物 理 學 報

第 11 卷 第 3 期　1955 年 5 月

阿·愛因斯坦在物理學上的偉大成就

周 培 源

(中國物理學會理事長)

當代最偉大的物理學家,人類正義事業的積極支持者——阿·愛因斯坦在四月十八日和我們永別了. 我們物理學工作者對這位物理學界偉大導師的逝世,特別感到悲痛. 他在科學事業上的不朽貢獻,開物理學的新紀元;他一生在惡劣的政治環境中,爲維護正義事業、反對戰爭、反抗統治者的不屈不撓的鬥爭精神,將永遠活在我們的心裏,永遠值得我們懷念和學習.

阿·愛因斯坦在物理學上的偉大成就,是和物理學的基本問題有着密切的關係,其中尤以相對論的發現顯示出物質世界空間、時間深刻的屬性. 由於空間、時間是物質存在的基本形式,相對論所指出的空間、時間的新聯系,是近代物理學上最基本的發現,因此它所產生的影響的面比較廣,給物理學帶來也比較本質的變革. 自從牛頓奠定了經典力學基礎,發現了萬有引力之後,力學在說明太陽系中行星運動和在地球面上物體運動(包括力學在工程上的應用)的準確性,使在阿·愛因斯坦以前的一般物理學工作者感到: 經典力學的空間、時間概念,是說明一切物理現象的理論基礎——不論空間多麼大,或多麼小; 第二運動定律是一切物體的運動規律——不論物體的運動速度有多大,或物體的質量有多小. 可是到了十九世紀末,物理學上一系列的新現象被發現了. 物理學家找到了 X 射線、物質重元素的放射性、電荷的最小單位——電子、電磁波(即無線電波)等等. 他們又注意到: 在運動介質中的電磁現象,是不可能根據經典力學的互相獨立的空間和時間的概念來理解的; 在以這空間、時間概念基礎上建立起來的第二運動定律,也無法說明高速度(接近光速)電子運動.

在物理學的發展過程中,一直存在着光的兩種不同學說——微粒理論和波動理論. 光的衍射、干涉和偏振等現象須用波動理論來解釋. 麥克斯韋電磁理

論對兩種不同物理領域光和電磁現象的統一，給了光的波動學說極大的支持．我們知道波動必須通過介質來傳播． 光既是一種電磁波，則傳播光波的介質——以太——有無實驗方法可以找到？斐索在他的水管實驗裏證明了：傳播光的"以太"，對於水管中的流水是有相對運動的．在另一方面，地球以每秒鐘三十千米的速度在軌道中作相對於太陽的運動，在地球面上應當能够找出有三十千米的"以太"風迎面吹來． 可是物理學家做了一系列的電學和光學的實驗，如曹頓-諾布耳電容器的實驗，瑞利折射介質的實驗和邁克耳孫-莫雷用光干涉儀量度以太風的實驗，却都沒有能够找出地球和"以太"的相對運動． 在這一些實驗中，邁克耳孫-莫雷的"以太流"實驗尤其重要，因爲它要找的光路差別的效應是和 v^2/c^2 成正比（其中 v 是地球的速度，c 爲光速），所以這效應的不存在不能像曹頓-諾布耳或瑞利的實驗中與 v/c 成正比的效應一樣地用一種未經變革的經典力學的空間、時間基本概念來解釋．

天文學家早就觀察到星光的光行差現象． 如果光是一種微粒，則光行差現象很容易了解； 但是根據光的波動學說，光行差現象是不應當存在的，即光行差角須等於零．故天文學上所觀察到的光行差現象是光的波動理論中的又一個基本困難．

此外，物理學家又發現了，從物質重元素放射出來的電子的接近於光速的高速運動不服從經典力學的第二運動定律；它的質量和速度有關聯：速度越大，質量也越大． 這是和經典力學中質量是恆量的概念相矛盾的．

總之，在十九世紀末，物理學工作者根據經典力學的互不相關的空間和時間的概念，來理解運動介質中的電磁現象和物體的高速度運動現象所遇到的困難，是不可能克服的．

在這樣錯綜複雜並充滿了矛盾的情況下， 偉大的愛因斯坦找到了近代物理學前進的道路． 他認識到： 只有發現客觀世界的新屬性，把原有物理學上的基本概念，即關於空間、時間的概念作本質上的變革，才能理解新發現的物理現象，才能解決物理學在發展過程中所引出的新問題． 在他 1905 年所發表的經典著作，"論運動的物體的電動力學" 論文中，他首先指出：在經典力學中的相對性原理不僅在力學的過程中有效，即使在電磁學的過程中也同樣是眞理．依照這"相對性原理"，在所有作相對勻速運動的物質參考系統（即慣性系統）中，反映物理過程的自然規律並不因慣性系統的不同而有所不同． 換句話說，我們在作相對

勻速運動的各慣性系統中，不可能在一個封閉慣性系統內做一個力學的或電磁學（包括光學）的實驗來證明該封閉系統是對其他參考系統作勻速運動．這就是狹義相對論的"相對性原理"；"狹義"是指各參考系統作相對勻速運動而言．

愛因斯坦又指出：在各個作相對勻速運動的參考系統中，光速的數值是相等的，不論光源是在那一個系統內．這個原理反映出，客觀世界的空間和時間，不是像按照經典力學的說法，孤立地、互不相關地存在着，而是互相結合在一起成一個四維空時．根據上述相對性原理和光速相等原理所推導出來的結果，各個作相對勻速運動的參考系統是由洛倫茲坐標變換聯系着．在同一封閉的參考系統中，"同時"的概念依據光的傳播規律是有確定的意義；可是對作相對勻速運動的兩個觀察者來說，舊日的"同時"概念就不適用了．

光速在作相對運動的各慣性系統中相等的原理，似乎和我們根據經典力學的看法不相符合．問題在哪兒呢？問題在於：當物體作高速運動時，如放射性重元素所放射出的電子接近光速的運動，物體的運動性質就不可能用經典力學來概括．經典力學所處理的運動問題是一般速度而不是高速度的運動問題．從低速度的運動經驗抽象出來的概念和規律不一定能够反映高速度的運動現象．偉大的列寧早在相對論發展的初期就認識到這個區別．他在"唯物論與經驗批判論"（人民出版社版，296 頁）裏寫道："傳統力學是緩慢的實在的運動底模寫，新物理學是巨大速度的實在的運動底模寫"．必須指出，按光速相等原理，光速在物體的速度中處有特殊地位：物體的速度可高到接近光速，但不可能等於或超過光速．

愛因斯坦對空間、時間在本質上的發現，並以這發現作基礎所建立的，以洛倫茲坐標變換爲核心的狹義相對論勝利地克服了電動力學關於運動介質的困難，成功地解決了物體高速度的運動問題．星光的光行差、多普勒效應都是根據洛倫茲坐標變換所得的推論，觀察者與光源有相對運動時所必然觀察到的現象．斐索的水管實驗也可由流水與觀察者有相對速度的原因來理解．至於各種尋找"以太"實驗的負結果，從相對性原理本身即可得到說明．依照相對性原理，"以太"不過是許許多多作相對勻速運動的一個慣性系統而已，因此在地球上作物理過程的觀察，不可能找到"以太"對地球的相對勻速運動．相對論物理在物體作高速度運動問題上雖和舊物理學所得的答案不相同，但是二者處理低速運動現象所獲得的結果是基本上符合的．故相對論物理實驗上包括舊物理學，因此它是客觀

世界物質屬性進一步的反映．相對論既然只反映空間、時間最基本的屬性，它在光的微粒性和波動性之間並沒有選擇，故它對光的兩種學說可同樣地應用．

狹義相對論力學的特點是在於物體的質量對速度的依存關係：物體在靜止時有一靜止質量；速度越大，質量也越大；當速度趨近光速時，物體的質量將變成無窮大．質量與速度的關係可在電子的高速度運動實驗中獲得證實．以物體的質量對速度的依存關係作根據，相對論力學導出了物體的質量和能量的聯系定律．依此定律，有一定的質量的物質是和一定的能量密切地聯系着．這個定律一直是指導物理學工作者尋求和利用原子能的理論基礎．經過幾個國家多位物理學家的長期努力，幷以他們的新發現作根據，以及優秀的蘇聯科學工作者最近幾年來的創造性勞動，和平利用原子能的方法最後也被發現了．原子能的和平利用，將促進各門自然科學的空前發展，給人類帶來美好的未來．相對論關於空間、時間屬性的發現是使近代科學今後能爲人類進一步服務的一個重要因素．

由於蒸汽機在工業革命中所起的巨大作用，熱學獲得了極大的發展．在十九世紀中葉以後，物理學家已認識到熱現象是因爲物質的分子作不規則的運動：分子的動能越大，物體的溫度也越高．可是，分子的運動，除了觀察溫度之外，在十九世紀末尙沒有其他比較更爲直接的觀察方法來證實．遠在一百多年前，一位植物學家布朗曾觀察到浮懸在水內的花粉作經常不停的、不規則的運動．後人把這種運動稱作"布朗運動"，但沒有能够說明產生它的原因．這物理現象一直到 1905 年才由阿·愛因斯坦根據分子運動的理論解釋清楚．他認識到：液體中浮懸小粒的運動現象是由於小粒被周圍的液體分子經常不斷的碰撞所引起的．他的理論得出小粒位置移動的平均數值是和液體的平均溫度、小粒半徑及液體的黏度有關，並和時間的平方根成正比．他並且證明，從小粒位置移動的平均值可定出在單位體積中的分子數目．阿·愛因斯坦的這個布朗運動理論後由物理學家用實驗方法完全證實．這是分子運動理論和分子存在的更爲直接的證明，因而鞏固了近代分子物理學的基礎．

1900 年，馬·普郎克從研究在空窖輻射現象中輻射能分佈的結果，創立了量子論．按量子論的基本論點，光或電磁輻射不僅具有粒子性，而且在物理系統間的能量交換，如輻射能的發射或吸收，幷不是像電動力學所指出的那樣的連續過程，而是具有間斷性的物理過程；被發射或吸收的輻射能量和輻射的頻率成正比．阿·愛因斯坦認識到量子論的重要性；他在 1905 年就把量子論的基本規律應用

到光電效應上去，並因而得出：在光的照射下，金屬面所發射出的電子的動能和入射的頻率成一線性關係而與光的強度無關．後人多次的實驗證明了這電子動能和光頻率關係的眞實性，並肯定了：只有發射出的電子數目才和光的強度有關．愛因斯坦光電效應理論被實驗所證實，不僅準確地定出了在近代物理學上非常重要的普朗克恆量，同時它指出光輻射在一新物理現象中所表現的粒子性，因而使量子論獲得進一步的鞏固和發展．愛因斯坦以後又把普朗克空窖輻射問題的量子觀點應用到晶體點陣的振動上去而獲得固體比熱的理論．他又認識到：在空窖中的能量子不服從波耳茲曼統計法，而服從一種新的統計法；這統計法稱作玻色-愛因斯坦統計法．

阿·愛因斯坦光電效應理論中電子的動能與光輻射頻率的線性關係，對初期的原子結構學說起了極重要的影響．尼·玻爾在 1915 年的原子結構學說中引進了"頻率關係"．按這關係，原子從一個能態過渡到另一能態所發射或吸收的光輻射的頻率，是和原子二能態之間的能量差成正比的．這個頻率關係是玻爾原子結構學說中說明光譜現象的主要關係，它是在愛因斯坦電光效應理論啓發之下所獲得的新物理規律．

狹義相對論力學的物體質量和能量的聯系定律，以及光電效應中電子動能和光頻率的線性關係，對物質波動學說的創立和物質波動性質的發現起了主要的作用．光既在不同情況之下表現粒子性和波動性，而物質的質量既和它的能量有着密切的聯系，則物質雖然在一般情況下呈現粒子性，在某種條件之下一定也會表現波動性質．1934 年德布羅意在這樣的啓示指導下，創立了原子結構論的物質波動學說；這學說所預見的電子衍射現象，也被後來的物理學實驗所證實，物質的波動學說是說明原子結構的正確理論——薛定諤波動力學的先驅，而這波動力學是和從完全不同的觀點出發的、由海森伯、玻恩所創立的量子力學在數學上是等效的．狄喇克把狹義相對論運動方程應用在量子力學中電子運動上，獲得了電子運動的正確運動規律，並從相對論的觀點說明了電子運動所顯示的自旋現象．狹喇克的量子力學的電子運動理論，也預見到陽電子的存在；這陽電子首先於 1932 年在宇宙射線中被觀察到，並在以後的原子核物理的人工放射現象中出現．在今天，物質的波長對物理學工作者來說，已經不是抽象的概念，而是大家甚爲習慣的物理量了．

狹義相對論的發現，一方面爲微觀世界物理學開闢了新的道路；另一方面，

它的推論和應用——廣義相對論的引力論 ——在宏觀世界物理學中，也圓滿地解決了物體的引力場性質和物體在引力場內的運動問題．由於狹義相對論不能處理物體的引力問題，它的四維空時稱作平坦空時．按照廣義相對論的引力理論，物質的周圍不再是一個平坦的而是和平坦空時有偏離的彎曲的四維空時，也稱作里曼空時．這空時的彎曲性質就決定了物體周圍的引力場性質．物體的引力場按照愛因斯坦的引力理論是由把四維空時中里曼-克里斯托菲張量降秩的張量等於零(簡稱引力場方程)來規定．在 1916 年所發表的廣義相對論中，愛因斯坦又假定：物體在引力場中沿着空時的短程線運動．規定短程線的運動方程是獨立的運動規律．光路在引力場中也是四維空時中的短程線，在這短程線上的間隔爲零，故光路稱作零短程線．1938 年愛因斯坦和英費耳德又進一步地證明：物體在引力場中的運動規律已包括在引力場方程內，無須對物體的運動另作短程線的假定．換句話說，在物質、運動和引力場之間存在着緊密的相互聯系．這一相互聯系也表現在慣性質量與引力質量相等這一基本物理定律的形式中，並在 1938 年的運動理論中獲得圓滿的解釋．這個運動理論幾乎在同時也由蘇聯的福克院士及其同事們所發現．

不論愛因斯坦 1916 年或 1938 年的引力論和運動理論，都和牛頓的超距作用的萬有引力理論及第二運動定律有着本質上的區別．但在微弱的引力場中，或物體作低速運動時，牛頓的學說是愛因斯坦學說的近似理論．按照愛因斯坦的引力論和運動理論，水星繞日運動軌道的近日點有進動現象．這現象早就被天文學所觀察到而不能用經典力學來說明．愛因斯坦的理論是與天文觀察相符合的．廣義相對論的引力論又預言：光路在引力場中是一條彎曲的線路；在強引力場中所發出的光譜要向紅端推移．1919 年天文學家在日蝕觀察中證實了星光在太陽引力場中沿着彎曲的線路運動．這一證實引起了全世界科學工作者對廣義相對論的極大重視．光譜向紅端推移的預言也在以後的天文觀察中得到證實．水星軌道近日點的進動、光路在太陽引力場中的彎曲及在強引場中所發出光譜的向紅端推移，是廣義相對論的三大驗證；它們在天文觀察上的證實，肯定了愛因斯坦的引力論是人類科學發展史上的輝煌成就．

廣義相對論"廣義"二字的意義是指：物體定律在各種作不同運動(非相對勻速運動)的參考系統中具有協變性，即所有的參考系統都可等效地用來描述物理現象．這個廣義相對性原理指導着愛因斯坦採取張量分析的方法來表出物理

定律．引力場是體現物質和空間、時間的基本屬性；規定四維空時基本性質的張量方程，是降秩的里曼-克里斯托菲張量爲零的引力場方程．故在確定引力場方程的過程中，廣義相對性原理起了指導作用．廣義相對論引力論的成功，引起了科學工作者對張量分析的極大重視．1916 年以後，張量分析在數學、物理和工程學的許多部門中逐漸被廣泛地採用．愛因斯坦引力論的成就，也鼓舞了許多物理學家和數學家建議各種不同的引力場和電磁場的統一理論，因而在數學上創立了各種不同類型的非里曼幾何學．把引力論應用到宇宙論中去，也是由愛因斯坦的靜止宇宙開始的；以後就有蘇聯物理學家弗里德曼非定立宇宙的理論．這些理論推動了天文學家對旋渦星雲運動的觀察工作．

阿·愛因斯坦不但在物理學上作出了劃時代的貢獻，而且他也是一位擁護人權、反對戰爭、反抗迫害的英勇戰士．在第一次世界大戰期間，他以不合作的行動來反抗德國軍國主義；在第二次世界大戰的前夕，他在強暴的德國法西斯主義者面前不肯屈服；在他晚年居留美國的期間，他對美國法西斯迫害進步人士的行動進行頑強的鬥爭．阿·愛因斯坦的科學成就是在舊社會惡劣的政治環境中獲得的．我們物理學工作者對這位偉大的科學家表示崇高的敬意．一方面，我們要學習他探索自然、反對迫害的戰鬥精神，學習他致力於把科學用於和平事業以造福人類，反對美國戰爭販子把科學用於屠殺人類．但是，在另一方面我們也必須正視愛因斯坦的缺點．他反對戰爭，可是他不能提高到階級鬥爭的立場來看反對戰爭的問題，他從未參加過保衛世界和平的偉大運動．他是一位能發現物理規律的自發的唯物主義者，可是他對他所發現的物理規律表示哲學意見時，經常從唯心主義的觀點出發．錯誤的哲學觀點不能不妨礙科學事業的前進．要能批判愛因斯坦的唯心論觀點，深入地掌握他的學說，從而能更有效地學習近代物理學，我們物理學工作者必須加緊學習馬克思列寧主義建立和掌握辯證唯物主義的世界觀與思想方法．只有把我們自己鍛鍊成爲堅強的辯證唯物主義戰士，我們才能大力發展中國的物理學，才能在祖國的社會主義建設事業中，充分地發揮我們的力量．