

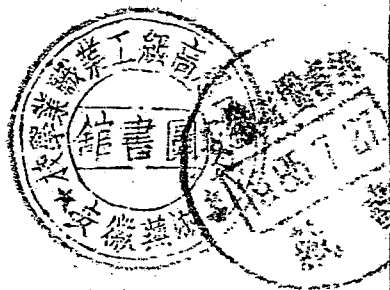
萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

通俗相對論大意

愛因斯坦著 費祥譯



商務印書館發行

萬有文庫

第一卷一千種

編者 胡適
王雲五

商務印書館發行

Z121.6

(1)7/446045345

通俗相對於大論

愛因斯坦著 費洋譯

百科學叢書

序

安斯坦的相對論，是近世最大的發明。惜乎此種學說，非常高深，說明既艱，領會尤難，欲得通俗易解之說明，更覺不易。此書採許多著作的長處，用極明白的說話，照極淺近的程度，把艱深學理解得人人可懂。其中共分十八章，首論物理的大勢，中述相對論的概要，後附安斯坦的事績及他的教育觀。另附科學之革命一篇，係法國諾孟氏原著，凡分八章，用許多淺近的圖解譬喻，說明相對論，尤爲特色。

通俗相對論大意

目錄

一	總說	一
二	牛頓之重力法則	四
三	牛頓以前的學說	八
四	牛頓之運動法則	一二
五	牛頓在光學上的研究	一四
六	光之波動說及「以太」假說	一五
七	光之電磁說	一七

八	電子及物質的本性	一八
九	光是物質	二〇
十	相對性原理	二四
十一	米格爾生及莫勒的實驗	二七
十二	空間及時間的相對性	三一
十三	明可士幾的空間和時間	三三
十四	時空融合的世界——空間的歪	三六
十五	安斯坦的重力法則	三八
十六	結論——安斯坦的功績	四〇
十七	安斯坦的事績	四一
十八	安斯坦的教育觀	四五

附錄科學之革命

一 空間及時間的觀念·····	四九
二 光的速度和「以太」·····	五二
三 $90+9=100$ ——物體的長寬和速度·····	五六
四 四元是怎麼？·····	五九
五 空間和時間的相對性·····	六一
六 集合體·····	六三
七 重力的新法則·····	六五
八 結論·····	七〇

通俗相對論大意

一 總說

去年來華講演的羅素 (B. Russell) 常說列寧和安斯坦 (Albert Einstein) 是近世最出色的偉人。內中列寧的事業與成績，雖也有可議之處，其為近世代表的人物之傑出者，自不必說。至於安斯坦不過區區一學者，從沒有在政治上有什麼活動，而他的大名竟可和列寧相提並論，足見他在科學上貢獻之大了。

論二人的事業功績，在趨向及性質方面，固然完全不同，但是他們所創極大的革命事業，卻彼此一樣；安斯坦所幹的，似乎尤為難能而可貴。總之，列寧在學問方面，造詣極深，與科學界的天才安斯坦，同是猶太民族運動獨立的先覺。而稱道這兩個人的羅素，又是科學的哲學家，非但在現

代哲學界占獨特的地位，併且是提創社會改造最熱心的人。所以我們對於這種事實，覺得有無限的興趣。

安斯坦的名姓，我們已聽得很熟。併且聽人說起：近年歐美各國有介紹安斯坦學說的書籍出版頗多，甚至白髮老人，也往往到書坊購買此項書籍，他們閱覽之際，更顯驚訝愉快的神氣，似乎非常有趣的。華人的科學知識，比起歐美來，相去雖遠，近來書報和雜誌上，也常把這種學說介紹出來，所以知道安斯坦的，卻已不少。不過安斯坦的學理深奧，我們就是細心去看這位先生的各種著述，總覺不易明白，此無非我們自己學說太淺，尚沒有看這種論說的能力所致，故本書特將他的學說用極淺近的道理寫出，教大家容易領會些。

安斯坦自己也說過，世界上能夠了解這種學說的，恐怕不到十二人。所以講起實在來，在下確是一個門外漢，但是既蒙下問，不能不擇要答復，倘能把相對論的輪廓，清清楚楚，描在你腦中，已覺大慶成功了。假如要作精細的研究，還須求諸專門的著述。

安斯坦的學說，固然非常獨特，論他研究的出發點，也未嘗不以舊時物理學為根據。所以要知

安斯坦「相對論」(原名 Relativitätstheorie, 英譯 Theory of Relativity)的來歷,和他所建的功績,非把牛頓(I. Newton)以後物理學說的趨勢,逐漸說起,不易明白。因此先就牛頓到安斯坦時代的物理學說,講些大概。

二 牛頓之重力法則

牛頓的重力法則，又稱萬有引力的法則。其中說任何二物體間的吸引力，與二物體的質量成正比例，與其距離之自乘，成反比例。太陽與地球的關係，便可借這個法則來說明。就是太陽吸引地球，地球也吸引太陽，等於這個法則所說的二物體。其中吸引力的大小，和他們的質量有關，太陽的質量，比地球大，所以吸引力比地球也大，因此地球受太陽引力的支配。又吸引力和距離的遠近，也有關係，譬如太陽與地球的距離，增長二倍，那麼，吸引力必減成四分之一；增長三倍，吸引力必減至九分之一，反之，距離縮短二分之一，吸引力必增加四倍，餘可類推。此等關係，非但見於太陽和地球間，大至一切的天體，小至極微的原子，其間關係，也都是這樣的。

這種吸引的力，大自天體，小至原子，無不皆有，所以稱曰「萬有引力」。在各種物體運動的中間，尋出這萬有引力的法則，是牛頓莫大的功績。

論牛頓創此法則的由來，尚有一段有趣的故事。就是一六六六年（即清康熙五年）某日午後，牛頓默坐故鄉小園中，正在凝想出神，忽被蘋果落地之聲，打斷念頭，就把注意到蘋果方面，從蘋果落地的現象，推究其原理，竟能得此偉大的發明。

照此說法，牛頓可稱發見重力最先的人了。

不然，吾們不應說牛頓發見重力。蘋果在牛頓以前，也要落到地上，而且從前的人，也有想到蘋果落地，是因地球有奇妙的力，把他吸引下來的緣故。牛頓的大功，卻在發明這種引力，不獨地球有，在一切天體和物質間都有；并且能把宇宙間天體的運動，用數量來表示。

一個蘋果，在五十尺高的樹上，能落下；在高出海面一萬尺的山頂，也能落下；就是在更高之處，仍舊可以落下的。那麼，這樣距離，如果高到無限，還能落到地上嗎？吾們設想到月與地球的關係，就可明白了。月球是天體中離地最近的，中間相隔，有二十四萬哩。設使在月球上拿蘋果向地球投擲，那麼，這個蘋果，能夠從月上拋出去的距離，比起和地球的距離來，近的很多，所受月球的引力，自然也比地球的引力大，所以決不會離開月球，飛到地球上來。可見蘋果可以落到地上的範圍，原來不

是無限的。

吾們都知可以落到地上的物體，不祇蘋果一種，現在蘋果落下的關係既如此，其餘一切物體的落下關係，便可照此類推了。

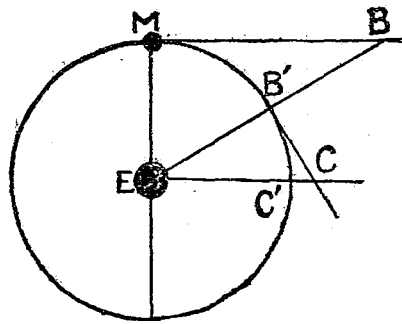
既如此說，月球之所以不會落到地上，大概也因距離極遠的緣故？

那又不對。月離地球，固然有數十萬里，不過照牛頓的法則說起來，吸引力和質量成正比，月球是很大的物體，所以也受地球相當的吸引。那麼，月球既受地球的吸引，何以不致落到我們頭上呢？一言以蔽之，是因月球自身，以極大速度，不絕運動的緣故（月在地球周圍，循行一次，經數十萬哩，尚不到三十日。）其中理由，可用以下的圖解來說明。

圖中 E 為地球， M 為月球。假使無地球存在，則月球進行的逕路，必循直線而前，如圖中 MB 所示。因有地球引力，把他吸引，使他進行的路，不能循 MB 的直線，卻屈成 $M'B'$ 的曲線。及月球行到 B' 點，本來更要向 C 點循 $B'C$ 直線而前進，又被地球吸住，把他路牽成 $B'C'$ 的曲線。那時因為月球向前進行的力量很大，所以地球的引力，祇能吸住他，使他不循直線而遠飛，卻不能使他落到地上。

來。假使月球進行，有一秒鐘的停止，便要落到地上了。不過據愷普勒(Kepler)所研究，以為這種曲線，非完全圓形，是成爲橢圓的。

何以愷普勒說這種路徑，是橢圓的？今將其大概在下面講一下。



三 牛頓以前的學說

要知普勒說天體運行，是循橢圓路逕的緣故，還須把牛頓以前的科學狀況，大略一看。在中世紀以前，人人都信地球爲宇宙的中心，日、月等天體，皆繞地球而循行。及哥白尼（Copernicus）出，對此思想，纔生疑問。他說：太陽完全不動，地球決非宇宙的中心，實在是繞行太陽周圍的一個行星。

當時教會的勢力，非常偉大，對於哥白尼的見解，視爲褻瀆上帝，竭力排斥。然無論教權這樣大，盲從的這樣多，卻也有表同情於哥白尼，不顧世俗的唾罵，甘受叛道逆天之惡名的，大名鼎鼎的伽利利（Galilei），便是其中的一人。他曾發明望遠鏡。對於哥白尼的學說，非常信仰，不過起初膽小，不敢有所表白，後來立定主意，宣布自己的意見。其說既出，世人大加攻擊，他也時常向反對的人說：「請大家來把望遠鏡照照看！」用來辯護自己的主張。但是學者和宗教家，都置諸不理，那宗教裁

判所，也說他異端惑人，定他應得之罪。

至此，便有加里利的至友愷普勒等，出而辯護，和多數反對的人抵抗。愷普勒最崇真理，所以他的先生，雖然力攻哥白尼，他卻毅然擁護哥白尼的學說。不過他對於哥白尼的「行星循圓周而運行」說，也另有批駁。因為從亞里士多德（Aristotle）以後，學者多以圓為完全的形狀；哥白尼受這種觀念的影響，也設想自然是完全的，圓是完全的，所以地球行星等運行於太陽周圍的時候，一定依完全的圓道而循環。然而愷普勒的主張，則與此不同。他據精細觀測的結果，知地球繞日而行的軌道，不是圓的，是橢圓的；太陽的位置，恰在此橢圓形內的一焦點上。這種理論，確是牛頓學說的先導。不過當時對於行星何以如此運行，還不能解決。後來牛頓出世，纔能解此疑問。

現在又要講到牛頓了。

牛頓知道月球運行極速，所以不致落到地上；又因受地球引力的影響，所以繞地球而運行。由是更進一步，便發見這種運動的法則。又從愷普勒觀測行星運動的結果，摘出引力是反比例於距離自乘的假設。依這種假設，計算地球能使月球運動常保定徑的引力。再把這種引力，和地球吸引

蘋果的力，互相比較，知道兩種引力，完全相同。於是所定的假設，得了實證，萬有引力的法則，便確實成立了。

月的運動，是受地球引力的支配，那地球和一切行星的運動，是不是也受太陽引力的支配嗎？牛頓考得其中關係，同月球一樣，在空間一切天體的運動，都可用萬有引力法則來說明。還有一層，地球吸引月，月球也吸引地球，何以月繞地行，地球卻不繞月行呢？那是因地球比月大的多，他的引力也大的多，所以月球受他的支配。從這個道理，論地球繞日而行的關係，也可不言而喻了。

各天體既皆有引力，是否皆互有關係？

是的，他們的關係，非常複雜。假使太陽系祇有地球和月，那麼，月的軌道，應成正橢圓形。但是在離月較近的空間，尚有巨大的日球，日球的引力，不獨及於地球，也及於月球。雖因日球離月，比離地球遠，對於月球的引力，遠不如地球引力之大，然而月球的運行，總不免受日球引力的影響，所以月球繞地循環的軌道，並不成完全的橢圓。牛頓曾把及於月球的許多引力，詳細計算，證明月球之實際軌道，和萬有引力的法則相一致。

牛頓的重力法則，已如上述。不過內中尚有一端，殊不易了解，就是力從何處發生？力的正體是甚麼？

牛頓和牛頓以後的學者，對於重力的起源，都未能說明。我們祇知蘋果落到地上，是重力的作用；牛頓又根據重力的作用，探得運動的法則。但是吾們所稱重力的力，究竟是甚麼東西，吾們實在未知。大概這種問題的神祕難解，和所謂生命的起源彷彿。

四 牛頓之運動法則

牛頓既作物質及力的簡單定義，更定運動之法則三條。此等法則，在普通物理教本中，都有述及，本已不必更說。如今想說得有系統，所以不厭冗累，再爲大略一講。

牛頓的第一法則說：「一切物體，若不受外力相擾，則靜者恆靜，動者以等速進行於直線上。」大概物體不受作用，便不生運動，要使物體運動，非打破他的慣性不可。所謂慣性（又名惰性），就是說方在運動的物體，有運動不止的傾向；靜止的物體，有常保靜止的傾向。如果要使靜止的物體運動，或使運動的物體靜止，非另外加力，打破這種慣性不行。

第二法則說：「運動的變化，常比例於所加的外力，更循所加外力的方向而進行。」第三法則說：「有他動，則必有反動。」

這種法則，在空間及時間的問題上，有甚麼關係呢？簡單說起來，就是和力有關的物質之質量，及包含於力的空間與時間，同是測力的要素。不過牛頓的法則，對於力的測定，認空間時間，各有一

定的實在，假定其爲彼此獨立的。和安斯坦的見解，大不相同。聽了以後所講，便可了然的。

四 牛頓之運動法則

五 牛頓在光學上的研究

五 牛頓在光學上的研究

牛頓在光學上的貢獻，也應該一考。

據牛頓的主張，光的本源，爲發光體。這種物體的微粒，以很快的速度，向各方放射，吾們視官，受其刺戟，就起光的感覺。（因此牛頓之說，名爲放射說，或作微粒說。）同時有物理學家赫根士（Huygens），卻反對這種臆說。他說：光是一種波動的現象。這種波動，從發光體出發，向各方傳播，和水波的運動一般。（所以這種學說，稱爲波動說。）

牛頓的微粒說，到一八五三年，被費蘇（A. H. L. Fizeau）據實驗的結果來推翻。原來微粒說的主張，光的速度，在密度較大的物質（例如水）中，比在密度較小的物質（例如空氣）中小。波動說的主張，卻與此相反。費蘇的實驗，也證明光之進行，在空氣中比在水中速。因此，牛頓的理論，便敵不住費蘇的實驗。

六 光之波動說及「以太」假說

凡物體運動的時候，必須受直接或間接的外力。例如：要車子運動，可直接把車推拉，或間接繫繩車上而拉，但無論如何，必須生力的和運動的互相接觸。不過一種物質牽動他種物質的時候，也有不見怎麼媒介或接觸的。譬如磁石吸鐵，中間並沒有怎麼線索，為牽引的媒介；假如鐵與磁石間的空氣，可做媒介，那麼，除去空氣，磁石應不能吸鐵，然而實際上仍相吸引；如說他們的吸引，不要媒介，又說不出其中緣故。所以惟有假定二者中間，另有一種特別物質為吾們感覺所不能察知的，作牽引的媒介。就是假想磁石在其中間，發生作用，使媒介的一部振動，振動之波，漸次傳開，達到鐵上，便起吸引的現象。

牛頓的光之微塵說，既經費蘇實驗，完全打破，要更求他種完全的學說，又找不到，所以祇得採用赫根士的光之波動說。不過既說光是波動，那傳播光波的媒介，是怎麼呢？據從來的假定，稱這種媒介為「以太」(Ether，有神祕世界的意義)。

那麼，「以太」是怎麼東西？

這個問題，從前罕爾謨和志（H. Helmholtz）和開爾維恩（Lord Kelvin）也研究過。據說：這種假定的物質，我們手不能觸，目不能見，完全是感覺所不能察知的東西。但照波動說所說，「以太」是可以運動的，那麼，用牛頓的力學法則論起來，「以太」應該有質量。就說他的質量，微乎其微，不能用極精的天平來秤量；然而既有質量，對於地球行星的運動，便要發生抵抗。（就是天體的運動，受「以太」的阻力。）譬如彈丸的進行，因受空氣抵抗，速度漸減。但是地球行星的運行速度，卻不見減小，這是怎麼緣故呢？所以如認「以太」假說為實在，便生這種非常難解的疑問。

七 光之電磁說

英國物理學大家馬克司惠爾 (J. C. Maxwell) 發見光爲電磁現象之一種。「以太」充滿空間的假說，因此得了贊助。他說：光波和電波，同是起於電氣擾亂的結果。又說：光波電波的傳播，速度相等，同依「以太」爲媒介。在保守的物理學家，對於這種理論，很表反對，以爲光和電，是絕無關係的。後來赫爾志 (H. Hertz) 研究來頓瓶的放電如何生振動，如何惹起「以太」的波動，知道這種波動（即赫爾志波，後來馬可尼 (Marconi) 研究此波，發明無線電。）的波長，和光波的波長，雖然不同，兩種的速度，卻完全相等。就是光的波長，不過一碼的二百萬分之一，至一百萬分之一；無線電所用電波的波長，則達五千碼。然而光波與電波，和X光線，化學線等，傳播的速度，與一秒鐘行十八萬六千哩的電磁波，都是一樣。於是馬克司惠爾的理論，又得了大助。

光和電，固有密切的關係，和磁，也有密切的關係。據徐孟 (Zenard) 所研究，置磁石於火焰兩旁，然後拿食鹽投入火中，那麼，所顯黃色輝線，析爲兩條，並極分明。足證磁力的作用，也能影響及光線。

八 電子及物質的本性

這樣說起來，光既感受磁力的作用，也可看作一種有質量的物質，豈不是又很覺費解麼？

這個疑問，可從徐孟的磁場效果（Zeeman-effect），摘出關於光之本性的理論來講。照以前所說，電波的波長，比光波長，就因電波的振動，比光波遲的緣故。電波原起於荷電的振動；光波的起源，洛倫志（H. A. Lorentz）稱他由於比原子更小的微粒的振動。這種微粒，名爲電子，電子爲電量的單位，電子運動便生電，振動則生光。洛倫志依徐孟效果，推算電子的質量；湯謨生（J. J. Thomson）也從特種實驗，測算這種微粒的重量，知道和洛倫志測得電子的重，恰相符合。由是知電子不獨是電量的單位，也是物質最微的粒子。

百餘年前，達爾敦（J. Dalton）創原子說，論物質不能分至無限，並稱其分至不能再分的微粒，曰原子。這種理論，在科學界中，很占勢力，到二十世紀，方被打破。因爲經湯謨生等的研究，知道物質最微的粒子，並非原子，一個原子，更可分出許多的電子（電子的半徑，祇有原子的十萬分之一）。

一切物質，皆從氧、氫、銅、鎳等八十幾種原質所合成。各原質更由無數原子所集成。原子在一吋內，可並列到三萬萬粒之多，其形固已細極，然而尙可分作許多更微的電子。一個原子之內，中央有陽電之核，更有無數陰電粒子（即電子），圍繞核的四周，其中關係的複雜，竟和一個太陽系相彷彿。

一吋內可排三萬萬個的原子，其自身竟彷彿是一個小宇宙。自然的結構，固然可驚人類的想像力，也着實不小呀！我們當然有這種驚異歎美，但是我們要知道以上說的，多是理論，所以還要求一個總結。就是：物質的本性是電，如今光和電，既有同一的性質，那麼，光與物質，也應有同一的起源。不過物質都受重力的作用，何以光不受重力的作用？這是一個疑問。這個疑問，安斯坦竭力研究過，他的主張，待我慢慢講來。

九 光是物質

十數年前，安斯坦豫言經過日球近旁的光線，受日球重力的作用，而發生彎曲。因更豫言光有重量；要知道他重是若干，祇須測他如何彎曲，拿來計算。

現在，吾先把太陽系的狀況，大略一說，然後細談安斯坦的豫言，與其實證。

太陽系的中心，就是日，此外有八個行星，又有許多繞匝行星周圍的衛星。內中各星間的距離，是很遠的。譬如說：吾們坐了每點鐘行三十哩的特別快車，從上海車站出發，一直向東開去，環遊地球一週，重到原站，如果速率不變，而且絕不停頓，要經三十五天。假使用同樣的速度，向月球開去，要經三百五十日，方到月面；如向日球開去，要經三百五十年，纔到日上。這樣看來，吾們地球和日球的距離，豈不很大？然而比那恆星和地球的距離，還是很小咧。例如：光的速度，一秒鐘行十八萬六千哩，可算快極。假使這種極快的光，從日球發出，到吾們地球的時間，祇要八分鐘。若是從最近地球的恆星發出，至少須經四年以上，纔可到地球上。像那離地球很遠的所發光線，經數百年還不能到吾們

地上咧！

安斯坦說從恆星發出的光線，經過日球的引力範圍時，必受日吸引，致生彎曲。內中彎曲的度數，也能夠算出。原來稱光有重量的學說，並非安斯坦所獨創。從前牛頓作光之微粒說時，假定光是光源射出的微粒所成；如果這種假設，成爲事實，那麼，他說的微粒，當然是有質量的，既有質量，當然感受萬有引力了。所以照牛頓的萬有引力法則，也可把光線因受萬有引力而彎曲的度數，計算出來，就是平均值爲 $0 \cdot 75$ 秒（弧度）。至於光之波動說，不認光有重量，所以不能說光線因受引力而彎曲。又如照安斯坦的萬有引力新法則，計算起來，可知光線受日球牽引而生的彎曲，是一·七五秒。

究竟光有重量嗎？如果有重，那重量的數值，應該和照微粒說算得的一致呢，還是和安斯坦的豫言一致？據近時天文家實行觀測的結果，知道安斯坦的豫言，是和實際一致的。

他們觀察的方法是怎樣？

要觀測星光與太陽引力的關係，必擇日食全食時。因爲平時太陽發光，不能認出經過他旁邊

的星光，必在日光被月影完全遮沒的地方，方能看見，所以施行觀測，須乘日食全食的機會。民國四年（即西歷一千九百十五年），俄德兩國交界處，本有日食的全食，因那時那處，方有戰爭，以致難施實驗。到民國八年（一九一九），英國天文學家，豫計五月二十九日，地球上有一處要起日食的全食。（一處在巴西西北部的所勃拉爾 [Sobral]，一處在非洲西岸的普林西普 [Principe] 島。）當時英德兩國，雖有深仇，英國的天文家，為求真理起見，卻取贊助德國科學大家安斯坦的態度。特先期組織日食觀測隊，分赴這兩處，措置一切，以備臨時作大規模的觀測。到了那日，日食的時間，共有六分鐘到八分鐘；在這個當兒，測了影片十五張。再隔兩月，把該處的天象，也攝成影片。然後彙送各種影片，到格林尼 (Greenwich) 天文臺，由多數天文學家，測定影片上各恆星的距離，再計算因太陽引力，使光線彎曲的度數。

這種觀測計算的結果，在同年十一月六日，發表於英國學會報告之中，最可注意的，共有二端：第一，知道恆星的光，確是受太陽引力而彎曲；第二，知道測得彎曲之值，據所勃拉爾觀測隊所報告的，是一·九八秒，據普林西普島觀測隊所報告的，是一·六二秒，即兩種的平均值，是一·八秒。照

以前所說：計算這種平均值的時候，如依波動說，結果等於零；依牛頓的微粒說，是 0.75 秒；據安斯坦的推論，是 1.75 秒。可見安斯坦的推論，和實際最近，那學說的最為真確，也可無疑了。

十 相對性原理

西歷一千九百〇五年，安斯坦初次發表「相對性原理」的論文，內中所說的，是關於空間（Raum, space）時間（Zeit, time）的理論。他把牛頓對於空間時間的觀念，和萬有引力的法則，變化，使這種觀念和法則，更加廣大，更加普遍，和他的理論調和。

牛頓以爲空間和時間，都是絕對（absolute）的。安斯坦卻唱相對論，主張絕對的空間和絕對的時間，都不能測定的，所謂空間和時間，全是相對（relative）的，沒有絕對的。就是運動，也沒有絕對的，我們所研究的一切運動，盡屬一物體對於他物體的運動。現在可找一個淺近的例來說明：譬如吾們說從杭州到北平，所經的時間，是很長的，那麼所說的長，自然是比較出來的，就是說杭州到北平的時間，比杭州到上海的時間長。又如說泰山是很大，就是說泰山所占的空間，比起各處的小山來，是很大的。但是這種空間時間的觀念，也可掉轉來講，譬如說杭州到北平的時間，比杭州到華盛頓的時間短，或說泰山比長白山小，也都可以。可見吾們測時的長短，物的大小等，原沒有絕對的。

標準的。

那麼，我們計算時間，應照甚麼標準呢？既說時間沒有絕對的標準，豈非可以任意選定嗎？

照吾們所居的地球說，每自轉一回，便算一日，每繞日公轉一次，便稱一年。又如用我們通用的測時法計算起來，地球自轉一回（即一日），要經二十四點鐘；但是木星和土星自轉一回，不到十點鐘。即此可知他們的一日。沒有吾們一日的一半。倘使木星上有觀測吾們地球的，用和我們不同的標準，測吾們一日的時間；吾們若和他們抗議，問他們何以不用吾們的標準，那麼，他們也可向着吾們，提出一樣的抗議。可見時間的標準，本可任意選擇，沒有一定不易可稱絕對的。

吾們知道吾們的動，是對地球而動的；地球的動，是對於太陽而動的。但是吾們能否說太陽不是對於別的天體而運動嗎？能否說宇宙全體是不動的嗎？假使不能在空間中找得絕對靜止的一點，便不能解釋這兩個疑問。

從前光之波動說，假定空間中都有「以太」的存在，並且說「以太」是絕對靜止的。假如「以太」果然絕對靜止的，吾們要測宇宙間一切物體的運動，就可借此為絕對的標準。至於「以太」

是不是絕對靜止，米格爾生 (A. A. Michelson) 和莫勒 (E. W. Morley) 曾經實驗過，他們的實驗，非常有名，內容如何，待吾再說。

十一 米格爾生及莫勒的實驗

倘使「以太」是存在，而且是靜止的，便可假定地球的速轉，是對着「以太」，從西向東轉的。若是假定地球是靜止，「以太」是從東向西流動，也沒有怎麼差異。

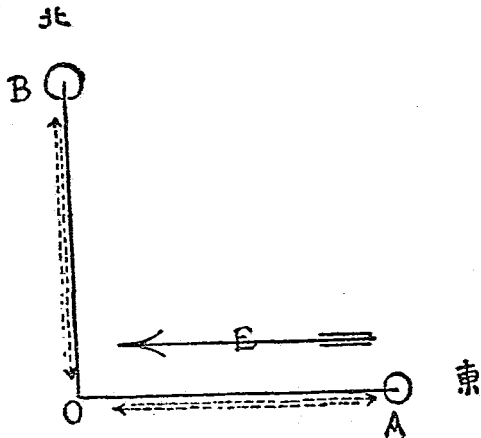
譬如這裏有一條河，甲在河中向上流遊了一百碼，然後回到原處。再從橫裏也遊一百碼，回到原處。（那時遊行的線路，和水流的方向成直角。）倘把所經的時間，計算起來，一定順了水流上下遊行的，較快，而從橫裏左右往來的，稍慢，——這是不待證而自明的。

現在拿河水比「以太」，假定「以太」是從東流到西的。（參觀附圖，圖中的箭，表示「以太」流動的方向。）在地球上擇定一地點O，作為基點。在O點之東，相距一百哩（即和假定的河流相平行）的地點A，置一個鏡子；更在O點之北相距一百哩（就是和假定的河流相垂直）的地點B，也置一個鏡子。然後拿光比遊水的人：在O點發出光線，使他向東方A點進行，到了A點，被鏡子把光線反射，更回到O點。另使光線從O點向北方B點進行，而且也從B點反射到O點。倘使「以

太」是流動的，或者地球是在「以太」中速轉的，那麼，光線在 O A 兩點間往來（即取東西方向，與「以太」流動的方向平行）的時間，比在 O B 兩點間往來（即取南北方向的）的時間，應該稍短。（但兩者的距離本屬相等。）然而據米格爾生和莫勒的實驗，並不能認出兩種時間，有怎麼相差。

照這樣結果看起來，假定「以太」是存在的臆說，豈不與事理相矛盾。然則「以太」究竟有沒有？米格爾生的實驗，和豫期的結果，何以不同呢？這

種問題，已有許多學者竭力研究。據洛倫志所說：物質在運動的時候，依運動的方向而收縮（譬如一個渾圓的東西，從左向右速轉時，那橫裏收縮，成爲橢圓。）米格爾生的實驗，是把東西方向的 O A，和南北方向的 O B，認作長短相等的；若是照洛倫志的學說講起來，O A 間的距離，實在比 O B



間的距離短。不過在這東西方向（即運動方向）中的物體，一概縮短；就是測 O A 長短的尺度，也照樣縮短。所以同一尺度，在測 O A 的當兒，常比測 O B 的當兒短。更因一切物體，短縮的比例，都是一樣，所以測 O A 和 O B 的時候，祇覺彼此一樣長。

我們聽見上面的話，一定說：『那又奇了，尺度既然測不出他們的長短，何必定要說他們有長短呢？』

我們這個疑問，也是不錯。不過洛倫志的創論，雖極新奇，實在確有根據的。因為近來學者，從種種研究，知道物質的本性是屬於電的；洛倫志便從電力之數學的公式，考得這種結論，是必然的。這種說明，是否確當，不必深論。吾們祇要知道米格爾生等的實驗，既是這樣，就使「以太」是存在的，那物體對於「以太」的速度，也難於認識。要借「以太」作絕對靜止的標準，更難乎其難了。

所以安斯坦的相對論，起首便說：吾們對於「以太」，既毫無所知，「絕對」的標準，當然沒有。故知絕對運動的物體，也是沒有的。吾們能設研究的，祇有一物體對於他物體的運動，——就是祇

通俗相對論大意

有相對的運動。

十二 空間及時間的相對性

現在我們又要重新講到牛頓了。牛頓想：空間是一個獨立的實在，時間也是這樣。空間和時間，是不能混在一起的。所以他測算一切運動時，必須有空間的絕對標準，同時須有時間的絕對標準。

但是照以前所說，吾們對於「以太」，毫無所知，故知空間的絕對標準，是沒有的，那麼，時間的標準，是怎麼樣？假如 A B 兩點在空間的位置，沒有絕對靜止的第三點 C 來決定他們，則 A B 兩點所起的事件，如何可論時間的先後呢？

吾們設想在空間中任何兩個天體上，——例如地球和太陽上，各備快慢相等的時計；更用光的信號來，把兩方時計上的時刻，互相對準。然後在○時○分○秒，把光線從地球送到太陽，再使這光線反射，回到地球。當時測算光線從地球出發至回到原處的時間，知是十六分鐘，那麼，光從地球到太陽的時間，照常理想起來，一定是十六分鐘之一半，即八分鐘。但是那時的地球和太陽，假如前

後相貫，依地球的方向，沿直線而前進，則光從地球到太陽的時間，當不到八分；從太陽到地球的時間，也不祇八分。反之，如果地球是跟隨太陽而前進，則光從地球到太陽的時間，必大於八分；從太陽到地球的時間，卻小於八分。所以向日球去的光線，比來的光線，所經時間的或快或慢或在同時，隨吾們的設想而異。（就是設想日與地球是靜止的，來往的光，所經時間，應是一樣；又如設想他們是運動的，就隨運動狀況和速度的不同，而有遲速。）可見同一事件，起於異地者，其時間的遲早短長，原隨觀測者的運動狀況而異的。

十三 明可士幾的空間和時間

一九〇八年九月，德國開科學家大會，明可士幾在會場發表「空間和時間」(“Raum und Zeit”)的新說。他的緒論說：「我所想說的空間和時間的觀念，本是出於實驗的物理學的基礎，現在已很確實了。從今以後，可說空間自身和時間自身，都已隱姿於陰影之中，惟有二者相結合的，可以獨立。」那時安斯坦的相對論，雖已發表，尙未引人注意。米格爾生及莫勒的實驗，不能明示地球運動的效果。許多學者，雖認爲很奇，但是他們仍認把關於「以太」和物質的理論，設法改變，便不難說明；更認「空間時間，隨物質的現象而生變化」的話，也是玄談。所以明可士幾特地作此講演，把斷定「從空間和時間造成的四元 (four dimension) 世界中，一切物理法則，都具不變的幾何形式」的新論，發表起來，使他們注意。

四元的世界，是怎樣的世界？

凡是定物體在空間的位置，須有長、寬、高的三個「元」——這是從來所公認的。如今明可士

幾和安斯坦更以時間作「第四元」(the fourth dimension)。他們主張決定物體位置的時候，時間和長、寬、高是一樣重要的。而且時間和長、寬、高三個元的關係，與這三個元相互間的關係，也是一般密切的。

四元的世界，似乎很難形容，但是一經想到活動影戲的狀況，就可大概明白了。吾們知道活動影戲的影片，是把物體動作，分析起來，印成多數影片；這種影片，順次連接，很快的運動起來，影象就一一映到白布上，顯出物體動作的狀況。(其中詳細情形，普通物理書中，都有講到。)吾們從那一張一張影片所得的感覺，是空間的感覺，也就是三元的感覺。對於許多影片，急速移動，映出物體動作狀況的感覺，是空間和時間合成的，那就是四元的感覺了。

上節說：在空間的物體，運動速度不同的，那所顯的時間也不同。就是在運動不等的任何二天體間。時空(即空間和時間，以下仿此。)的觀念，是各不相同的。那麼如有人問：宇宙間一個天體上的空間時間，和他天體上的空間時間，有無關係？對於一切天體，能否找到一個和他們盡合的東西？吾們便可說：這種關係，用數學的方法，表現起來，就是時空融和的四元世界。內中的第四元時間，和

其他長、寬、高三個元，合成交互垂直的四個坐標 (coordinate)。所以某部分的時間，和他部分的時間空間，如何相關，便由此推考。總之，用四元表宇宙間一切天體的時空關係，是很普遍的；倘把空間時間看作彼此獨立，絕對無關，便不能如此普遍了。

十四 時空融合的世界——空間的歪

明可士幾的四元世界，把空間和時間的關係，定得如何微妙，吾輩不明數學解析之理的，固然不易了解。總而言之，他說空間的三個元以外，另有時間的一元，和三元融合，這種假定的四元世界，可稱爲「物理學的世界」(physical world)。在某時刻的一質點，(在物理學計算上，認質點是地球中心可以代表地球的一點，那全地球的質量，卽在這一點上。牛頓根據此法，把引力法則，推到各天體間。)可用這個世界中間的「幾何學的點」來表示。卽質點隨時的運動，可用這個世界中間的「幾何學的線」來表示。他稱這種幾何學的點，爲「世界點」(Welt-Punkt, world-point)，線爲「世界線」(Welt-Line, world-line)。簡單說起來，這種點和線，是表示物體的瞬間位置和運動徑路的。

牛頓的引力法則，曾說質點是互相吸引的，所以各質點，假如都可表現於世界線，則世界線因受質點引力的影響，便要生歪斜。一言以蔽之，質點的引力，可使空間和時間生「歪」(distortion)的。

如今把皮球譬作世界，描上黑線，作爲世界線；更把皮球擠壓，各線必變彎曲。此時所加壓力，可比質量間的引力；各線的彎曲，又可比世界線受引力作用而生的「歪」了。這種關於時空的新觀念，確是重力新觀念的先導。

十五 安斯坦的重力法則

時空的新觀念，推想空間是「歪」的。牛頓的重力法則，並不顧到這種「歪」；安斯坦的新重力法則，卻包括這種「歪」。所以安斯坦的新法則，既包含牛頓的法則且尤為普遍些。若是我們的實驗，以地球的範圍為限，或是施行於速度較小的物質，那二種法則，是彼此一致的。如果要用到較地球更大的重力，或近於光速的速度上，那麼，牛頓的法則，便覺不行，非用安斯坦的新法則來代他不可了。

從牛頓的法則，說明天體的運動，也很精密，他說行星的軌道，必為橢圓，行星循此軌道，運行不息。若是從安斯坦的新法則論起來，那軌道雖然也是橢圓，不過行星每公轉一次，那循行的路線，常移前少許，而另描一新橢圓。就是這個橢圓軌道的地位，是漸漸變化的。至於變化的度數，又和行星行動的速度有關。行星中運行最速的，是水星，每秒鐘可行三十哩。所以水星軌道方向的變化，比木星，地球的變化，大的多。據觀測的結果，水星軌道的近日點，每一世紀（一百年）移前五百七十四

秒（弧度）內中五百三十二秒，是受別種行星引力的影響而前進的；尚有四十二秒，是受那種作用的結果，從前天文家，都不能完全解釋，久已成爲星學上一個大謎。到了現在，方有安斯坦把他道破。他用精密的數量，測得行星一公轉的當兒，那軌道的移動，等於運動速度，和光的速度的比率自乘之三倍。（即以 v 表行星的速度， c 表光的速度，則軌道移進之量，爲 $\omega \left(\frac{v}{c} \right)^3$ 乘一公轉的弧度之量。）照此計算，所得的值，恰是四十二秒。安斯坦的引力新論，至此便大得勝利了。

安斯坦從這種理論，推得光線受日吸引而生彎曲的事實。不過他在一九一一年發表的，僅屬一種豫言，後來經英國天文家實行觀測，得到和豫言一致的結果，竟把安氏理論，築得堅牢穩固，這樣的事績，確是很可驚異的。

十六 結論——安斯坦的功績

研究空間中的運動，是牛頓法則的基礎，也是安斯坦研究的根據。不過安斯坦的研究，對於空間和時間，與牛頓方程式中的說法不同。他說，空間和時間，不是分立的，是彼此相依的。因為要覓普遍的法則，能夠適用到宇宙全體的，非把空間時間融為一體不可。應用這種革新的時空觀念，解決宇宙問題；把牛頓所築物理學的基礎，擴張改造，建成更加普遍，更加廣大的基礎，便是安斯坦極大的功績。從前科學的船，在煙霧瀰漫的「以太」海中，已彷徨了多時，如今一經安斯坦的指示，便能在時空混融的世界中，得到安全的捷徑了。

十七 安斯坦的事績

我把安斯坦相對論的大體，雖已說了梗概，若是要依據我所講的，去研究相對論的深理，卻大不夠。因為要論這種深理，決不是區區淺說能夠表明，所以現在祇講些通俗易解的，其餘深奧精細的理論，還須讓專門著述去詳說。

聽我說過安斯坦相對論的，一定很想知道安斯坦是怎樣人，因此更把安斯坦的經歷和性格，說些大略。

亞爾倍德安斯坦 (Albert Einstein)，是一千八百七十九年（即清光緒五年）生於德國威爾登堡 (Wurtemberg) 的烏爾姆 (Ulm) 地方。本係德系的猶太人。十六歲，出中學，十七歲至二十一歲（一八九六至一九〇〇年），在瑞士實里 (Zurich) 大學學數學和物理學。一九〇二年入瑞士籍，在百恩 (Bern) 特許局當技師。一九〇九年，改任實里 大學教授；一九一一年，入巴拉克

(Prag) 大學，居一年，仍歸實里大學。一九一四年，柏林學院聘他去擔任研究。現任柏林大學教授，更兼維廉 (Wilhelm) 物理學研究所主任。

安斯坦初次發表相對論，在一九〇五年，此後又作量子 (Quantum，或譯「元能」或作「素量」) 論。至一九一一年，更研究到重力問題。自從就職柏林學院後，因為收入很豐，教務很閑，可以專心一意，竭力研究，因此得把他的「普通相對論」(Die allgemeine Relativitätstheorie, general relativity) 極意經營，到一九一七年，大功竟能告成。那時歐戰正盛，世人還沒有工夫注意到此，經一九一九年，英國觀測隊證明這種學說的真確，和倫敦時報的竭力鼓吹，以是研究的人愈多，而安斯坦的名，也闖動全球了。

去年 (一九二一) 安斯坦為運動猶太再興起見，領了幾個同志到美國去，美國人士，無不竭誠歡迎，當時盛況，為從來所少見。紐約時報的記者，稱他身長得中，前額廣秀，兩眼明大，光彩四射，那天真爛漫的氣概，如同赤子，——讚美的情形，可見一斑了。

美國某報記者，稱新聞記者最難接近的，目前德國有兩人，安斯坦是其中之一。可見安斯坦是

很厭見新聞記者的。今再把美報記者的安斯坦訪問記，介紹一二，以供談助。

『他的書齋，在柏林某街，地極幽靜，內分談話室研究室兩大部。談話室中，四壁多列迪更斯集，沙士比亞集，及哥德集等書籍，更有他所推崇的哥德和希爾勒兩人的半身像。

談話室之旁，有音樂室，他借音樂和捲煙，作唯一的消遣。不過因捲煙是有害的，由其夫人日以規定額供給他；那玩弄樂器的時間，卻沒有限制，並且奏的很精。

研究室很質樸，其中備望遠鏡，可從窗口瞭望。此外還有地球儀和金屬製的種種太陽系模型。壁上掛着牛頓的像片兩張。研究用的桌子，也簡樸而不大。他每日收到的信，平均有六十多件，所以另備小號打字機，更請書記一人，處理往來函件。

我初進他的書齋時，見他頭髮蓬亂，穿了舊袴和襯衫，往來室中，忙個不了。據他的夫人說：他在考慮一個問題的當兒，往往兩眼發直，彳亍室中，好像患了熱病，連飲食都要送入研究室中給他吃；這種生活，每次常連續三四天。平常和家族聚食時，也往往一言不發，獨自凝思。到這樣的思索既了，便取小說閱看，以為休息。他雖然常同妻子到郊外游玩，若是夫人或子女要約他去，卻辦不到。作事

的時間，沒有一定，連夜不眠，到明天纔睡的事，是常有的。

他對我說，要我在印刷訪問記以前，先給他一看。我便回答他，這種紀事，非回到美國後不作。因此他又說：「既如此，望你寫的時候，記着我是竭力主張平和論的，卻信世界還要起許多的戰爭。不過再經一次戰爭，我們的文明，便要全滅。要戰爭不致再起，非由各國國民，結一種國際的協約不可。大陸的文明，歐羅巴的文明，受此次大戰的打擊，已非常退步。但是這種損失，還可設法補償，假如再經一度大戰，那歐羅巴就要滅亡了。」……」

十八 安斯坦的教育觀

德國莫斯科士幾 (Alex. Moszkowski) 所著「安斯坦」(“Einstein”) 一書中，曾論安斯坦的教育觀，特再擇要說明，以備參考。

安斯坦說：「教育應注重「反應的銳敏」，就是以養成「精神的筋肉」爲主旨。所以語學的訓練，是不大適當的。普通教育，宜重在使學生自己作思索的修練。」他的意思，以爲語學教育等，不妨犧牲若干；而養成真確認識的實科教育，應十分注意。他評試驗制度說：「近人多認一切訓練的目的，在畢業試驗。實則這種無益之事，不如完全廢棄。……考試完了後，再經數月，就要忘記，既要忘記，何必多此一舉呢？我們宜歸乎自然，順從「以最少勞費求最大效果」的原則。那畢業試驗，卻與這種原則相反的……」

「一天六時間的教育，能有四時間在學校訓練，二時間在自宅訓練，已很足夠，並且已是最大

限了……現在宜減少時間，刪去不必要的課目。「世界歷史」等科，就是其中之一例。這種枯索無味五花八門的東西，祇可留些綱領。我想學生對於亞歷山大帝等侵略的事實，就是些毫不知，也不算不幸。惟有古來對於文化方面，很有貢獻的，如亞幾默德（Archimedes，紀元前三世紀的力學家）、獨列米（Ptolemaios，是埃及古代的星學家，精幾何學與地理學）、海隆（Heron，紀元前二世紀的實用力學家）、亞波洛紐士（Apollonius，紀元前的數學家，創圓錐線學）等的事績，可以大略講些。全課程中，理應刪去冒險家、流血家、加入學問家、發明家……」

安斯坦更提倡實用的手工教育；他說：「手工雖非預備受高等教育的基礎，卻是可使人類把可立的地盤，築得廣大而堅固。普通學校最希望造成的，是「人」，不是未來的官、教員、學問家及著作家等。所以不是僅要腦發達……」

「……學校所教的理科，應求其較目下更適於實用。現今所教的，離實際太遠……不拿兒童思想能夠了解的來教授，卻教些很難解釋的定義等，豈非無理嗎……譬如物理學的初步，祇可教些可以實驗，很有趣味的事項。因為行一回有趣的實驗，那所見的，都可以深印於腦中；就使教了公

式二十個，也抵不到他的有益。……教公式猶教世界歷史中的年代，是兒童最畏懼最厭惡的。……」

『近來各處學校，有一種試行的教法，卻很可獎勵。這就是教育用的活動影片。……人人應知的主要工業經營的狀況，如動力工場的構造，汽車，報紙，印刷，發電所，玻璃廠，煤氣廠等的內容，都可借影片來紹介，並可在極短時間中，得極深的印象。……總而言之，救濟教育事業之道，實在一言可盡，不外乎「親眼目觀」一句話。因為一切知識，非力求可以體驗不可。將來的學校，宜照這種根本方針，徹底改革一下。』

至於安斯坦的女子教育觀和婦人觀，從下舉的說話中，可以推知大概：

他說：『科學和其他學科，果然教得很認真，那效果，總有些欠缺。據我所想，婦女因為具有某種天賦的障害，所以不能把期望男子的尺度來度量。……雖很有屬於例外的，總不能移動這種限於性別的標準。』

莫斯可士幾對於這種論調，不能滿意，所以也作批評道：『足下固善作豫言，但是這種期待，似乎根據太淺。單從所謂素養增加的「量的」前提，結論到所謂天才增加的「質的向上」，未免有

些無理罷！』語雖談諧，也很得當。

安斯坦的講義，非常動聽，爲別的抽象學家中所少見。所以聽講的人，非常之多，人數達一千二百，爲從來所未有。並且聽講的多說：『講的處處明白，可以無須質問。』但是安斯坦仍舊非常虛心，從沒有一些驕傲自得的態度，豈非更爲難得麼！

附錄科學之革命

一 空間及時間的觀念

吾們所居的地球上，一切事情，都是從「空間」和「時間」的觀念成立的。

所謂「何時」「何處」，便是根本的問題。作起具體的說明來，譬如說：吾要證明我如今在這個地方，惟有用怎麼時候，怎麼場所，來表明自己的存在，此外沒有別法了。

所以除了所謂「何時」的「時間」，既不能明示；除了所謂「何處」的「空間」，也不能成立。換句話說，空間和時間，分成單獨的東西而存在的，絕對沒有。因為不存在於空間中的東西，固然沒有；僅存在於空間，而超然立在時間之外的，也決不會有。所以空間和時間，在說話上雖分爲兩個，實在決不是分別存在的。照學術上的話說起來，這兩種的存在，非「絕對」的，是「相對」的。

現在更有一例，可以表明這個關係，就是：生理學上說，人的身體，是靈性和肉體所合成。祇有靈性，不能成爲人；祇有肉體，也不能算爲人。那空間和時間的關係，也是這樣。又如支持吾們身體的兩條腿，也可譬喻空間和時間，這兩條空間和時間的腿，立定在大地上，就可把地球上一切問題，解決出來。

以上所說，大約已可使讀者明白空間和時間的關係，所以更要把談話講開去。

假如有兩個測量技師，同去測量一條路的長。那兩個的測量技術，都很高妙，所用的測量器械，也很正確，而且彼此完全相等的。

那兩個技師，在同一路，從同一位置測起，但是幾分鐘後，甲技師比乙技師先行測完。在這個當兒，若是問：

「甲乙兩個技師，把那條路測得的長，是否相等？」

那麼，從來學者，對於這個問題，也有說「是」的，也有說「否」的。說的是，是牛頓和他以後的物理學家及數學家。說不是的，便是現在要介紹的安斯坦了。

不過這種實驗，是對於場所的，就是關於「空間」問題的。吾們還要講關於時間的實驗。

現在拿精巧無比測量用的時計（原名 *chronometer*），分給兩個測量技師，使他們先把時辰對準，不使有一秒一毫的相差。然後使他們測計一個走路人從一端走到他端的時間。那時如問：

「這兩個技師測得的時間，是否一定相等？」

回答的，也有兩種：答「是」的，是牛頓的法則；主張「否」的，是安斯坦的學說。

試問：對於這兩種實驗的主張，究竟是那個正當？那麼，吾們定要说：安斯坦的學說，比牛頓的法則，理由充足的多。聽吾說這話的，或者要说：「那裏有這種呆事！」（在事實上，就是有相當學問的，也是這樣想。）但是安斯坦確已證明：「這種呆事——可以有的。」目下流行的「近世科學之破產」一句話，便因這個緣故而產生的。

不過吾們還要問：那科學的破產，究竟從那裏發生呢？以下所說從實驗而得的結果，可以解釋此疑問。

二 「光的速度和「以太」

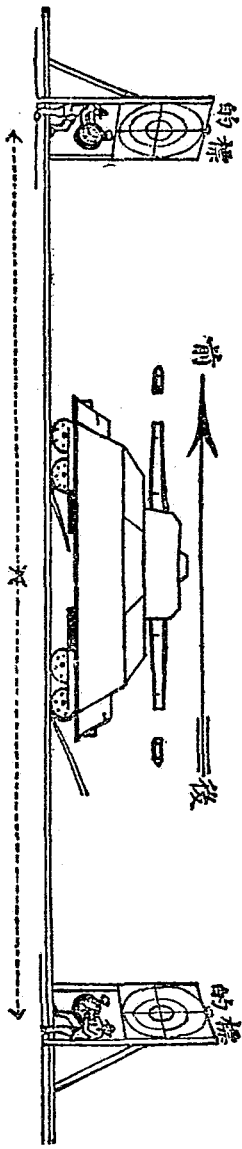
光的速度，無論在什麼時候，怎麼地方所測定的，統統相等，即一秒鐘可行三十萬浬（公里）。這種測定，在現在看，似乎很平淡，一經想到當時如何能測算這很快的速度，卻很覺驚異。到了最近，則有更可驚異的事實，便是安斯坦把革命的炸彈，投到科學界。那炸彈究竟是怎麼呢？聽了以後所講，便可了然。

吾們假定有一臺礮車，前後裝兩門大礮，大小相等，方向相反。待礮車開足機器，向前速行，到路的中段，把兩門大礮，同時開發，此時結果，可認向前面發射的礮彈，（就是順礮車開行的方向的）比向後面發射的礮彈，（就是和礮車開行的方向反對的）到「標的」的時候早。這是極自然的事，並沒有怎麼希奇。何以故呢？因為車子是向前開的，所以向前發射的礮彈，除了他自己的速度，還加上礮車的速度；（那時情形，用算式表起來，就是：礮彈的速力 + 車的速度 = 礮彈的全速度。）

向後發射的礮彈，前進的速力，卻被礮車的速力，減少了幾何；（就彈：彈的速力 = 礮彈的速力 - 礮車的速力）那麼，達到「標的」的時候，自然有先後了。

倘使實驗的時候，立在前面的人，不測前進礮彈達到「標的」的時間，卻測向後發射的礮彈，達到標的的時間；（即並不迎着礮彈來的方向，卻順那去的方向。）立在後面的人，也用相反的方法來測。則兩種結果，卻完全相等，更找不出怎麼不同。這是很可驚異的。

又如有兩個測量技師，同在這礮車上，測量那兩門大礮開放時的光線速度。可認兩方的光，射出的速度，多是一樣。（即一秒鐘行三十萬呎，——地球繞日運行的速度，每秒鐘是三十呎，比起光



二 光的速度和「以太」

來，相差一萬倍。）這種實驗，從前米格爾生及莫勒曾搭乘在最速的火車上，極正確的試行過。

總之，光的速度，無論如何測法，總沒有增減。即使溫度低到零度以下二百七十三度的絕對零度，他的速度，仍舊不變。

但上述實驗的結果，原來包有兩種相反的現象，就是：

(一)測量技師在車內觀測時，知道光線和上述的礮彈一般，以相等的速度，向前後放射。

(二)立在路上，迎着車子的前後，測計射來的光線的，卻知道光線與車子的移動無關，放射的速度，前後相等，和前述礮彈的進行狀況相反。

*

*

*

*

安斯坦對於前述兩種相反的結果，曾竭力研究，求其一致混融之道，已能成功。這便是他發前人未發的創見。

更有一部的物理學家，主張地球上面，到處有一種假定物體名爲「以太」的，充滿其中；並說這種相反的事實，是和「以太」有關的。但是安斯坦不認「以太」的存在，他說：如果「以太」是

實在的，我們的五官，總可察覺其存在，如今我們的耳、目、鼻、舌、手，既無一能夠感覺他，此話當然說不通。

安斯坦在這種不合科學，多混想像臆測的怪論上，不肯立腳，所以決定「以太」非實在的。他又讓一步說：就使「以太」是有的，則「以太」當然是一種物質，應該有一定的質量。既有質量，地球行星等在其中運動時，應該受他的抵抗。（就是對於運動的阻力，在本書第六節「以太」的假定中，已詳細說過。）何以運動的速度，絲毫不減（即不受阻力的影響）呢？

所以切實論起來，「以太」的假說，不能根據科學，作確切的說明。

III $90+9=100$ ——物體的長寬和速度

存在於地球上的物體，可以說大都沒有一定不變的長短，而且那長短是時常跟了他速度的變化，而生伸縮的。

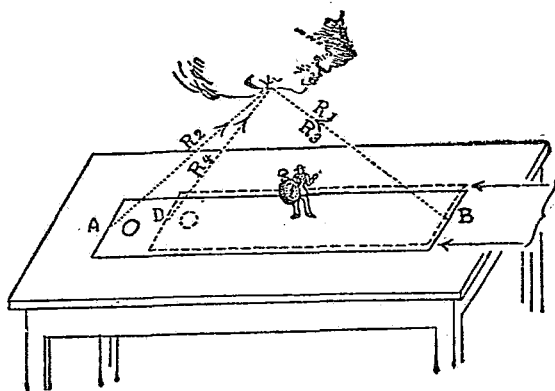
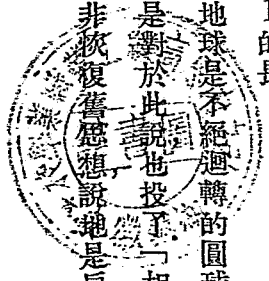
實際上，吾們兩眼所見物體的長，假如拿一枝尺來講，那尺的兩端，發相等之光，把長短的定限，印到吾們的眼中，（就是物體所發的光，達於眼中的網膜，即構成那物體的影象。）吾們便知這枝尺的長。

試把這枝尺，放定在桌面上，吾們的眼，在當着尺的中央之處，觀測那尺。如下圖所示。此時 R_1 、 R_2 、……的光線，從尺的兩端發出，便見尺的兩端，定在 A、B、兩點上。又用很快的速度，把尺向 C 點推移。當尺的後端（即原在 A 點的）移到 B 點時，有一道光線，送到吾們眼中；這道光線如定名為 R_3 ，則初次視察時的 R_1 ，和這次的 R_3 ，必相一致。更有一道 R_4 的光線，和 R_3 同時送到吾們的眼中。試問 R_4 則

R_2 是不是一致？吾們可以答道：這是顯然不同的。何以故呢？照這裏所說， R_1 是和 R_3 同時達眼的，但是位置已移；如今尺的前端（原在 B 點）既因移前而離眼遠，那後端自然離眼近，所以 R_4 比 R_2 短。又 R_2 等於 R_1 ， R_3 也等於 R_1 ，故知 R_3 比 R_4 長；今 R_3 和 R_4 同時達眼，而 R_3 的線路，卻比 R_4 短，所以 R_4 達眼的速率，實在比 R_3 遲。

因此尺在吾們眼前經過時，（或眼在尺前經過）吾們祇認尺的長，等於圖中 D B 的長。

從前加里利備地球儀，說地球是不絕迴轉的圓球。如今安斯坦學說的驚人處，便是對於此說也投了「相對論」的炸彈——但是他並非恢復舊思想，說地是扁平的，也不可訛會。



又如吾們以前總想長、寬和時間，都是一定不變的，這種觀念，自從安斯坦的相對論發表，便完全推翻。他說：

『凡事物的長和寬，隨觀測者的運動速度而變化……』

是故，在從來的數學上，雖認 $30+9=100$ 是顯然錯誤的，照現在的新理推起來，便可說：或者不錯，或竟可以。

據計算的結果，凡速度達一秒鐘二十六萬呎的，靜止的尺，就比速動的尺短。所以物體的長和寬，須看了觀測者的速度如何，纔可以定。

照此推想，則迴轉極速的圓球，豈非要在不知不覺裏，變成了橢圓。吾們所住的地球，假如轉得更快，恐怕也要成爲檸檬一般的長圓形了。

假如有一片正方形的廣場，也用極快的速度飛起來，便要順着望前飛行的方向，把正方形牽成狹長的斜方形了。

四 四元是怎麼？

凡決定一個物體在空間中的位置時，若祇有「長」的觀念，難以完全表示，必須用長、寬、高三個「元」來決定。不過安斯坦的主張，以為從來所定的三個「元」中，應加上「速」的一個元。即光從某位置上的物體，移到某位置上觀測者的眼中，所需速度——就是時間——也須算入各「元」中。

以上的話，並非說第四元「時間」，是占據空間的，不過表明時間這一元，對於長、寬、高三個元，都有很密切的關係罷了。

認時間為第四元，也有略覺困難的。例如：吾們設想搭坐在極快火車中的時候，祇覺火車以很短的時間，經過沿路各車站；然人在車內的種種動作，由車內靜止的人看起來，覺得比車外景物的運動，明明是遲緩。吾們從這兩種不同的感覺，便認其動作有遲速，而發生一種幻覺於速度（即時

間)之上了。

凡人自從離開母腹，到將行呼吸的一剎那中，也可看作從生到死的當兒。換言之，人們的一生中，如果常動身體，沒有片刻休息；或則精神狀態，常在恍惚昏迷之中；即使活了一百年，也自覺壽數是很短。這種說法，決非無根之談，用來譬喻前述的幻覺，是很確當的。

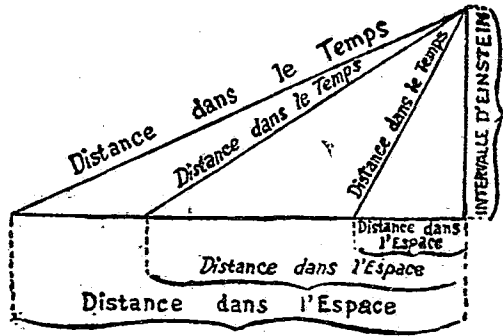
再借活動影戲來譬喻，那一張一張的影片原是靜的，等到許多影片接着速動，便顯出活動的光景。這也是從具有空間和時間感覺的影片接連移動，把時空融合的四元的感覺，傳到吾們眼中的。這種道理，在本書第十三節中，也說過了。

五 空間和時間的相對性

假如有一輛火車，從甲站開到乙站。其時在車內測甲乙兩站距離的人，比在車外測的，一定覺得那距離短的多。內中緣故，用以前所說的道理來講，便可明白。其實，這兩個人所感覺的時間，（當時兩人所設想的，有長短之別。）原是相等的。總之，觀測者的速度增加，則在時間內的距離，和空間內的距離，統統減縮；反之，速度遞減時，那距離的增加，也是一樣。可見這兩個狀態（即空間和時間的距離）的長，是隨觀測者之運動而異的。

然而照精密的計算，吾們在考察相接近的兩個狀態時，無論施行觀察的是誰，無論速度是如何變化，其中總可找到一定不變的價值。安斯坦特定這種價值的名稱爲「歪」。其間關係，恰和直角三角形內一邊與他兩邊的關係相彷彿。（參觀附圖所示）

就是在空間內的距離，和在時間內的距離，是隨觀測者的速力，而同時生增減的。那直角三角



(圖說)上圖直角三角形的斜邊,表示對於其他垂直各階段各時各秒間的距離,(用光來講,就是一秒鐘三十萬呎);其垂直的長邊,表示空間內的距離;短邊表示時空距離的中間值。

形的第三邊(底邊),卻是一定不變的,——這便是安斯坦所稱的「歪」。

可見自然界中唯一的真實,便是在這種狀態裏的「歪」,而空間與時間,必融合為一體的。這樣關係,又可拿兩個鏡子來譬喻,就是一個凸面鏡,和一個凹面鏡,可比空間和時間。那兩個鏡面的彎曲度,(即凹下和凸出的多少)又可假定為隨觀者的速度而增減的。原來這兩個鏡面,照出的物像,都是變形的。若是把兩個鏡面,彼此對準,使凸面鏡所受的光,都

是從凹面鏡反射而出,則其間所結的物像,無不顯出真正的形狀了。在空間和時間的關係,正與此一般。

六 集合體

論物體的集合，也是相對論中重要事項之一種。據實驗所知：要一個礮彈，照某速度的四倍而發射時——即所謂集合時——須要供給他等於四倍的前進速度。不過這種速度，假如極大，一秒鐘竟達十萬杆，（例如克羅克（Crookes）管內陰極線所放的光。）則受人供給四倍之力時，卻不增加到四十萬杆，祇有增加到三十萬杆為止。此中理由，照牛頓的法則說起來，就是：靜止物體的集合，常保其靜止的位置，必須加以外力，打破他的慣性，纔顯運動的速度。至於安斯坦的主張，更說空間和時間的集合，也成一個關係性質的。

又如假想有物理學家，搭在一秒鐘可行二十萬杆的火車中，放射一秒鐘二十萬杆的陰極線。那麼，他在那裏觀測所得的距離，卻比他豫料的距離，短了不少。就是其中距離，已隨着他不能自認的速度而短縮了。

安斯坦依據這種新學說，改革力學上和光學上的法則，遂成宇宙現象研究界的中心人物。

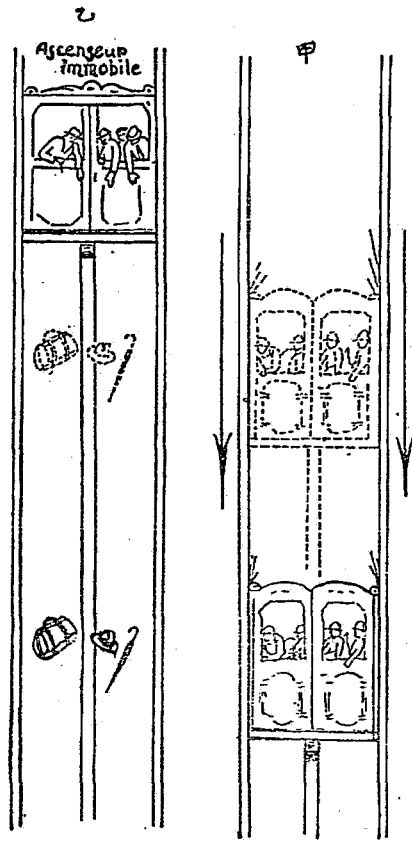
從兩個近似的物體，發出光線，那速度集合之時，雖生某種變化，但和平常的光，沒有特異之處，所以觀測者的眼，不能感覺他。譬如：登山的時候，隨一步一步的上昇，而望得見的地面，也漸漸增遠。但是眼界雖順次增廣，那山麓的花草蟲鳥等物，卻漸難辨認了……借這種現象，喻上述之理，是很確當的。

七 重力的新法則

安斯坦最大的功績，在革新重力的法則。他的時空新觀念中，有所謂「歪」，已詳前述。這種所謂「歪」，在牛頓的重力法則中，是未經想及的；原來，地球上一切重力的現象，即不想到這種「歪」，也可以說明。但是更進一步，想離開地球的小範圍，而考究宇宙的重力，則牛頓的法則，便難說明他，因其沒有想到空間有「歪」的緣故。可見安斯坦的重力法則，比牛頓的重力法則，確是偉大些，普遍些。

地球對於物體的引力，不問其質量如何，地位如何，常以同一的力（即一秒鐘九百八十一厘米（公分））來牽引。所以一葉紙和一個礮彈，落地的速度常等。不過地球之上，充滿空氣，對於物體落下，有一種阻力，以致這種現象，平常難見其自然的狀態。設在真空管內，施行實驗，便可看得分明了。又重力倘類似電磁或火車的牽引力，則由其集合而生的速度，當種種不一。照此推想，重力當不

獨爲「力」，並占有空間。所以安斯坦深信不疑，發表他的主張。按物理學上稱磁力所及的空間，曰「磁力場」；安斯坦則稱重力所及的空間，曰「重力場」。更由此導入「質量」及「慣性質量」的新論。



(圖說)上圖有兩個升降機：一個是靜止的(乙)，一個是以一秒鐘九百八十一「纏」的速度而下降的(甲)。那時乙箱中的人，乘甲箱降到和自己的箱高低恰平的一剎那中，把帽、傘、皮包，在窗外放下(即不是用力拋下的)，則甲箱(方在降下)中的人，祇見那帽、傘和皮包，都是以相同的速度落在自己旁邊的空間內，並不見他再竄底下去。

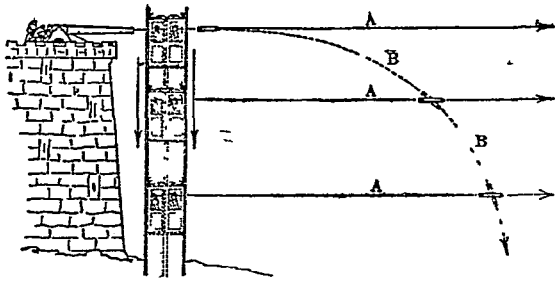
要使這種事實，容易解釋，也可舉例來說明。譬如：我們在美國紐約的摩天樓，坐了升降機，以一秒鐘九百八十一「纏」的速度(即和地球重力的速度一般)而上昇。那時因落了錢袋，急相搶

住，把頭上的帽，掉在窗外。那帽子因受重力的支配，當然要向下墮落。不過其中還有很可注意的，就是落下的帽子，和上昇的昇降機，速度是相等。

這樣看來，可見物的大小、長短、和所謂靜止、運動，決沒有可說是單獨的；祇可說：大是從小的比出來，長從短的比出來，運動是從靜止的比出來。在此等情形中，沒有怎麼絕對的標準；實在都屬相對的……這種說法，便是所謂「相對論」。

從時空兩個狀態而定的「歪」，和觀測者在種種不同的速度中所得的，完全相同。所以觀測者的速度，即使變化，昇降機的降下，即使漸快，那考得的歪，應當一般。

如今假定在地球上受重力支配的一點，發射礮彈；而且那礮彈進行的速度，同光速相等。那時礮彈很快的前進；爲了自己的重——即受地球引力所致——漸漸靠近地面，以致所經路線，描成大弧，終至落在地上。然而這個光景，從正在下降的昇降機中，觀測起來，祇見礮彈落下的線路，明明成爲直線。（參觀下圖）就是和礮彈一同進行的光，那線路也是這樣。原來光在空間內（即除去重力的假想空間），本依直線而進行；然此時的昇降機，卻以等於地球重力的速度而下降，故所見



(圖說) A ∴ 示發彈射出的線路,和光線進行的路。但此時是當發彈沒有重量的。
B ∴ 示發彈受重力影響而落下的綽路(即彈道)。同時更示昇降機隨之降下的狀態。昇降機當發彈方發的時候,同時降下,那時機中的人,祇見彈向前進,似乎沒有落下。所以從他們看起來,似乎發彈是無重量的。

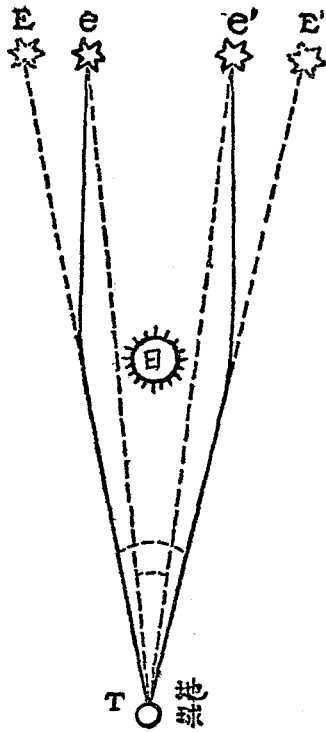
據學理來臆測,確是可用實驗證明的。

循直線而前進的「彈」和「光」,並不是真循直線而前進。因為他們的降下,和昇降機的降下,速度相等,所以見這種現象的。(內中道理,和例一般)。不過在牛頓及牛頓以後的學者,都不能想到光受重力的一點,以為光是沒有重量的。一經安斯坦的說明,這種思想,就馬上推翻。安斯坦曾經明說:

「光是物質,故受重力。∴」

後來經實行考驗,知道各種恆星的光,經過太陽近旁時,因受太陽重力的吸引,便向着太陽,依某種角度而彎曲。可見安斯坦的主張,並非單

這種實驗，是一九一九年五月二十九日，日食全食期中，特在地球上兩個地點，以大規模的設備而施行的。當時的日食，計八分鐘，在其中撮得影片十數張。據此推算光線受日吸引而生的彎曲度，知道和安斯坦的理論，完全相同。因此安斯坦獨創之論，得了莫大的佐證，而「光是物質」的主張，也大獲全勝了。



(圖說) e 示某恆星的實在位置。T 是地球上觀測者的位置。——在 e 星光線，不從太陽旁邊經過時(例如夜間)，立在 T 點的觀測人，可見他在 e 點。
 例如 e 星的光線，經過太陽近旁，然後達到 T 點，則中途受太陽吸引而成曲線，所以立在 T 點的觀測人，祇見 e 星在 E 的位置。(施行觀測必乘日蝕之時，理見廿一頁中)。
 至於 e', E' 的關係，也是一樣。
 英國觀測隊，測得這種 e, T, e' 角和 E, T, E' 角的相差，與安斯坦重力新論，完全相合。

八 結論

吾們從前研究牛頓的重力法則，知道任何二物體間的引力，與其質量成正比，與其距離的自乘成反比例。如今又可考究到不問觀測者的速度如何，在時空兩個狀態中，常有同價值的「歪」了。總之，一切科學法則，以真確爲本，極端說起來，都可歸納到一個永劫不變的真理的。

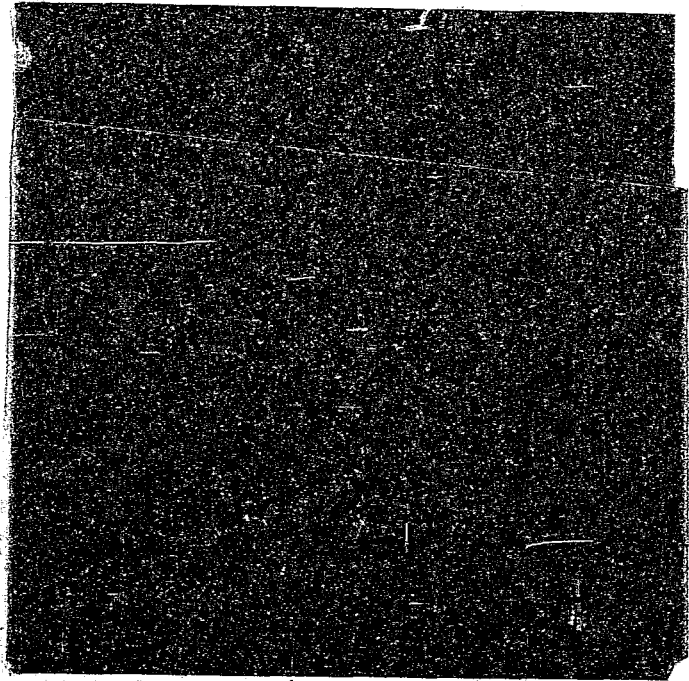
以前說過，用牛頓的學說，說明地球上的一切事實，雖沒有怎麼不對；一朝把這種關係的範圍擴張，要想說明日、月、星、地等宇宙間諸現象，便不能不借助於安斯坦的新法則。所以安斯坦簡直是增補牛頓法則的。

吾們所住的地球，多少成橢圓形。據洛倫志所說，凡物體都依運動的方向，生一樣的短縮，不過那測長短的尺度，也跟着短縮，故真正的長，不能在地球上測出來。因此安斯坦說，一切事物，都可看作相對的。

* * *
安斯坦的新發見，宛如點了光明的燈，把人們心中的若干疑問，定了明快的解釋。但疑問是無窮的，舊的既去，新的又隨着發生了。

科學宛如探照的燈光，能在幽暗神祕的去處，照出真理的逕路。人們不絕把這種燈光照射的範圍，竭力擴張；那幽暗的未知世界，卻同時增加。

所以宇宙的玄奧，和生命的起源，一般無二，那幽暗神祕的領域，都是無窮無盡的……



編主五雲王

庫文有萬

種千一集一第

意大論對相俗通

譯祥費著坦斯因愛

路山寶海上
館書印務商 者刷印彙行發

埠各及海上
館書印務商 所行發

版初月十年九十國民華中

究必印翻權作著有書此

The Complete Library
Edited by
Y. W. WONG

THEORY OF RELATIVITY FOR GENERAL
READERS

By
A. EINSTEIN
Translated by
FEI SIANG

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China
1930

All Rights Reserved

B
五
九
三
分

040347



Z121.6