但是至今尚未为实验证实。

二、研究高能物理的意义

1. 高能物理的研究对于捍卫毛主席关于物质无限可分的光辉哲学思想具有重大的政治意义。

对于物质结构的认识，自古以来就存在着两种思想的斗争。一种认为一切物质都是由一种或几种最基本最始原的粒子组成的，而这种最小的粒子是不能再分的了，这是一种形而上学的观点。另一种看法就是认为物质是无限可分的，不存在最基本最始原的粒子，这是一种辩证法的思想。

到了五十年代中期，人们已经发现了二十几种“基本”粒子了。那时候大多数物理学家都认为“基本”粒子是最“基本”的了，不能再分的了。就在1956年我们伟大领袖毛主席在一次谈话中批判了“基

本”粒子不可分的观点，提出了物质无限可分的思想，预见二十年来“基本”粒子研究的发展。

毛主席教导我们：“事物都是一分为二的。”“你看在原子里头，就充满矛盾的统一。有原子核和电子两个对立面的统一。原子核里头又有质子和中子的对立统一。质子又有质子、反质子，中子又有中子、反中子。总之，对立面的统一是无往不在的。”不论在自然界、人类社会和人们的思想中，没有一处不存在矛盾，没有一个事物是不可分析的。一分为二，这是个普遍的现象，这就是辩证法。如果承认有一个事物是不可分析的，就是形而上学。世界是无限的。在时间上和空间上都是无穷无尽的。在太阳系外面还有千千万万个“太阳”，它们组成银河系；在银河系外面还有千千万万个“银河系”……宇宙从大的方面看来是无限的。宇宙从小的方面看来也是无限的。质子、反质子、中子、反中子、电子、正电子等等，这些“基本”粒子还是可分的。物质是无限可分的。因此，我们对世界的认识是无止境的。

二十年来：高能物理的发展完全证实毛主席的科学预见。尤其是七十年代以后，“基本”粒子实验中的一些重大发现，如我国云南高山宇宙射线实验站在1972年发现一个质量比质子质量大十倍以上的重粒子事例；1974年美籍中国物理学家丁肇中在美国布鲁克海汶实验室的330亿电子伏的质子同步加速器上发现了新的超重介子J，质量差不多是质子质量的三倍多；1975年以来又发现了质量为质子质量3到5倍的许多重介子。这些重要发现进一步说明了“基本”粒子是可以再分的。因此，高能物理的研究是在自然科学中捍卫马列主义，毛主席的辩证唯物主义哲学思想，批判形而上学，唯心主义的一场斗争。

2. 高能物理的研究必将会导致生产工具发生革命性的变革，推动

社会生产力的发展。伟大导师恩格斯曾经说过：“在马克思看来，科学是一种在历史上起推动作用的，革命的力量。”从历史上看，人们对物质结构认识的每一次突破，都会对工业生产和军事技术产生革命性的影响。例如，由于人们深入地研究了原子结构，就促进了电子学技术、半导体技术、激光技术以及计算机技术、自动控制技术的迅速发展，并在生产和国防上得到应用。同样，当人们掌握了原子核的结构和性质时，就产生了原子弹、氢弹、核电站、核潜艇以及放射性同位素在工业、农业、医学等各方面的应用。可以预期，对高能物理的研究也定将会给工业生产和军事技术带来深刻的变化。目前虽然高能物理这门学科还处在幼年时期，但也已经出现一些应用了。如用高能加速器产生的中子、光子、 π 介子做固体物理、原子核物理的研究，还可以做化学、生物学、医学上的研究；用高能加速器产生的 π 介子来治癌比目前使用的 γ 射线、电子射线的治疗效果要好得多。同时，在高能物理研究过程中出现的某些新技术如探测器技术、自动控制技术也可以在工业生产和国防上得到应用。总之，工业为高能物理的研究创造了条件，反过来，高能物理的研究也必然会促进工业技术的发展。

三、研究高能物理的基本设备——高能加速器

1. 高能加速器在高能物理研究中的作用与地位。

高能加速器在高能物理的发展中起着决定性的作用。现在看来，高能物理的发展水平主要取决于高能加速器的水平，取决于加速器加速粒子的能量的高低。从人们探索物质结构的历史来看，加速器的能量每提高一步，对物质结构的认识就深入一个层次。例如三十年代到四十年代，加速器出现不久，能量只有几百万电子伏到几千万电子伏，那时只能研究原子核这个层次。到了五十年代，加速器的能量提高

到几亿电子伏到几十亿电子伏时，许多新的“基本”粒子在加速器上发现了。尤其是一系列反粒子，如反质子($\bar{p}$)、反中子($\bar{n}$)、反莱姆塔超子($\bar{\Lambda}$)、反西格马负超子($\bar{\Sigma}^-$)、反西他负超子($\bar{\Xi}$)等都陆续在高能加速器上发现了。并且可以作“基本”粒子的相互作用、相互转化方面的研究，人们便进入“基本”粒子这个层次了。但是到目前为止，世界上最高能量的加速器，还不足以把“基本”粒子打碎，所以要深入到研究“基本”粒子内部的结构时，又要求更高能量的加速器了。

2. 高能加速器简介

加速器是使带电粒子得到加速的装置。我们知道带电粒子在电场中受到电场力的作用，速度会越走越快，也就是受到加速。换句话说，带电粒子会从电场中得到能量。如果带一个电子电荷的粒子（如电子或质子）在电场中经过1伏的电位差时，就得到一个电子伏的能量（在加速器中度量粒子的能量常用电子伏这个单位，1电子伏 = 1.6×10^{-12} 尔格）；若经过1千伏的电位差时，则得到1仟电子伏的能量；经过1百万伏的电位差时，就得到1百万电子伏的能量。

加速器有许多种，有利用直流高压电场加速粒子的高压型加速器（包括静电加速器、高压倍加器、绝缘芯变压器型加速器等）；有利用高频谐振电场加速粒子的回旋加速器、同步回旋加速器（又叫稳相加速器）、同步加速器；利用微波电场加速粒子的直线加速器、电子回旋加速器；还有利用涡旋电场加速粒子的电子感应加速器。现在能把粒子的能量加速到十亿电子伏以上的（所谓高能加速器）只有同步加速器和直线加速器两种。而其中强聚焦质子同步加速器，是当前高能加速器的主要类型。目前世界上质子同步加速器的最高能量已经达到5000亿电子伏，加速器的环形轨道的直径达2公里！

同步加速器是利用粒子多次通过高频加速电场逐步加速而获得高能的原理来加速粒子的。同步加速器是一种环形的加速器，粒子的轨道大致上是一个圆的形状。在圆的粒子轨道上安放几个高频加速站（频率为5—10兆周）。同时在粒子轨道上安装一系列弯转磁铁和聚焦磁铁，用来使粒子拐弯走圆弧形轨道，并使粒子聚焦起来，不会散失掉。为了使被加速的粒子不致于与其他气体分子碰撞损失掉，还得为被加速的粒子提供一个环形的真空室，使用几十台甚至几百台真空机组维持真空室的真空度达到 10^{-8} 托以上的真空度。

现代的高能加速器是由几台加速器组成的一个加速器组。一般由高压倍加器、直线加速器、增强器和主加速器（后两台都是同步加速器）组成。质子从离子源出来进入高压倍加器加速，从高压倍加器出来后又进入直线加速器加速，再经过增强器加速，最后进入主加速器。质子在主加速器中加速到最高能量后引出到实验区供实验用。

高能加速器是一个规模巨大的技术综合复杂的工程。它涉及到高频技术、高电压技术、高真空技术、微波技术、磁场技术、自动控制技术、计算机技术以及精密机械加工等。是一项巨大的工程，消耗的费用通常要几亿元。

3. 我国的高能加速器的设计方案

高能加速器在我国是个空白，这种情况与我们这样一个八亿人口的大国是不相称的。从75年开始中央批准我国自己建造一台高能加速器。这台加速器的设计能量初步定为400亿电子伏。它是由四台加速器组成的，即由一台75万电子伏的高压倍加器，一台50百万电子伏的直线加速器，一台10亿电子伏的增强器和一台400亿电子伏的主加速器组成（后面两台是环形质子同步加速器）。粒子的加速过程是这样的：质子从离子源出来便进入高压倍加器加速到75万电子伏，质子从

高压倍加器出来后再进入直线加速器加速到50百万电子伏，再注入到增强器加速到10亿电子伏，最后进入主加速器加速到400亿电子伏的能量后引出到实验区供实验用。

除了高压倍加器和直线加速器放在地面上外，增强器和主加速器及实验区都放在地下。主加速器的环形隧道的直径约300米左右，增强器的环的直径为主加速器的直径的十分之一（即30来米）左右。

四、国外高能物理的研究和高能加速器的建造情况

迄今已经发现的“基本”粒子已达二百多种。现在主要的精力是要进一步探索“基本”粒子内部的结构，并探讨它们之间相互作用的力学规律。理论上已预言“基本”粒子中的强子（参加强相互作用的粒子如质子、中子、 π 介子等）是由所谓“层子”（国外叫“夸克”），组成的，但层子这种东西至今仍未找到。看来要把层子打出来，则要求比目前能量高得多的加速器，有人认为需要十万亿电子伏左右的能量的加速器。

随着高能物理的发展，高能加速器的能量从五十年代起差不多以每十年增长十倍左右的速度向前发展。世界各个经济大国都花费了巨额资金竞相建造能量更高的加速器，以便在高能物理方面处于领先地位。过去二十多年美国已在高能物理上投资了30多亿美元（包括高能探测器）。苏修为了与美帝争霸，在高能物理上也花了不少气力。每当美国建成一台新加速器，苏联也争着建造一台能量更高的加速器。但工程进展缓慢，加速器性能很差，物理实验成就不多。苏修虽未公布其费用，但估计他在高能物理方面的总投资与美帝也不相上下。从这里也可看到苏、美争霸的情况。西欧各国为了打破苏、美两霸在高能物理方面的垄断局面，他们联合起来在日内瓦成立了一个西欧原子核研究中心（有英、法、西德、瑞士、意大利等十二个国家参加），

联合起来发展他们的高能物理。除了日内瓦这个基地外，他们自己国内也还有些规模小一点的加速器，估计西欧各国在高能物理上投入的人力、物力加起来与两霸也差不了多少，可以与两霸抗衡。所以在高能物理方面现已形成美、苏、西欧三足鼎立的局面。

目前世界上已建成的高能质子同步加速器（能量大于10亿电子伏）有12台（不包括美国已关闭的两台），其中美国有四台，苏联有三台，第二世界英、法、西德、日本等五台，第三世界空白。这十二台中有三台是七十年代新建的，其余九台是六十年代建成的。各种对撞机（包括质子——质子，电子——正电子对撞）有七台，其中美国一台，苏联两台，其余四台属于第二世界。加上已建成的电子直线和电子同步加速器，全世界高能加速器有二十几台。

现在我们举两个例子来看看世界上最大的高能加速器的规模和投资。如美国巴塔维亚费米实验室的5000亿电子伏的质子同步加速器。这台加速器1969年开始建造，1972年完成，前后花了三年多时间（这个速度是相当快的），投资2.3亿美元。加速器的平均轨道直径2公里，铁重9000吨，铜重850吨。磁铁线圈所消耗的平均功率36000千瓦（峰值功率60000千瓦）。又如西欧中心(CERN)的一台4000亿电子伏的质子同步加速器。这台加速器是1971年开始建造，1976年底出粒子束的。用了近6年时间，花了14亿瑞士法郎（相当于5亿多美元）。加速器的平均轨道直径2.2公里。磁铁总重13500吨，铜重1400吨。磁铁平均励磁功率36000千瓦（峰值功率135000千瓦）。从这里可以看到高能加速器确是一个庞然大物。

现在国际上高能加速器发展的总趋势还是往更高能量推进。如美国最近打算在最高能量的5000亿电子伏的加速器上加一个超导环，把能量提高到10000亿电子伏。另外，美国、苏联、西欧中心、日本正

在酝酿搞所谓国际合作

1电子伏，主加

速器的平均直径约20公里（米用超导磁体），建造费用约10——20亿美元。还有一系列对撞机方案（包括电子——正电子，质子——质子，质子——反质子和电子——正电子——质子）也已经提出来，有的已经批准，有的正在研究设计，有的还仅仅是设想。

五、我国高能物理的赶超规划及设想

我国根据毛主席、周总理提出的关于实现四个现代化的宏伟目标，也要在高能物理方面赶超世界先进水平。我国的高能物理工作者提出了分三步走的设想：第一步在1982年建成一台10亿电子伏的试验加速器，主要是通过这台加速器的设计、建造及运行，培养高能加速器和高能实验物理方面的人材，为设计建造更高能量的加速器及实验基地取得经验。第二步到1987年左右建成一台400——2000亿电子伏的质子同步加速器作为跳板。第三步在本世纪末赶超世界先进水平。设想那时可建一台几万亿电子伏的质子同步加速器，或建造几千亿电子伏 $\times$ 几千亿电子伏的质子——质子或质子——反质子对撞机，或1千亿电子伏 $\times$ 1千亿电子伏的电子——正电子对撞机。最后这一步还要看国内外发展的情况，尚不能确定那种方案。

高能加速器主要是为了做高能物理实验而建造的。但是值得重视的是在高能加速器发展过程中，能量为几亿到几十亿电子伏的称为介子工厂的质子同步加速器和称为光子工厂的电子同步辐射加速器有着广阔的应用前景。如这种能量的质子同步加速器所产生的质子、中子、 π 介子可用于治癌和固体物理的研究。而电子同步辐射加速器产生的强X射线，已成为研究生物物理、固体物理、表面物理、空间物理、等离子体物理、量子化学、生物化学、辐射化学、爆炸力学、气体动力学、非线性光学、材料科学、大规模超微型集成电路等的有力

工具。

我国高能物理方面的研究刚刚起步，过去我们不仅没有高能加速器，就连中能加速器（能量为100兆电子伏到1千兆电子伏）也没有，与国外比至少落后三十年。而我省连低能加速器（能量在100兆电子伏以下）也很少，所以与外省市比又有很大差距。低能加速器不仅能进行原子核的研究，而且在工、农、医方面得到广泛应用，如工业探伤、材料辐照、农业育种、医疗上治癌等。

我国是一个社会主义国家，有优越的社会主义制度，有八亿勤劳勇敢的人民，有英明领袖华主席的领导。只要我们大家紧密的团结在以华主席为首的党中央周围，调动一切积极因素，我们就一定能赶超世界先进水平。