

## 奇妙的光

---

約當137億年前，宇宙在「大爆炸」中開始的時候，天地間就充滿了「光」；到今天，科學家估計「光子」(photon)的數目還是遠遠超過物質粒子的數目，可以說：宇宙中主要的成分就是光。但是光又是怎麼可以數算的呢？光真是一顆顆的粒子嗎？這就與物理大師愛因斯坦大有關係了。

「光到底是波還是粒子？」的爭論由來已久，早在西元11世紀阿拉伯科學家海什木 (Ibn al-Haytham [Alhazen], 965-1040) 認為光是粒子，並且以此解釋許多「幾何光學」的現象，這是牛頓光學理論的前導；只是牛頓 (Isaac Newton, 1643-1727) 認為光是由有質量的粒子構成的，他運用自創的力學原理來了解光線所取的途徑（比方以粒子的反彈解釋光的反射），並以為光在高密度的物體中所行的速度，比它在真空中更快（他歸功於重力）。其實這是錯誤的結論，只是因為他名盛一時，他的光學理論也被廣泛的接納。雖是如此，當時也有一些反對的聲音，比方荷蘭物理學家惠更斯 (Christiaan Huygens, 1629-1695)

## ● 科學的啟蒙



上帝說：「有光」，就有了光

就主張：光是一種波動，解釋了光波衍射現象 (diffraction of light) 及干擾現象 (interference of light)，是牛頓的理論難以解釋的，但是他卻沒能解釋什麼是光波動的媒介。

這個爭論直到19世紀中葉，蘇格蘭理論物理學家馬克斯威爾<sup>1</sup>寫下了他著名的四聯微分方程式來說明電與磁是相連的現象，肯定說明光就是由電磁波所構成的。馬克斯威爾的電磁公式是物理界最偉大的發現之一，我們由此了解到：光是「光波」，正如荷蘭科學家惠更斯所說的一樣。不同顏色的光是由於它們有著不同的波長；600多奈米的光波是紅色的、500多奈米的光波是綠色的……。其實伽瑪射線 (Gamma Ray)、x-光、紫外線、紅外線、微波 (microwave)、無線電波等等，都是不同波長的光，只是人的肉眼看不見這太長或太短的光波就是了。在「馬克斯威爾公式」中出現一個常數c（拉丁文celeritas的簡寫，「很迅速」的意思），代表的意義是光波的速度<sup>2</sup>，但卻沒有指定是從哪個觀測座標來看的，似乎是一個絕對的速度，這很讓當時的科學家驚奇。

到了20世紀初葉，愛因斯坦發現光不但是一種延伸在空間中的「波」，也是個以顆粒顯現的「光子」。他在1905年的論文中指出：「光波的能量不是以其波動的幅度來計算，而是取決於其波長（或者說頻率）」<sup>3</sup>，每種不同波長的光，都有一個不同最小能量的單元，這就是「光子」。很強的光就是有大

量「光子」的意思，但是每個光子的能量卻不增加，波長愈短，頻率就愈高，光子能量也愈大。所以只有波長夠短的光波才能激發某些金屬表面的電子，若是光波不夠短，再強烈的光度也沒有用。這項發現解釋了「光電效應」<sup>4</sup>，為他贏得了1921年的諾貝爾物理獎，同時也鞏固了「量子」的概念。愛因斯坦發現光是一種粒子以後，過了十幾年（1923），法國物理學家德布羅意<sup>5</sup>指出：電子也是一種物質波，於是科學正式邁進了新「量子物理」神祕的領域。只是愛因斯坦一直到死都不接受他所無意開始的量子世界。他說：「上帝不擲骰子」，反對只能以「或然率」來解釋的宇宙。

光是一種波，也是一種沒有質量的粒子。然而，它到底是什麼呢？這就要看我們是以什麼實驗來觀察了。我們若把光當成是一種波，然後設計一些實驗來測量它波動的屬性，就會發現光的確是一種不折不扣的「波」；但是我們若把光當成一種粒子來測量，它卻是如假包換的粒子。你把光當什麼來看，它就是什麼；至於這是量子力學的神祕？還是這學說的欠缺？還是實存的真相？恐怕尚難定論。

尤有甚者，在「馬克斯威爾公式」中導出來的光速，與一般的速度不同，因為那不是一個相對於某種觀點（座標）的速度，而是一種絕對的速度。也就是說無論是哪一個觀測者，無論與某一發光體的相對運動如何，他們所測量到的光速，都是

● 科學的啟蒙



上帝說：「有光」，就有了光

同一個數值。試想一位觀測者以99%光速 ( $0.99c$ ) 追測一道離他而去的光波，而他測量到的光速不是 $0.01c$  ( $1c-0.99c=0.01c$ ) 卻仍舊是 $c$ ，那麼無論這光源是對著你來，還是離你而去，你所量到的光速都是一樣的。

科學家起初不能相信這是合理的，認為宇宙中一定有某種無所不在、稱為「乙太」<sup>6</sup>的介質存在，構成傳播光的媒體，所以光速就是光波相對於「乙太」的速度。但後來邁克爾生及摩爾利兩位美國科學家，藉著精確的光波干擾現象，證實了<sup>7</sup>這「乙太」是不存在的<sup>8</sup>；而光速的確是一個絕對的常數。1905年愛因斯坦又寫了一篇更有名的論文〈狹義相對論〉，說明不同的觀測員在不同的相對運動中，他們時間的快慢是不一樣的，而且他們空間長短的尺度也是不一樣的，光速就是光在單位時間裡所行的距離，不同的觀測員用他們各自不同的時鐘和尺度來量光速時，所測得到的光速剛好都是一樣的；這樣把時間和空間相對化了的觀念，是近代物理學最偉大的成就之一（另一個等量的成就就是「量子論」了），這些發現都是直接與光的特性有關。

「光子」可以算是最簡單的基本粒子 (elementary particles) 了，光速是一切物體速度的極限，但是光卻不能停下來不動；它沒有質量，卻有動量，它的特性可以說是百訴不盡的奇妙，令人難以明瞭，更遑論那位說「要有光，就有了光」<sup>9</sup>的造光

者，豈不比祂所造的光更加奇妙得多嗎？誰能測透造物主呢？聖經記載說：「自從造天地以來，上帝的永能和神性是明明可知的，雖是眼不能見，但藉著所造之物就可以曉得，叫人無可推諉。」<sup>10</sup> 大哉斯言。

◎ 注釋

- 1 James Clerk Maxwell (1831-1879)，蘇格蘭理論物理學家，愛因斯坦認為他是牛頓之後最偉大的物理學家。
- 2 每秒鐘光行約3億公尺，與觀測員與光源的相對速度無關。
- 3 德國物理學家普朗克在1900年研究黑體輻射現象時，已有了初期量子的概念。
- 4 光電效應就是當金屬表面在特定波長的光輻照下，金屬會吸收光子並發射出電子的現象。
- 5 Louis de Broglie (1892-1987)，法國物理學家，1929年獲得諾貝爾物理獎。
- 6 aether，是種無所不在，充滿整個宇宙，沒有質量，絕對靜止的媒介體，電磁波可藉此傳播。
- 7 Michelson-Morley，1887年的實驗，以地球在太空中高速運行的事實，證明沒有以太效應存在。
- 8 要證明「不存在」是困難的，所以當說「沒有以太效應」為佳。
- 9 〈創世記〉1章3節。
- 10 〈羅馬書〉1章20節。

● 科學的啟蒙



上帝說：「有光」，就有了光

## 自然律

---

自然律只不過是上帝的數學思想<sup>1</sup>。

——歐幾里得<sup>2</sup>

自然界中有一定的規律存在嗎？我們沒有理由相信它一定有或是沒有，如果我們相信我們的感官反應外界實存的真象，我們可以用觀察和分析，來判斷自然界中是否有自然律。假設有個外太空來的訪客，他在天上的太空船中，看見地下有些人在打棒球，不明白為什麼一堆人在空曠的場地上跑來跑去，完全不得要領，直到他發現那個最不經眼的小球（棒球）的活動，才對這個遊戲的規則之觀察有了突破，他若是再耐心地觀察（棒球是個緩慢的遊戲，大部分的人在大部分時間裡的動作都是不相干的），就會漸漸地發現一些規則——「棒球律」。

有些「棒球律」是不難發現的，比方：一人擊出一支高飛球，若這球在著地以先，被守方的人捕獲，則打擊手出局；若打出的球已先著地，打擊者則可往一壘奔去，若守方將此球在

打擊者抵達一壘前擲向一壘手，則打擊者亦出局；三人出局後攻守換邊。但有些球規是不容易看出來的，比方「內野高飛球規則」(the infield fly rule)：當攻方出局人數少於二人，而且至少在一壘或二壘已有人登上，此時若打擊手擊出「內野高飛球」，而當球還在空中時，打擊手可由裁判宣告出局。太空人既聽不見聲音，就不容易「看出」這個規則（然而當他發現之後，便可以欣賞這規則的高明之處，就是避免守方故意漏接，讓球落地，再行「雙殺」<sup>3</sup>）。

只要是觀察者相信「球規守恆」，不會隨意改變，且沒有例外，那麼棒球的規則——「棒球律」，不難經仔細的觀察而歸納出來；但這個外太空的觀察者卻不能藉他的觀察，而知道這些規則是從哪裡來的，若他以為這些規則是出於球棒、棒球、18個球員和3個裁判的「交互作用」自然產生的，他就永遠不能明白打棒球的目的究竟是什麼，也就是說，目的是不能只藉觀察而得的。若他相信這些規則是人刻意制定的，這些規則就必然是有目的的，棒球也是有一定的目的了。若這個外太空的觀察者學會了人間的語言，別人不但可以告訴他規則是什麼，並且更重要的，告訴他什麼是棒球比賽的目的，這是外太空訪客單單從研究棒球規則所不能知道，而是需要我們告訴他的。這就是「啟示」的必要性了。

我們也都像是自然律的旁觀者，我們知道自然界有極繁瑣

## ● 科學的啟蒙



上帝說：「有光」，就有了光

細密的規律，這些規律可以用數學的語言表明，我們不同於「太空觀球員」，乃是科學家對所觀測的現象有某種程度的「操縱」，以便識別其中「因果關係」——我們相信自然界中的現象的發生，是在因果律的控制下，我們可以藉著許多的觀察，歸納出造成某種現象的規則（定理）；或者我們先有某種合理的設想，再分析所觀察到的現象是否合乎這個設想（若是相合，則稱此假設為定理）。無論是前者的歸納法，還是後者的演繹法，都有一定程度的困難與局限，有些哲學家甚至懷疑是否有「因果律」的存在。<sup>4</sup>

張三是人，張三死了；李四是人，李四也死了；王五是人，王五也死了；趙六也是人，所以趙六也會要死。而且人都必死；但是趙六之會死的原因並不是因為張三死了、李四死了……那麼是不是趙六一定會死呢？這裡並不牽涉到真正的「因果律」。其實有些細胞好像是不會死的，例如1951年在巴爾的摩的約翰霍普金斯醫師，自一位子宮癌病人<sup>5</sup>體中取出的癌細胞，稱為HeLa細胞，顯然是可以無限期的保存下來<sup>6</sup>，是種不朽的細胞。

什麼才是「人都會死」的基本原因呢？<sup>7</sup>從多方面看起來，導致死亡的基本原因（比方說「老化」），可能是「人會死」這事實的結果（因為人會死，所以才會老），直到我們得知真正的原因（罪？），我們才對這個現象有真正的知識。其



實我們對自然界中是不是真的有因果律的存在，也並不是很確定，我們只不過在想辦法找出自然現象的「遊戲規則」了，而這「遊戲規則」就是自然律。

自然律定規一切自然現象運作的原則，但是自然律卻不是任何一個自然現象發生的原因，比方：牛頓力學原理控制撞球檯上所有撞球的動向，但力學原理卻不是這些球會開始滾動的原因，那是打撞球的人以球桿擊球所「造成」球檯上的現象。自然律解釋這些撞球「如何」滾動，但並不解釋這些球「為什麼」滾動，也更不能解釋為什麼會有撞球的存在。

如果我們將上述的論點推廣，我們也可以說自然律並不能造成任何自然現象，它只定規自然現象當如何的演變，自然律不是那產生自然現象「劇本」的作者，而只是它的導演。

愛因斯坦說當他「不自量力地沉溺於思考自然律的時候，就不自覺地進入了一種宗教情操」<sup>8</sup>。

注釋

- 1 “The laws of nature are but the mathematical thoughts of God.”
- 2 Euclid (323-283B.C.)，希臘數學家，有「幾何之父」之稱；他的著作 *Elements* 曾被用來作為幾何課本達2000多年，直到20世紀初葉。
- 3 只要球一落地，打擊手必須往一壘跑，在一壘的人也必須往二壘跑，守方把球拾起，先擲二壘，再擲回一壘，完成雙殺；如果站在一壘的人不等球落地先奔二壘避免雙殺，守方則把高飛球接住，打擊手出局，再將球擲向一壘，原來在一壘的人若不及時回壘，守方仍然完成雙殺。故有

● 科學的啟蒙



上帝說：「有光」，就有了光

此「內野高飛球規則」，只判打擊手出局，已在壘上的球員可以不必離壘。

- 4 比如蘇格蘭的修姆（David Hume, 1711-1776）。
- 5 Mrs. Henrietta Lacks (1920-1951)，死於子宮癌。
- 6 Rebecca Skloot, *The Immortal Life of Henrietta Lacks*, Random House, 2010, ISBN: 9781400052172.
- 7 生物之所以會死的原因很複雜，有些專家以為與DNA 的「尖端粒子」的長短有關。
- 8 “My feeling is religious insofar as I am imbued with the consciousness of the insufficiency of the human mind to understand more deeply the harmony of the Universe which we try to formulate as ‘laws of nature’.”