

英國的原子核物理学的基本研究*

E. H. S. 柏賀浦

(世界科学工作者协会助理秘書，英國倫敦大學副教授)

英國物理學家在原子核物理学的發展上曾經起過主要的作用。人們只要提起盧瑟福、恰得威克、柯克洛福特、布拉凱特等人的名字，以及他們在這個領域中所作的某些最重要的貢獻就夠了。放射的規律、原子結構的理論、原子核的蛻變、中子的發現，這一些都是在英國的大學里，主要是在孟徹斯特和劍橋中工作的物理學者們的貢獻。在上次大戰前的二十年中，劍橋的卡文笛希實驗室不僅總被看作英國原子核物理学的研究中心，而且也是全世界的研究中心。

在上次大戰開始以前，原子核物理学的研究中心便已開始分散了，盧瑟福這個英國最大的學者的逝世更促進了這個過程。恰得威克到了利物浦，歐利芬到了伯明翰，笛到了格拉斯哥，布拉凱特到了孟徹斯特，這個變化使得在上述幾個地點都形成了研究的中心。雖然在這些地方建立了熱心的和有力的研究工作者的隊伍，但沒有一個地方真正可以同 1930 年的卡文笛希實驗室相比較。

第二次大戰的爆發大大影響了原子核物理学的發展。很多在這一領域工作的工作者被安置到別的領域中。只有一小群被留下來進行研究核裂變發現的含意，核裂變是在大戰爆發前九個月才發現的。但在這方面剛剛開始取得一些進展的時候，和美國政府的一項協定實際上完全中斷了英國原子核物理学的研究，在這個領域內英國的許多科學天才被送到美國去幫助美國的同行們發展原子武器。

直到今天，英國的原子核物理学還沒有從戰時的間斷中得到復原，也沒有能夠重新恢復她的這一領域的最前綫地位。這個前綫從戰時起便已移到美國，最近則受到在蘇聯成長的有力的原子核物理学派的競爭。但是戰後英國的原子核物理学也取得了重要的成就，其中最重要的便是鮑威爾和他的同事們在布里斯托所發展起來作為研究工具的核子乳膠照相板，他用這個工具發現了 π 介子，並用它研究了宇宙綫中其他的一些不穩定粒子，這些粒子今天已經可以在高能加速器中較大量地產生出來。戰後英國高能粒子物理学中另一個有名的發現也是在宇宙綫領域內，即在孟徹斯特的布拉凱特的實驗室里工作的勃特勒和羅徹斯特發現了第一個另一種這種不穩粒子。

戰後，在英國原子核物理学研究中出現了一個新的影響，在哈威爾的原子能研究所中建立了精良的新實驗室。這些實驗室的主要目的是研究可分裂物質在反應堆工程中的產生及其他問題。在一個不大有遠見的領導者手中，它可能會沿着較狹窄的方向發展。

* 這是作者在今年四月參加世界科学工作者协会執行理事會時，在中國所作的報告。

战后柯克洛福特被任命为领导者,在他的领导下,它变成了原子核物理基本研究中第一流的中心。当然,很多刻板的为特殊目的的工作必须在那里进行,但人们关于这一方面听到很少,因为这些工作是保密的。基础研究是不保密的,所以在哈威尔及在大学中工作的物理学家经常互相访问。并且有着愈来愈大的趋势通过不保密的研究计划把大学和哈威尔联系起来。

在哈威尔和许多大学间提出了一个相当巨大的规划,按照这个规划将建造可加速粒子到60亿电子伏的大电流加速器。这将建筑在哈威尔,但在保密范围以外,这样就使得大学的物理学家可以自由前去使用而不必由于审查手续而被延误或受到侮辱。

这样,在哈威尔由柯克洛福特领导的基本研究的中心可看作是卢瑟福在世时卡文笛希实验室真正的继承者了。在哈威尔的这种发展不是仅仅由柯克洛福特的远见和热心决定,同时这也是钱的问题。今天原子核物理学的研究已是最花钱的一个部门。哈威尔所能得到的钱和一般大学中所能得到的钱不是同一比例的。和英国花在整个原子能计划上的钱比较起来,不管这是花在军事上还是花在工业上的,用在哈威尔基础研究上的钱是微不足道的。但是比起英国大学所能得到的钱来说好像已经很大了。

英国大学的经费基本上是由英国政府给大学的一笔经费来补助的。这笔经费由一个叫作大学经费委员会的机构来管理,在这个委员会里的委员都是科学界有地位的人。这个机构访问各个大学,决定如何把津贴英国大学的钱(约每年2500万磅)分配给不同的大学。当分配一旦决定以后,就由每个大学的校长决定在各个系进行分配。这通常使分给大学物理研究的经费小得可憐。近代物理学的研究,由于它的特点,比差不多任何其他研究工作需要的钱都多得多。但在某些大学中有一种趋势,保持物理的经费和其他学科的经费相去不远。关于这个问题有许多种意见。有些人认为高能和原子核物理学的研究不应当再在大学中进行,而应集中到特殊的研究所里去。但在许多英国大学中,有进行很高质量的物理研究的优良传统,许多物理学家都不愿破坏这个传统。再者,研究和教学(少许教学,也许每周几小时)的密切关系毫无疑问对研究工作者和学生都会是很好的。

直接通过大学给大学物理系以一种特殊研究基金可能是另一个解决问题的方法,这种特殊基金应较大学经费委员会所能分配的为多。已经有一些大学通过和哈威尔原子能研究机关的特殊合同而得到一笔钱。这种合同可能是为了在基本物理学的各个方面进行工作的,可能与任何军事项目都没有直接关系,因此全部结果都可能发表。科学和工业研究部也给个别的科学工作者进行特殊研究的小项经费。

在战争末期,给了一些大学一笔特别大的经费用来建造为高能原子核物理学进行研究的加速器。其结果是,我们在英国已有了许多加速器。在下面,我们将介绍这些加速器以及用它们进行的物理的研究。

1. 在伯明翰有一个可以产生980 Mev(Mev即百万电子伏)质子的质子同步加速器。它的轨道半径是450厘米,加速时间为1秒,每转一周增加的能量为220电子伏。起动能量为0.5 Mev,起动时的磁场为227.3高斯,最大磁场为15,000高斯,加速孔径为 35×10 厘米,重复率每分钟为6次。在一次脉冲中加速质子的射频频率范围由每秒0.34百万周变到每秒9.6百万周,同时在加速氘核时相当的射频是0.24—7.8百万周/秒。

用这个机器可以在每次脉冲中得到数量级为 10^9 个的粒子,由于用散射来取出粒子,

所以粒子束一直未能有效的取出來。最后已計劃用靜電偏轉來達到這個目的。

這架機器已經使用了一年多，由於機器周圍的空間不夠，在使用中已感到困難。到現在，主要還是用來作乳膠片的工作。例如，德克、洛克(Lock)、馬區、吉普森、麥克其亞格、胡斯及莫依爾黑德(Phil. Mag. 46 卷 877 頁, 1955) 利用它研究了質子-質子散射的角分布。在总共 950 米長的質子徑迹中已經找到 46 次散射的事件。

一個擴散云室已經建立起來，一個氬氣氣泡室也在計劃之中。正計劃進行在這樣高能量下質子-質子散射所產生的偏振的實驗。一種建議是用兩個碳氬氣泡室來觀察高能質子-質子散射里散射的和受擊的質子的偏振。

伯明翰還可以自誇有一個普通的 60 英寸固定頻率的迴旋加速器，它是剛在戰后就建成了的。恰克夫、弗來明和他們的合作者利用這一機器作成了許多多電荷離子束的有趣實驗。用多電荷的離子，從迴旋加速器中得到了很大能量的粒子。用這種粒子束來產生超鈾元素的有趣工作即將進行，現在已經製造出原子序直到 100 的各種元素。

2. 在格拉斯哥建立了一個電子同步加速器。弗萊、哥瓦得和他們的合作者為了建立這個機器在英國進行了不少工作。格拉斯哥的機器設計為 300 Mev，將來可以擴充到產生 375 Mev 能量的電子。磁石共重 100 噸，其半徑為 125 厘米。磁石的激發需要一個 600 微法的電容器組，這個電容器組可耐 17 千伏的巔值電壓。這個電容器組是很貴和占地方的。重複率是每秒 5 次。圓環是由一段段的玻璃和瓷性材料做成的，其中兩個分開來組成一對射頻振盪器。希望能夠取出粒子束。這架機器已經在過去一年中進行了工作，但到現在還沒有做出多少實驗。

3. 在利物浦建造了一個可產生 4 億電子伏能量質子的同步迴旋加速器。這架機器的磁極直徑為 396 厘米，它所產生的中心場為 18,800 高斯，磁石並且重 1640 噸。

這架機器的特點是用了有效的取出粒子束的方法。在建造它以前，這類機器里的粒子是通過對一根綫的散射而被取出來的。這只能取出旋轉粒子束的十萬分之一。用勒柯笛爾設計的磁引出器可以取出旋轉粒子束的 3%。最近我們才知道在莫斯科的 670 Mev 的同步迴旋加速器也得到如此高的引出率。

勒柯笛爾的取出方法(皇家學會會刊 A. 232 卷 236 頁, 1955) 在於增加粒子束徑向振動的振幅，同時保持垂直振動的振幅很小。這是通過利用兩個磁裝置而實現的——一個“削減器”與一個“再生器”。削減器有使場在很小一部分軌道中減少的作用。另一方面再生器有使場在另一很小一部分軌道中增加的作用。當軌道進入削減器，半徑立刻增加，此處開始振動。再生器的位置適當調整使得粒子束入內時，半徑極大值已過並已開始減小。再生器加驟這種半徑的減小，同時使粒子束振動的振幅加大。最後振幅變得如此之大使得粒子束進入一磁道，這磁道是由兩片與磁力綫平行的鐵板組成，這樣粒子束便被引出。最後引出的粒子束的能量為 383 Mev，幾乎沒有可量得出的能量寬度，粒子束又經聚焦磁體相當好地聚攏到一點。

利物浦機器屏蔽牆中有四個孔道引出，使得能用質子、 π^+ 介子、 π^- 介子或中子束進行實驗。目前正從事有趣的 π 粒子被核子散射及介原子(Mesic atom) 的實驗。我們很有興趣地注意到相當於 μ 介原子中 $2p$ 到 $1s$ 間躍遷的輻射分布峯分裂為二峯，由於 $2p$ 態分裂為 $p_{1/2}$ 及 $p_{3/2}$ 。從分裂的大小得知 μ 介子的磁矩與一個狄拉克粒子所應有的

極相近，并無反常磁矩。事實上雙重綫分裂距離的測量是目前可能的估計 μ 介子磁矩的最好的方法之一。從這一類型的測量中，可能得到有關下列問題的解決的資料：

- (1) 原子核內電荷密度分布。
- (2) 真空極化對介原子能的影響。
- (3) μ 介子與原子核間反常作用的存在。

類似的測量方法用到 π 介原子時，得到有關 π 介子被核子低能散射的相角位移的大小的有價值的資料。

利物浦還具有一小型 37 吋的迴旋加速器。荷爾特及其合作者曾用此作過一些有趣的低能核子物理方面的工作。重要的關於氘核的剝裂反應的研究就是用它來做的。

4. 劍橋：卡文笛希實驗室具有兩個一般的電壓倍增加速器，能分別產生 1 Mev 與 2 Mev 能量的粒子。近來一座能產生 4 Mev 能量范德格拉夫起電機已建立起來。它是裝在 228 吋長 70 吋直徑的容器中。容器中含有氮氣，氣壓可高至 400 磅/平方吋。近年來威爾金遜及其合作者曾利用它在劍橋做出一些很有趣的低能原子核物理方面的工作。

5. 倫敦大學：在倫敦大學有了其他地方還很少搞過的一種電子加速器。這叫做微波加速器或電子迴旋加速器，它是根據最先由俄國物理學家威克斯勒提出的建議而製造的。對於普通迴旋加速器，很麻煩的是粒子質量在它已被加速到相對論的區域時要隨着它的速度而改變。在微波加速器中實際上已經利用這種變化。加速器的一個諧振腔中設立射頻場（每秒 3000 百萬周）。電場矢量與這腔的軸綫同方向。電子在空腔的邊緣，靠場之發射而出來。它們被加速而離開這腔，這整個的裝置都是放在具有 1,100 高斯的穩定磁場的空間中。電子在磁場中畫出一圓形，經過一定時間後再進入空腔內。如果那時場已經整整經過一個周期，則粒子從場中將獲得能量。經過共振器 n 次後，電子將具有約 $\frac{n}{2}$ Mev 的動能。在最外部分的電子的軌道分開約 3 厘米，只要在適當地點放進一個鐵管就很容易引出，差不多全部粒子束都可以引出。

有 9 個軌道（也即是相當 4.5 Mev）的機器已經建立，它給出的巔電流值在 1 微秒脈沖中約為 0.5 微安培（重複頻率 500 每秒），磁鐵的直徑是 16 吋。另一具有 60 個軌道（30 Mev）的機器正在構造。各種有趣的快速電子散射的測量正在進行。正在精確地研究快速電子被原子核散射的情況，很小心地只選擇了能量損失在 0.05 Mev 以下（它們原來有 4.5 Mev）的電子。還進行了精確度約達 0.5% 的散射截面的測量，同時將核對希溫格爾提出的電子——核散射的輻射修正的數值。並計劃用另一較大的微波加速器進行關於核中電荷分布的研究。

6. 哈威爾：第二次大戰後，英國最初有的高能加速器是哈威爾的同步迴旋加速器，它用的磁極直徑為 280 厘米，場強 17,000 高斯，磁鐵重 670 噸，能產生能量為 175 Mev 的質子。利用一個隔磁的管道可將質子束中的一部分引出，質子被內部的鈾靶散射以後沿着它逸出。

遺憾的是這機器的能量對於產生介子說正好太低，然而由於它在 1949 年 12 月第一次開動，某些很有興趣的研究還是用它來做的。由 171 Mev 的質子對各種靶轟擊產生中子的截面和能譜的研究指出在高能時能譜常常有一顯著的高峰。用鈹作靶，這峰的能量比原來入射質子的能量不低過 20 Mev，從而指示出進來的質子必定是和各個別的核子發

生作用而不是和作为整体的原子核發生作用。如果一复原子核形成，則發射的中子的平均能量一定低得多。利用一反冲質子鏡作为中子观察器，已对許多物質的中子截面作过測量。当原子序数增加时，截面曲綫的極大極小的地点推向較高能量，对于鉛，極大發生在 100 Mev 而極小在 60 Mev。利用原子核的云狀晶体球模型 (the cloudy crystal ball model of the nucleus)，这些現象可得到解釋。

具有根本兴趣的还是 n - p 和 p - p 散射实验。对在很小角度时 n - p 散射的微分截面的測量給予特別的注意，利用了一个大的液体閃爍計数器，其中原來在液体中的質子反冲都使之停止。对平均中子能量为 104 Mev 和 137 Mev 的測量一直量到 6° 的散射角，証实了在 90° 附近角分布是不对称的。这种不对称似乎指出在奇态中存在有“張量力”的作用，所以核子間的作用的交換性質不完全是塞柏 (Serber) 型。也有系統地仔細地測量了 p - p 散射。

近來对極化的中子和質子散射的研究更是有兴趣。一般由于在核子間相互作用中出現着同自旋有关的項，所以一束高能核子束在被散射时会發生極化現象，也即是說沿着某方向的自旋分量(入射的原始方向)大于相反方向，如果核子束再以某角度再次地被散射，散射束的强度就不再与方位角無关了，且这种不对称性依賴于核子間的非中心力。

在哈威尔关于 p - p 散射的極化实验中，核子束先被碳靶散射，因为碳靶能有效地產生高極化的核子束。这散射束(在 45°)再由聚烯靶散射。在散射角为 45° 时，已經得到約 25% 的不对称性的極大值。近來这測量已擴展到很小的角度并与类似的 p - p 微分散射截面測量联系起來。由于庫倫干涉作用，能量为 150 Mev 質子的 p - p 微分截面在散射角为 2° 出現極小值，而双重散射中的不对称性却在这兒消失。

在 n - p 散射中，極化的測量尽管不精确得多，也指示出它比 p - p 的情形小得多。

現已經注意到用質子作三重散射的可能性，如果已有被碳靶兩次散射过的質子，則可以类比于光学的偏振計來建立偏振器和分析器。如現有第三者(氫)的散射体在其中，則將可以直接地研究在 p - p 散射中自旋倒轉(Spin-flip)的机率。

在哈威尔也做了关于用綫性加速器方法產生高能粒子(先是產生高能电子，最近也產生了高能質子)的重要工作。例如，假使电磁波沿一个軸与电矢量平行的圓筒前進，那末它就可以連續地加速粒子，只要这粒子在相当大的距离內和它保持一定的相对位置。因此，如相速已調節好使得原來在加速場中的粒子相对于波經常保持在某一位置，則只要波導足够長，可以將粒子加速到任何所需要的能量。

平常的圓的波導不能用，因为这种波導的相速大于光速。然而在波導管中做些皺紋，或用一高介电常数的物質襯着它就可以减低相速。这導管必須構造得非常精确，其容限約为一英寸的 0.1—0.2% 的数量級。这种加速器僅只对电子加速有效，因为它很难滿足在离子情况下所需要的傳播速度迅速变化这一要求。然而几种能量范围达 20 Mev 的綫性电子加速器已經做成。在哈威尔有一个綫性电子加速器被用來配合着飛行時間中子譜計進行中子截面的測量。

綫性加速器原理也用來產生能量为 50 Mev 的强的質子射綫。但由于在加速中質子速度改变太大，所以上述的波導型的加速器不大合用。而要用根据斯罗恩和劳倫斯在战前提出的离子加速的旧原理制造的漂流管(Drift tube)型加速器。

在像这样简短的叙述中仅仅只能叙述哈威尔的许多研究工作中的一小部分。例如培康和他的同事已利用核反应器作为中子源而进行了晶体的中子衍射分析工作。在这种工作中，中子比X射线的优越处在于它可用來測量結構中像氫这样的輕原子的位置。此外用电磁分离方法來分离穩定同位素的重要工作也在進行中。

7. 牛津：在牛津的克來仁敦实验室拥有一些高能的机器，包括 120 Mev 的电子同步加速器。在西曼領導之下，那里建立的低温研究中心是世界上最好的低温研究中心之一。結合着原子核物理学与 Cryogenic 技術（研究从排列整齐的原子核發出的核輻射的）進行了一些很有意义的工作。

例如应用由勃里奈提出的方法(Proc. Royal Soc. A 221 p. 170, 1953), 利用一种混合鹽[成分是 (1 % Co、12 % Cu、87 % Zn)SO₄, Rb₂SO₄, 6H₂O], 在鉈中含有 70 微克的 Co⁶⁰。鄰近的离子在这个晶体中引起一个强大的靜电場而產生了一个擇尤方向。这个体系的能量不僅与电子和核子磁矩的相对取向有关，而且也与二者对擇尤方向的取向有关。不同取向的态之間的能量差別是很小的。只有在温度数量級为 0.001°K 的时候，才使得一些磁量子数取某些特殊值 m 的态居于优先地位。在这样的温度下，微小的核磁子畢竟已整齐地排列起來，它們的角动量 I 的在擇尤方向的分量是 m 。

低温的方法使原子核整齐地排列而不極化，就是自旋軸的方向一致而角动量分量 m 的符号是可正可負的。

在实验中，两个 γ 射线在 Co⁶⁰ 的衰变下相繼被放出。在沒有整齐排列时就会要各向同性地向各个方向發射。然而由于整齐排列，發射数目將要随方向而改变。当温度从 0.001°K 增加到 1°K 时，原子核由整齐排列轉变到不整齐排列。温度到达 1°K 时發射几乎是各向同性的。此时整齐的排列已經由热运动所毀坏了。从放出的 γ 射线的角分布可以推知：这两个 γ 光是四極的，正如其他的考慮所預言的一样。从各向不同性随温度改变的曲線的形式可以估計 Co⁶⁰ 的磁矩是 3.5 ± 0.5 核磁子。

在以后的实验中 γ 輻射的偏振被測定了。在实验中应用了偏振仪，它依靠于这个事实：康普敦散射的微分截面依賴于入射 γ 輻射的偏振。輻射通过准直設備射到一个液体閃爍器上（甲苯中含有 4 % 三苯基），在那里 γ 輻射被散射。測量了 γ 輻射被閃爍器散射在每一个方向上的数目。所得結果符合于电四極的輻射而不是磁四極的輻射。用这种方法决定核能級的自旋与宇称是可能的。

相似的不用 Co⁶⁰ 而用 Mn⁵⁴ 的实验已經作出了，無疑地这里提供了一个非常有力的技術。

这个总结已經沒有余地去描寫原子核物理学的其他的很好的工作了，比如費瑟和他的同事們在曼丁堡進行了核譜工作，他們应用磁透鏡攝譜仪，并加上符合裝置，从而确定了复雜系統所放出的各种电子輻射之間的关系。我也完全地省略了在宇宙綫和新奇質点方面工作的叙述。这些工作可能是所有在英國作出的工作中最驚人的。但是鮑威尔教授同时也在这个國家，而且关于这些質点的工作与他自己的貢獻有着密切的联系，所以我在这一篇文章中試圖只限于涉及与宇宙綫及高能物理学無關的那部分原子核物理学。