

新 中 學 文 庫
通 俗 相 對 論 大 意

愛 因 斯 坦 著
費 祥 譯



商 務 印 書 館 發 行

書叢小科百

意大論對相俗通

著坦斯因愛

譯祥費

編主五雲王

行發館書印務商

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，解釋得人人可懂。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 $SO_3 + SO_2 TO_3$ ——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；併且安斯坦所幹的，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，尙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爲根據。所以要知

道安斯坦「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(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，就把注意移到蘋果方面，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；並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。

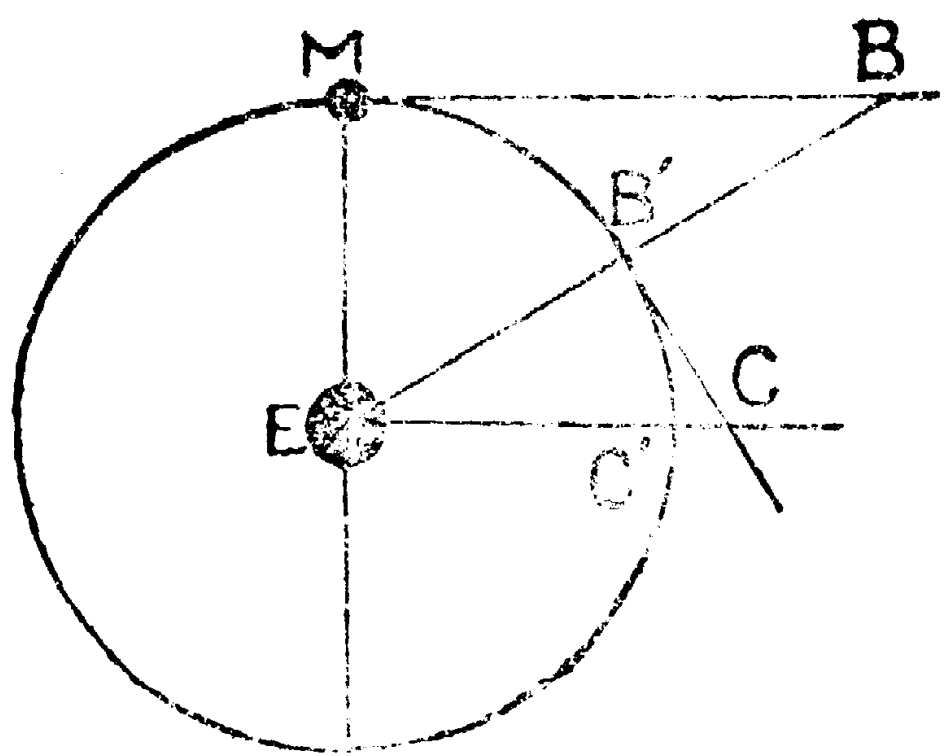
既如此說，月球之所以不會落到地上，大概也因距離極遠的緣故？

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例，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爲地球，M爲月球。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MB'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，把他路逕牽成B'C'的曲線。那時因爲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。

何以普勒說這種路徑，是橢圓的？今將其大概在下而講一下。



三 牛頓以前的學說

要知愷普勒說天體運行，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，人人都信地球為宇宙的中心，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，視為褻瀆上帝，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；大名鼎鼎的伽里利（Galileo），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，出面辯護，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。

牛頓知道戶球運行極速，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，再為大略一講。

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，爲牽引的媒介；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，另有一種特別物質爲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，使媒質的一部振動，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，那傳播光波的媒質，是怎麼呢？據從來的假定，稱這種媒質爲「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 (M. 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 (Hertz) 研究來頓瓶的放電如何生振動，如何惹起「以太」的波動，知道這一種波動（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，不過一瑪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 (Neuman) 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，然而尚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，又有許多繞日行星周圍的衛星。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 0.75 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^有二處要起日食的全食。（一處在巴西北部的所勃拉爾「Solihull」，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，為考求真理起見，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。

牛頓以為空間和時間，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，也沒有什麼差異。

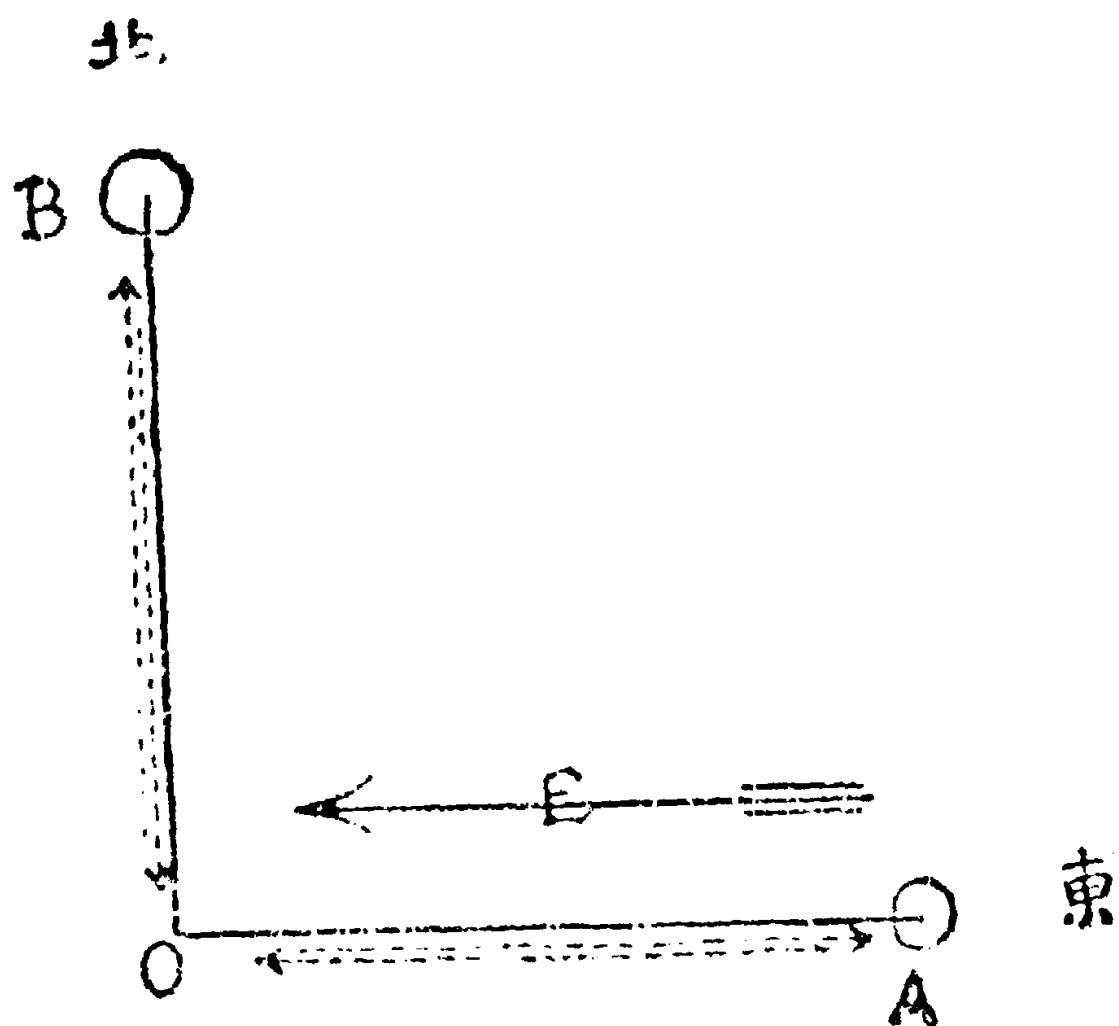
譬如這裏有一條河，甲在河中向上流遊了一百碼，然後回到原處。再從橫裏也遊一百碼，回到原處。（那時遊行的線路，和水流的方向成直角。）倘把所經的時間計算起來，一定順了水流上下遊行的，較快，而從橫裏左右往來的，稍慢，——這是不待證而自明的。

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

「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。所以他想測算一切運動時，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，以下彷彿此)的觀念，是各不相同的。那麼如果有人問：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 (co-ordinate)。所以某部分的時間，和他部分的時間空間，如何相關，便可由此推考。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，即在這一點上。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「幾何學的点」來表示。即質點隨時的運動，可用這個世界中間的「幾何學的線」來表示。他稱這種幾何學的点，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，既包容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 $\frac{3}{2}v$ ）乘一公轉的弧度量。）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 (Württemberg) 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 (Nienburg) 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

（1913）大學，居一年，仍歸賓里大學。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，以爲休息。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」(“Finstein”) 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。惟自古來對於文化方面，很有貢獻的，如亞幾默德（Archimedes，紀元前三世紀的力學家）獨列米（Ptolemaeus，是埃及古代的星學家）海隆（Heron，紀元前一世紀的實用力學家）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。說是的，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，究竟是那個正常？那麼，吾們定要說：安斯坦的學說，比牛頓的法則，理由充足的多。聽吾說這話的，或者要說：「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」

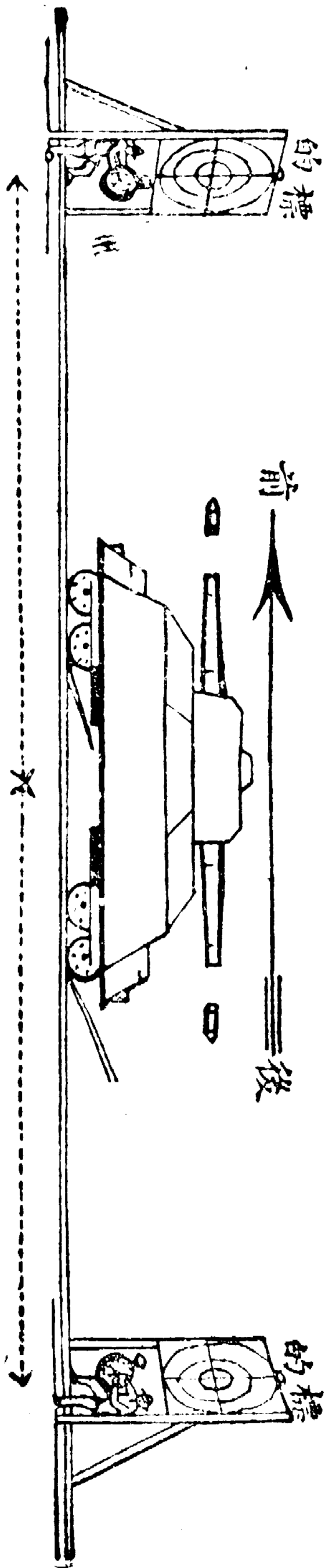
光的速度，無論在怎麼時候，怎麼地方所測定的，統統相等，即一秒鐘可行三十萬千米（公里），這種測定，在現在看，似乎很平淡，一經想到當時如何能測算這很快的速度，卻很覺驚異。到了最近，則有更可驚異的事實，便是安斯坦把革命的炸彈，投到科學界。那炸彈究竟是怎麼呢？聽了以後所講，便可了然。

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：礮彈的速度 + 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；（就是：彈的速力－車的速力＝礮彈的速力）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



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。

三 $30+2=100$ ——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。

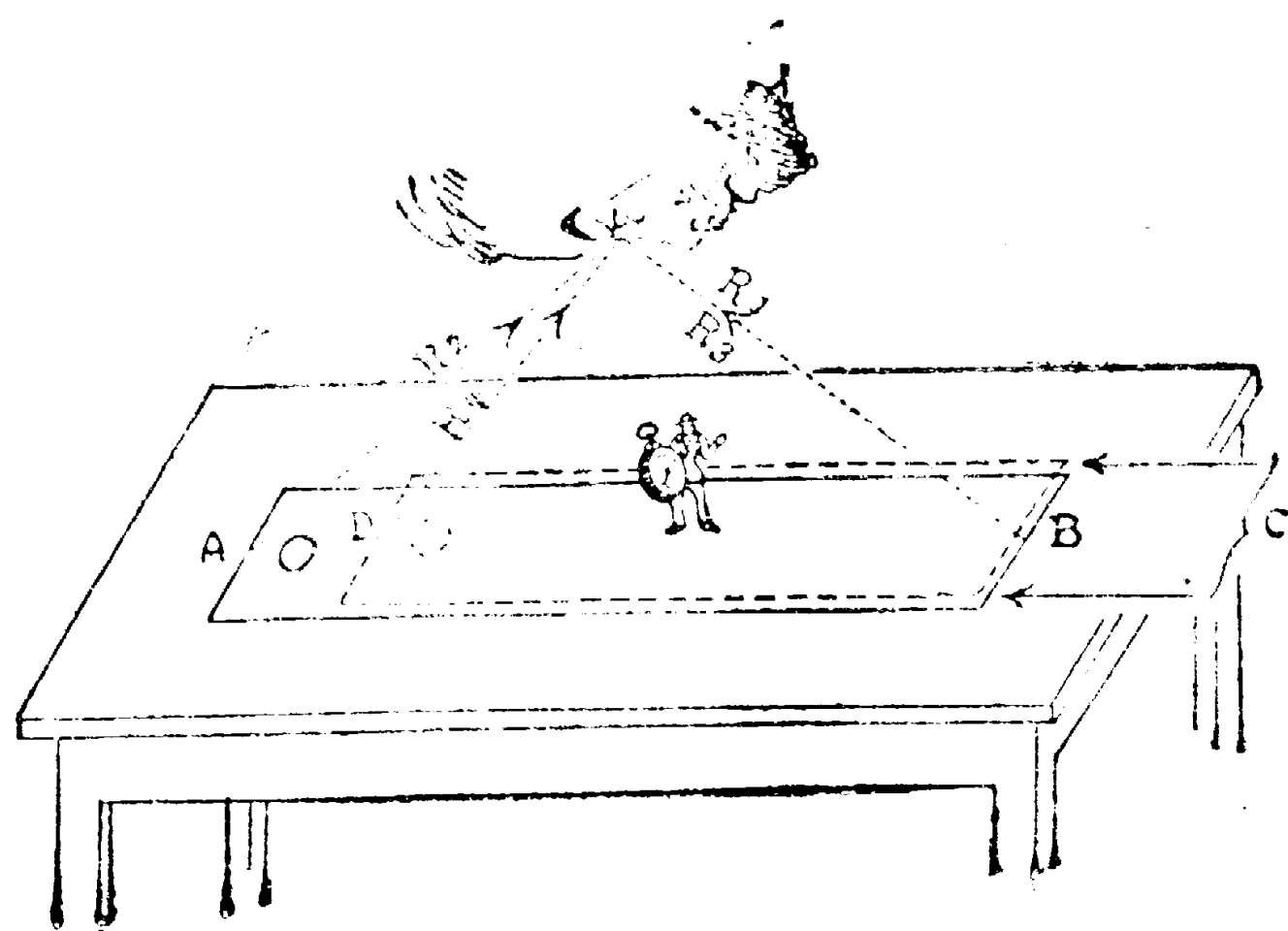
實際上，吾們兩眼所見物體的長，假如拿一枝尺來講，那尺的兩端，發相等之光，把長短的定限，印到吾們的眼中，（就是物體所發的光，達於眼中的網膜，即構成那物體的影象。）吾們便知這枝尺的長。

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 、 \dots 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_1 和

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_1 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_1 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 $\infty + \infty = \infty$ 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，就比運動的尺短。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，到將行呼吸的一刹那中，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，與自覺壽數是很短。這種說法，決非無根之談，用來譬喻前述的幻覺，是很確當的。

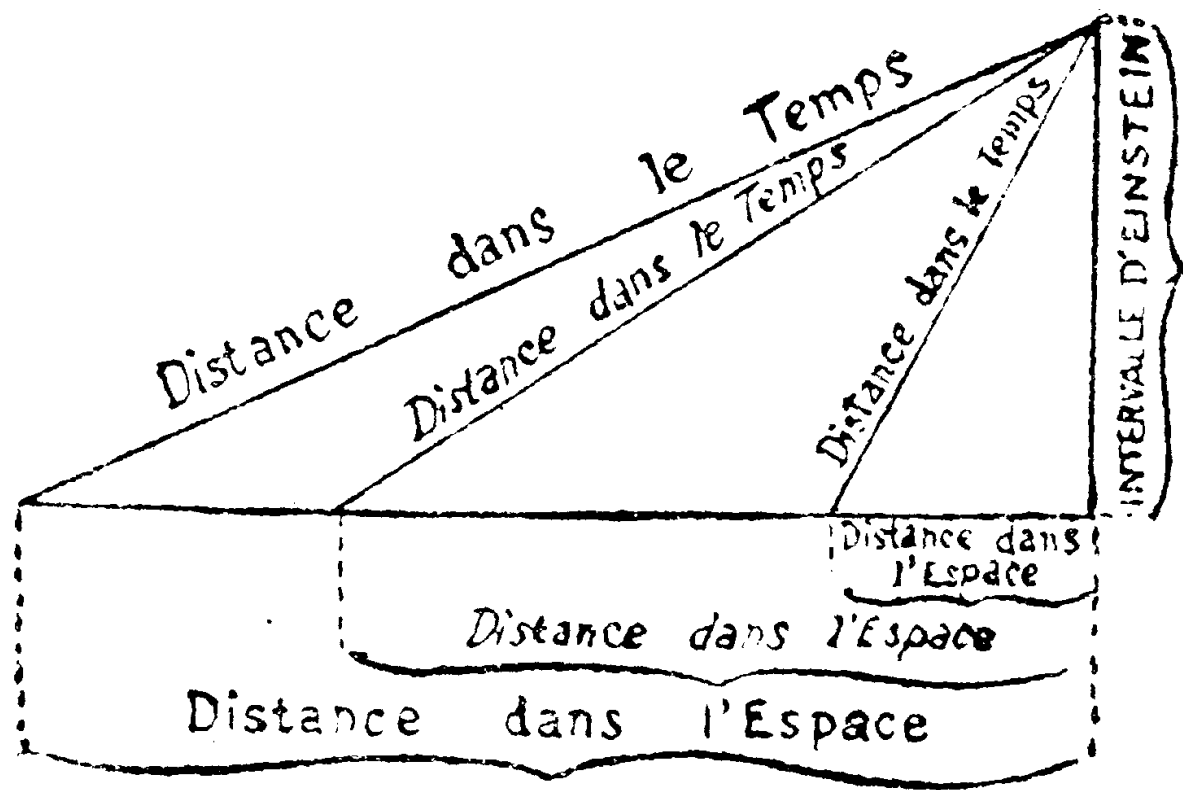
再借活動影戲來譬喻，那一張一張的影片原是靜的，等到許多影片接着運動，便顯出活動的光景。這也是從具有空間和時間感覺的影片接連移動，把時空融合的四元的感覺，傳到吾們眼中的。這種道理，在本書第十三節中，也說過了。

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,就是一秒鐘三十萬浬);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。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，一秒鐘竟達十萬呎，（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，卻不增加到四十萬呎，祇有加到三十萬呎為止。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呎的火車中，放射一秒鐘二十萬呎的陰極線。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。

安斯却依據這種新學說，改革力學上和光學上的法則，遂成宇宙現象研究界的核心人物。

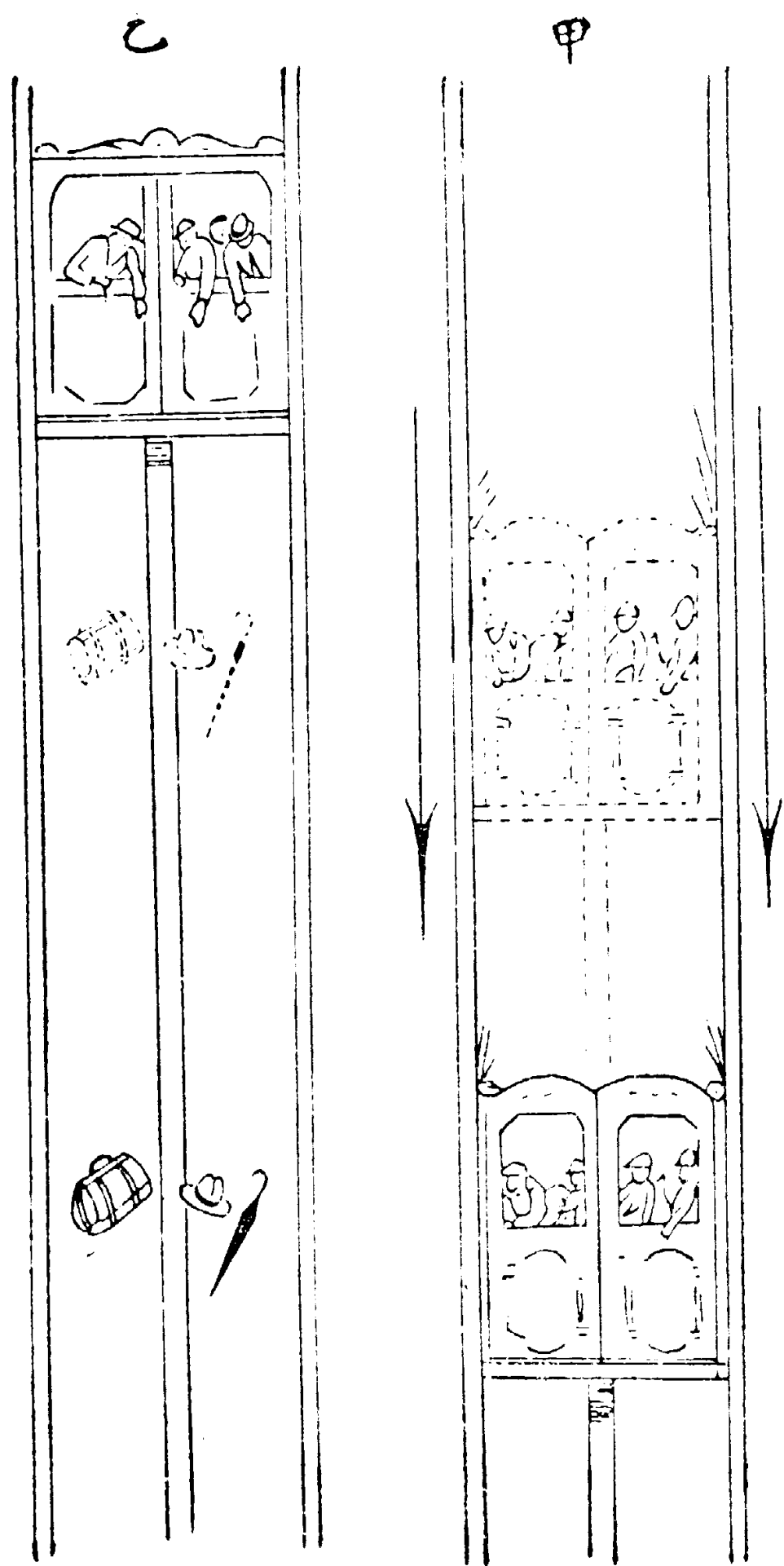
從兩個近似的物體，發出光線，那速度集合之時，雖生某種變化，但和平常的光，沒有特異之處，所以觀測者的眼，不能感覺他。譬如登山的時候，隨一步一步的上升，而望得見的地面，也漸漸增遠。但是眼界雖順次增廣，那山麓的花草蟲鳥等物，卻漸難辨認了……借這種現象，喻上述之理，是很確當的。

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）來索引。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，以致一種現象，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索引力，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。按物理學上稱磁場、安斯坦則稱重力的空間、及「重力的質量」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「厘」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，並不見他再望底下去。

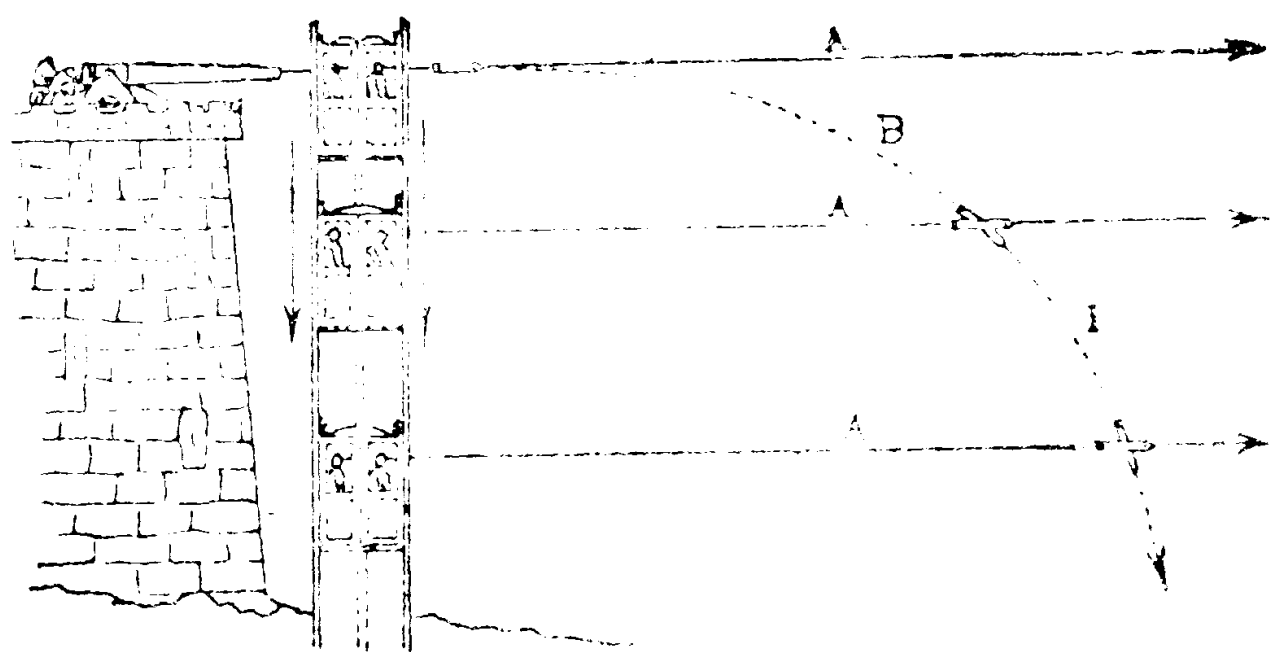
要使這種事實，容易解釋，也可舉例來說明。譬如：我們在美國紐約的摩天樓，坐了升降機，以一秒鐘九百八十一「厘」的速度（即和地球重力的速度一般）而上昇。那時因落了錢袋，急相搶

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……示礮彈射出的線路，和光線進行的路。但此時是當礮彈沒有重量的。B……示礮彈受重力影響而落下的線路(即彈道)同時更示昇降機隨之落下的狀態。昇降機當礮彈方發的時候，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，似乎礮彈是無重量的。

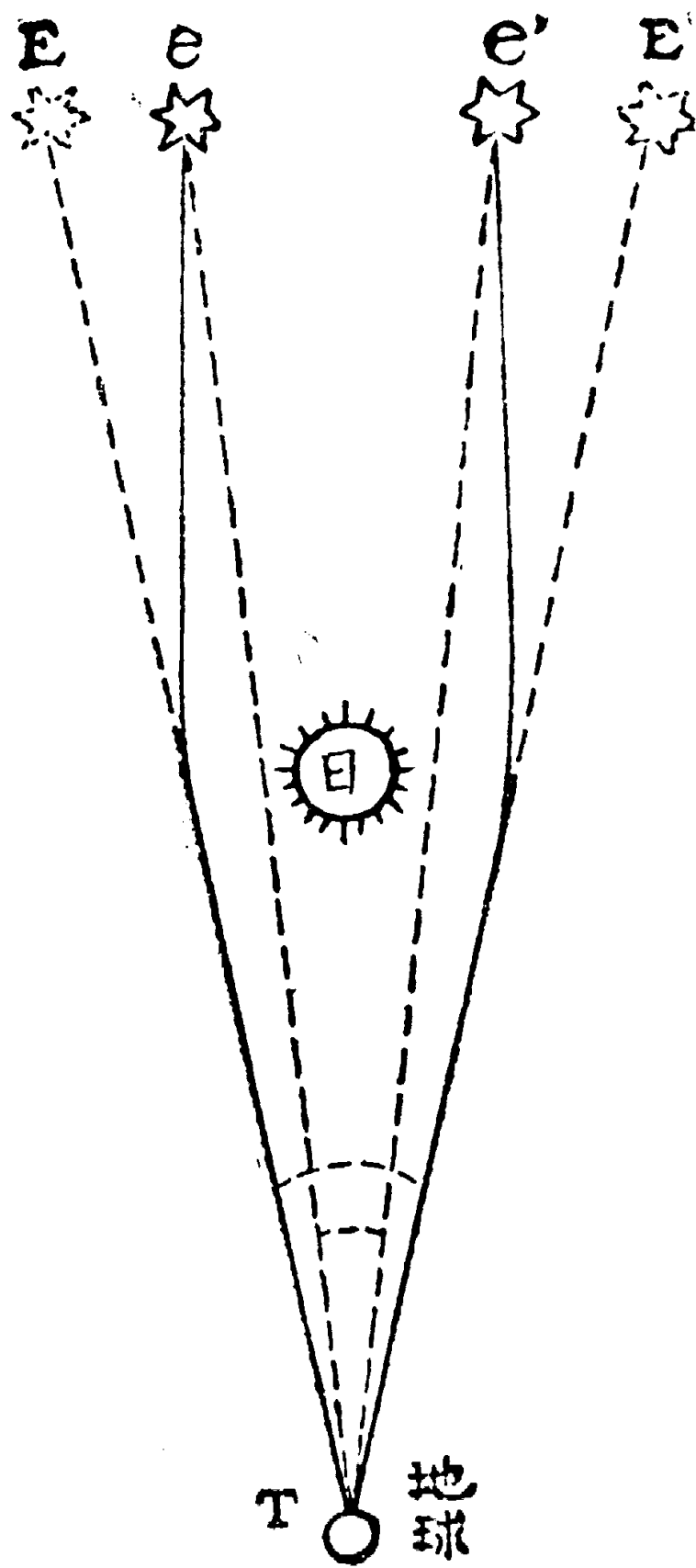
據學理來臆測，確是可用實驗證明的。

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，和前例一般)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) \odot 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，牽成曲線。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，與其質量成正比例，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

* * * * *

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……

中華民國三十一年八月三版
中華民國三十六年三月第三版

(53243.1)

百叢書 通俗相對論大意一冊

Theory of Relativity for

General Readers

定價國幣壹元伍角

印刷地點外另加運費

原著者 A. Einstein

譯述者 費 祥

主編者 王 雲 五

發行者兼 商務印書館

發行所 商務印書館
各地

* 版 翻 *
* 所 印 *
* 有 必 *
* 究 *

