

無限電及 X 射線源：兩種主要的無限電源是超新星的剩餘體及無限電星團，第一個被認出的剩餘體大約在廿年前，命名作蟹狀星雲，它是迅速膨脹的星雲體，起源於我國於一〇五四年史載的超新星爆炸而成，其無限電輻射為線性極化的，它的始源是一個神秘，直到在同步加速中觀察相對運動電子的輻射才辨認出來，磁場強度為 10^{-3} ~ 10^{-1} 高斯，輻射電子的能量為 0.1~1 兆伏，最早被觀察到的 X 射線也是來自蟹狀星雲，最初的推論均集中於認為 X 射線是由超新星所遺留的熱中子星體所輻射的，但是之後發現 X 射線源廣泛分布在空間除去了這種可能性，另兩種輻射機構被建議過：由同步加速器中高能電子或高速氣體突然減速的結果。一個令人信服的結論必須等待射線極化測量之後。在任何一種輻射過程中，需要能源補足輻射和熱膨脹的損失，對一個大量輻射無限電波的星雲而言，其功率約為 10^{44} ergs/sec. 輻射體積大小橫跨一億光年，星球年代至少超過 10^5 年，其總輸出功為 10^{38} 爾格，又因產生輻射的相對運動電子能量僅部分輻射，故相對質點在無限電星雲中的能量約高達 10^{60} 爾格或更多，相當 10^5 個太陽的靜止質量，如此大的能

量其來源及轉變為相對質點的途徑仍是未知，但是由一些無限電星團觀察出大部分能量是產生於星團的中心。

去年（一九六七）曾由無限電星團 M87 發現到射線，如此表示無限電源和 X 射線乃是同一物理現象的外觀，目前 X 射線探測器的靈敏性和分析能力大約等於廿年前的無限電天文儀器，不久的將來可期望它有很大的進步。大約五年前宇宙中又發現了似星體（Quasistellar Object）的存在，這種非常藍的星狀物體有時伴隨着小角徑的無限電波，由似星體的光譜分析上顯示星雲輻射線有很大的紅位移，同時在某些情況下也吸收該子的光譜線，一些研究者相信這是宇宙膨脹的現象，所以指出似星體是遙遠的、超亮的、高度壓縮的無限電星雲，其他對紅位移仍有種種不同的解釋，然而不論如何理論上的關鍵在於任何一種輻射情況下，單位體積所釋出的能量是相當大的，研究這些問題將可能帶給我們宇宙中基本的新事物。其他可資觀覽性的進步中，我們僅僅提及的是星團螺旋結構的理論，星團結構和演進上的新發展以及均等性瀰漫宇宙輻射場的發現。

原 子 分 子 及 電 子

胡 耀 文

你可知道二十年前原子、分子及電子物理的情形嗎？當時氫原子的精密能階仍根據 Dirac 理論導得不亦樂乎而找不出有決定性的反證；當時連最簡單的分子如氮、一氧化碳的解離能尚屬未知；當時你能把有一電子伏特能量誤差的電子束稱為「單一能量束」“monoenergetic beam”，而仍得到聽眾讚同的微笑。

各方面估計顯示原子、分子、電子物理屬於近代物理中最古老的研究範圍—已經有了極迅速的發展，一九六五年有個研究小組估計在美國對這方面科學家（原子、分子物理及量子電子學）的訓練於三年內增加了一倍。國際的發展速率目前為每三年半倍增一次。「物理學摘要」„physics abstracts”在它每年一次的目錄中，列了將近二百六十篇有關原子、分子物理的論文（一九四七年），這數字約佔該年全部論文的百分之七，在一九六七年約有三千七百八十篇這方面的論文佔全部的百分之十。

「我們所不知的」：

二十年前我們知道如何寫出原子系統的漢密頓式 Hamiltonian 但僅限於「有心場」“Central field”或者是「類氫原子」的近似法。我們知道負離子的存在，却只知氫原子的束縛能。在一九三〇年左右利用光譜在「精密結構」hyperfine structure 方面的研究已經展開，但有關「分子束」，「微波腔」“microwave cavity”及「雙共振」“Double resonance”的技巧才剛發展，天文學家對於原子物理在天文學上所將產生的極大影響尚未認清，兩年後 Martin Karplus 及 Norman Kroll 在量子電力學中計算至第四級的修正項，又是若干年後經由 H. Richard Crane 和其同僚們傑出的研究使得理論及實驗有令人滿意的配合。

電子顯微術於當時已是一門迅速發展的知識，但對電子的干涉，繞射現象的充分重視這只不過是

個開端，原子物理方面有些學者仍有在辯論關於「粒子一波動雙重性」的問題，精巧的實驗正在設計以求表現電子束所具有類似於光束的 Gottfried M-oellenstedt 和 Ladislau Marton 用兩條電子束產生干涉條紋，正如光學中的雙狹縫干涉。

等離子物理“plasma physics”當時被稱為「氣體放電物理」人們仍試着從複雜的氣體導電模型中探討原子。一些學者像在哈佛的 Otto Oblenberg，他常說：「所有的氣體放電現象均已被解釋了，却沒有任何現象曾被推論過」，正領着作一些研究：設計複雜，極具技巧的實驗（有關於獨立原子系統的特性。）這些都變成原子物理中主要推動力，實驗結果雖難於獲得，但都有明確的解釋。

原子碰撞：在大西洋的另一岸 Sir Harrie Massey 在戰後建立了居領導地位的學派以研究原子碰撞及其在天文物理及天文學方面的應用，從 John Hasted 在倫敦大學學院所做關於應用數學的實驗開始，Massey 這一羣脫離 Daurd Bate's 的原子物理學派而與在美國及其他地方的原子物理有很多的關聯，V.M. Dukelsku 和其他人在蘇聯建立另一個研究中心，作了一些單獨而重要的貢獻，特別是「重粒子」碰撞“heavy particle”和散射理論。

在一九四七年「物理學摘要」不需要一些名目像「電子場放射」“electron field emission”或雷射。

認可：原子和分子物理在一九四八年時並不被認為是物理的一部門。這些範圍在一九二〇年和一九三〇年間成為近代物理的先驅同時是量子力學和輻射理論獲得證明的地方，但正當一九三〇年代為戰爭所毀，不斷增加的物理學家正在追尋高能量而小體積的物質，戰後新的一代原子物理學家分成兩羣，一部分探討所餘的基本問題（特別是有關量子電力學方面）另一部分則試探原子物理所導致的廣大應用。於應用方面原子物理無所不在，如此說來，它具有實質的重要性，儘管它的基礎被認為完全了，許多令人興奮的現象仍一直在被發現着，同時需要極高深的物理學來解釋這些現象。

在過去的二十年中原子物理在使幾乎所有的天文學家轉成天文物理學家的改變中扮演一個主要的角色。電子自轉在固態物理方面的應用不斷的發展。原子核自轉和不穩定同位素中的磁距大都是在這段時期由分子束的研究工作中發現的，幾乎所有關於電離層的知識均依賴於離子化學及原子和分子物

理學家的電子碰撞數據。

化學的「債」：除物理方面外，最重要的影響可能要算在化學上的了。科學委員會報告中用熱烈的言詞描述化學欠於物理技術的債務，而視使用這些新工具為化學發展最大的機會，這些工作是屬於原子物理學家而非化學家，這種現象顯示一次在物理化學上的變革近在眉睫—化學家和原子物理學家並肩工作向同一目的邁進，而雙方均將受益，只不過在短短二十年前一個同時運用「每一原子幾電子伏特和「每摩爾幾卡」來思考的科學家是很稀有的。

「活力與成就」：

且讓我們看看在此二十年中原子與分子物理的幾項成就，其中充滿活力而成果極豐碩的五支主流是：電子物理、基本性質與精密測量、量子電子學，碰撞現象及光譜與結構，這五支在二次大戰後各自從無甚關聯的原點出發。正因為在一九五〇年左右研究原子碰撞與從事「無線電頻光譜學」“Radio-frequency spectroscopy”及光學抽機“optical pump”的物理學家缺乏聯絡使得 Schroedinger eq. 被分成兩組：一部分研究波動函數中有關「角」angular 的問題另一組則處理沿徑方向的變化 Radias variation。在過去五年中原子與分子物理一項實際的成就即是把這些發展不同的知識組合起來。在紐約州立大學召開的國際原子物理會議及在慕尼黑的 Sommerfeld 紀念會議即代表着這種知識的組合。

電子物理已經產生一些有成就的工作，特別是有關場放射顯微術方面，由於 Erwin Müller 的先驅研究，我們現在能說在金屬表面的各別原子已經被拍照了。

特性與精確

在一九四七年精密結構常數之準確僅至萬分之四，電子電荷至五千分之一。常數之準確度的提高堪稱奇觀；現在這些不準度已被減少了兩位數量級，從天文物理的光譜學我們得知值二十億年來的變化少於千分之二，此亦為宇宙中電子電荷可能改變的上限。分子束的技術大大的限制了電子偶極距的數值，對質子與電子在電荷可能的微小差別已作了極靈敏的測驗，在超精密結構研究中理論上及實驗上均發展到質子本身結構與電力學基本問題皆尚待討論的地步。由 u 介子與電子或正子所形成的 Mu-

onium 的超精密結構已作了精確的測量，由 Vernon Hughes 和他的同僚們在慣性的各向異性 (anisotropy of inertia) 方向所作的研究極具基本性。

原子束之無線電頻共振器供給標準頻率有極高的準確度及長時間的穩定度 (利用 Norman Ramsey 的氫氣雷射可產生頻率精確至十兆分之一)。足以與此項成就比美的是光學之干涉測量學和具有譜線窄度的光源的發展。此時以地球自轉來作時間標準已不再適用！「秒」是以鉍的精密結構來定義，我們同時放棄以米尺作為長度標準！「米」是以氫原子的譜線來定義，現在雷射有各式同相光學放射源可供利用，在精密長度測量上一從短距離乃至地理及天文一有了革命性的進步。

雷射可算是在這二十年中傑出的一項發展。阿摩尼亞雷射展開了無線電頻區域的研究，能雷射即由其中發展出來 (一項邏輯的結果)。雷射非偶然的發明。這件事實說明一項需要，即建立一鞏固的定量物理基礎來幫助科學的發展。事實上，如果一個人看了 Ali Javan 及其他人在研究原子物理以製作雷射時所採用的仔細而合理的方法後，他必能知道在這二十年中發展基本原子物理的價值。

雷射在原子物理的影響尚未完全顯示出來，John Hall 及其他的人已開始在作於強烈光放射場中自由原子所生的非線形反應的實驗，在反應仍為線形的區域中，雷射在下列幾項上是一種有力的工具如：測驗能階的構造，在光解離效應 photoionization 中測角度的分佈和產生大量特定的激發狀態以供各種用途。

在教學上雷射亦有其貢獻，在早期就有電子束的干涉及 Bohm-sharonov effect 不久紅外光線和小於釐米的同相光源將填滿此中空檔，外差式的技巧將被擴展至高頻率，收聽一線頻率將成為事實。

碰撞現象

在二十年的前幾年中原子碰撞的研究發展很快，倫敦及 Belfast 學派成為理論研究的領導，而美國則實驗上發展較快，交叉束 crossed beam 的技術提供了研究獨立原子系統的方法，最重要的是 Wade Fite 及他的同僚的研究使氫可成為靶子，我們能將理論與實驗作定量的比較。第二個十年中 Michael Harrison 成功地以交叉束測量氫離子的截面，同時開創了交叉帶電束 crossed-charged-beam 的實驗，第三個成就是「同流束」confluent

beam 的技術顯示在實驗室中實用的能量束仍能產生作用其質量中心的能量低於一電子伏特。

電子物理學家使得實用的電子單色儀 monochromator 的鑑別率增加兩位數量級，George Schulz 發現帶一負電的氫原子共振展開了在原子散射的共振態的探討。「束」的技術已被用來發掘負離子的特性和亞穩態 "metastable state" 包括長或短生命期的許多系統。一個特別有趣的情形是長生命期的 p^1 態的 L_i 及一負電的氫離子，皆經過實驗和理論的仔細研究。

分子離子反應方面亦有蓬勃的發展，最先幾年，某些情形下實驗結果各實驗室可能不同差至數量級，而現在已能有規則的產生極有價值的數據，特別在大氣化學方面，將來發展可由 William Chu-pka Joseph Berkowitz 的實驗中看出他們研究在旋轉與振動狀態中離子的分離，其中採用光解離效應，交叉束，質譜儀和分子離子反應的技術。

光譜學與結構

新發展的性質可以一事為例說明一利用電子同步加速器作為光源來研究在真空中紫外光區的吸收光譜，內層及多激發態將自激發態 (從紫外光譜來探討)，電子非彈性散射和射線光譜的研究合而為一，物理學學家在處理原子受干擾時不能再認為某一電子受影響而其他電子不為所動。

隨着實驗的進展，理論發展趨於成熟，羣論的介入使形式上簡化不少，在結構和散射計算中，計算機的使用使我們能實際考慮組態 (configuration) 的作用及波的扭曲。對輕原子和簡單分子 (特別是氫化合物) Abinitio 計算的精確度相當於，甚至超過，實驗結果，含一個、兩個或三個電子的波動函數之極準確使得 Lamb 位移和其他基本性質在許多情形下均可計算。

在原子物理上不斷增加學術活力之趨勢使年青人們所受訓練不斷擴展「知識的組合」亦由致力於基本研究的團體與學院推動着，這物理方面的未來由於不斷加入新的興趣與其他方面的問題以及舊有問題之復古獲得充分保證。