

關於相對論的幾點意見^{*}

L. 英費爾德

(波蘭科學院院士)

“人對空間和時間的概念是相對的，但從這些相對的概念中構成着絕對真理，這些相對的概念發展着，走向絕對的真理，接近絕對的真理。”

——列寧

一 相對論在科學中的作用

對於相對論在近代物理學中所起的作用的問題，也許每一個物理學家都會作出同樣的答覆。每個物理學家都會這樣說：“相對論是這樣一個科學部門，沒有它就不能設想今天的物理學；對於羅倫茨變換物理定律的不變性是引導發現這些定律的最重要的和主導的思想之一；量子力學的思潮和相對論的思潮結合成為近代物理學的一支強大的潮流；相對論比古典理論能更好地反映我們的現實；有大量的和越來越多的試驗事實証實了相對論，而這主要是有關狹義相對論；沒有任何一個試驗事實是和這個理論相抵觸的；沒有一個物理學家會再懷疑相對論的重要性了。”

至於哲學家呢？如果他通曉物理學，他也會說同樣的話的。只有那些不了解物理學的人才會說相對論和辯證唯物主義之間有矛盾。然而這個矛盾是不可能存在的，因為相對論比古典理論能更好地說明現實；並且當相對論的結論不同於古典理論的結論時，實驗總是說明相對論是正確的。既然相對論和實驗是符合的，並且是唯一能解釋這麼廣範圍的現象的理論，所以相對論就不可能和辯證唯物主義發生矛盾。

當然，可以以不同的方法去解釋相對論的基本概念——或是以唯心主義方法或是以唯物主義方法。但是這種情況在古典力學中也是一樣的。古典力學的基本概念的解釋也可以是唯心主義的或是唯物主義的。

在這篇文章中我想證明唯心主義的和唯物主義的解釋的區別在相對論中以及在古典力學中都存在；只是和這種情況有關的困難在相對論中是比較多的，這主要是因為古典力學形成到現在已經過了三百五十多年而狹義相對論存在却不過五十年左右。

二 古典力學——相對和絕對的概念

在古典力學中應當把相對的和絕對的概念區分開來。先從系統的概念談起。無論是和地球相聯系或是與太陽相聯系的系統都是我們在描述自然現象時所在的系統。力學定律是屬於所謂慣性系統的。什麼是慣性系統呢？它就是慣性定律起主要作用的一種系

* 本文是作者來我國訪問時，於1955年10月7日向北京科學工作者所作的演講。

統，一般地說，也就是力學定律起主要作用的系統。實際上，什麼地方存在這樣的慣性系統呢？對於這個問題，我們是無法回答的。

實際上在嚴格的慣性意義上說來，這種系統是沒有的。對於某些現象說來我們可以同意與地球相聯系的系統是慣性系統。對於另外一些更精確的現象說來，地球在其中旋轉的太陽的系統是慣性系統。對於某些現象（例如當我們說到整個太陽系統的轉動時）我們不得不把慣性系統和恆星聯系起來。

但是在目前我們暫時不提這個困難。我們這樣來討論問題，好像在自然界中存在着理想的慣性系統一般。大家知道，如果我們有一個這樣的系統，那末，我們就會有無數個這樣的系統。在一個慣性系統中具有重要意義的自然規律在每個和這個系統等速運動着的別的系統裏也具有同等重要的意義。這個情況同下列事實一樣是顯而易見的：在地球上起作用的自然規律，在理想地等速運動的火車上也同樣準確地起作用。因此，如果談到力學定律，則不需要特別指出某個慣性系統，因為這些定律對所有的慣性系統同樣有效。因此力學定律就帶有絕對性，因為它們不取決於系統的選擇（當這些系統是慣性系統時）。

相對的概念是什麼呢？首先來看點坐標。我們設想有一個很小的物體（即質點），它在現有的那個系統中運動着。這時這個點的坐標將是與系統有關的時間函數。對與地球相聯系的系統來說是一種函數，對運動着的火車的系統說是另外一種函數。當然，如果我們知道一個慣性系統中的坐標和另外一個系統對於第一個系統以什麼樣的速度運動，我們就立刻能知道在另外這一個慣性系統上的坐標。我們把這互相作等速運動的兩個慣性系統叫 0 和 $0'$ 。當我們知道質點在系統 0 上的坐標和系統 $0'$ 對於系統 0 的速度時，我們就能算出在系統 $0'$ 上的坐標。這些坐標在 0 和 $0'$ 上都不同。因此點的坐標就是相對的量。我們運用所謂伽里略變換方法，即用最普通的代數規則，根據已知的 0 上的坐標和 $0'$ 對 0 的速度，就可以求出在系統 $0'$ 上的坐標。

速度是另外一種相對量。事實上質點對系統 0 的速度是不同於質點對系統 $0'$ 的速度的。假如我們在火車上按火車運動的方向運動，那末我們對地球的速度就等於我們對火車的速度及火車對地球的速度之和。因此，速度同樣也是相對的概念，因為它決定於系統的選擇。

其中時間是絕對的概念。依據古典力學，時間對所有的系統來說都是同樣地渡過的。質量也是絕對量。同樣剛尺的長度也是絕對量，因為標尺的長度在不同的系統中始終是一樣的。最後，加速度也是絕對量，因為它不取決於慣性系統的選擇。

綜合起來，我們可以說，在古典力學中力學定律、時間、剛尺的長度、加速度和質量都是絕對的概念。點坐標和速度是相對概念。

我們說絕對量對伽里略變換是不變性的。的確，對座標來說，從一個系統向另一系統的轉換是要通過伽里略變換才得到的。絕對量在這種變換中不受影響並且是不變的。首先力學定律在伽里略變換中是不變的，正如上面所說過的，這種不變性表明了每個系統中規律都一樣。

從唯物主義的觀點看來相對量和絕對量一樣，都反映了某種現實的客觀地在我們物質世界中存在的東西。相對量和絕對量同樣是客觀的。

三 狭义相对論——相对和绝对的概念

在狭义相对論中，像在古典力学中一样，我們也把相对的和绝对的概念区分開來，但是這裏这两种概念的区分是与古典物理学中的情况不相同的。

首先談一談慣性系統概念。在古典力学中我們所認為的慣性系統也就是在相对論中的慣性系統，在这个系統中慣性原理是滿足的。嚴格地說这种系統是不存在的，不論在古典的情况下或者在狭义相对論的情况下我們都只能滿意於近似的慣性系統。而且不論在哪种情况下相对性原理（这就叫做伽里略相对性原理）都是起作用的。在系統 O 中起作用的物理定律在每一个對於 O 作等速運動的系統 O' 中也起作用。物理定律（已不僅是力学定律）具有绝对意义，因为它们們在每一个慣性系統中起作用。

究竟什麼是最重要的相对數量呢？我們隨便举某种現象，例如光的閃耀或者是古代羅馬皇帝凱撒的死亡。在一定的系統中每一个現象都有自己確定在什麼地方的空間坐标和在什麼時間開始的時間坐标。按照狭义相对論，不論是時間的坐标或者是空間的坐标都是相对的數量。因而，不僅僅在回答問題何處，而且在回答問題何時某种現象開始發生的情况下，我們都应当指出与何時何地相關的系統。所以時間在這裏已不是绝对的概念，如同它在古典力学中那樣。在運動着的火車中，某种現象的時間和地上的不同。這區別對於我們的火車或是對於最快速的飛機來說是不重要的，但是如果火車運動的速度接近光的速度時，這種區別就可以觀察出來了。

不僅時間是相对的概念，同時性的概念同样是相对的。在古典力学中兩個同時的現象在所有系統中都是同時的現象。但是，按照相对論，在地面上兩個同時的現象在火車中就不是同時的現象了。如果火車的運動接近於光速這種區別是明顯的。

因而位置和時間是相对的概念，就是不同系統中是不同的。已知在一个系統 O 中的這些數值時，如果知道了另一系統 O' 對於 O 的速度，我們便可以知道它們在 O' 中的數值。利用所謂羅倫茨變換我們能夠求得這些數值。羅倫茨變換所起的作用，正如同伽里略變換在古典力学中所起的作用一樣。在羅倫茨變換中物理定律具有不變性，正如在伽里略變換中力学定律具有不變性一樣。

當然這並不是說古典力学是錯誤的，而僅僅是說它描述實際情況不如狭义相对論那樣好。只是在物體運動的速度慢時古典力学才是正確的。當物體速度接近於光速時，古典力学便不起作用了。當系統運動慢的時候，羅倫茨變換就變為伽里略變換，而相对論力学就變為古典力学。

因之，在狭义相对論中相对量和绝对量的区分与在古典力学中的区分是完全不同的。在古典力学裏時間是绝对量，而在相对論中時間則成為相对量。同時，古典力学中的一个重要的相对量在特殊相对論中變成了绝对量，这个量便是光速。在古典力学中光速像每一个速度一样是相对量，但實驗告訴我們這是绝对的量，不論光源運動的速度均勻与否，光的速度總是一样的。光速由相对量的範圍轉入绝对量的範圍，引起了其餘的量的區分的改变，並且還使得時間變為相对量。

实际上在狭义相对論中我們有三个基本的绝对概念。

1. 在羅倫茨變換中具有不變性的物理定律的概念；

2. 光速的概念；

3. 空間時間間隔的概念（這一點我們將不進一步解釋）。

所有其餘的概念是相對的。因而，坐標、空間和時間的概念是相對的。小於光速的速度的概念是相對的。剛尺長度的概念和質量的概念是相對的。但在原則上仍保持着把概念分成相對的概念和絕對的概念這種思想。在狹義相對論中與在古典力學中一樣，相對的概念和絕對的概念一樣都客觀地反映存在的事實。

哲學家們很不熟悉這種新的概念的區分。我們以剛尺的長度做為例子，剛尺的長度是相對的概念，也就是這個剛尺的長度依賴於它的速度，或者換句話說，剛尺的長度依賴於它靜止在其中的系統的速度。剛尺在運動的方向縮短。可以提出一個問題，這種縮短是否是真實的？這個問題的回答和在古典力學中如下問題的回答是相類似的：運動着的點的坐標也像靜止點的坐標一樣真實嗎？當然，剛尺的長度像每一個相對量一樣，它反映着真實。剛尺的描述要求確定這剛尺靜止在其中的系統。剛尺靜止在一個慣性系統中，而在別的慣性系統中運動着。它的長度以及質量都是相對量。

大約在十多年前，在“美國物理學雜誌”（American Journal of Physics）上定格爾和愛因斯坦之間曾發生過關於真正地縮短了沒有的爭論。後來，這種爭論越來越尖銳了。他們曾請我對這個問題發表些意見。這裏就從我的論文中引証一段話，在結尾處諷刺了力圖不談哲學和它的社會應用的那些美國物理學家。

“在這些意見的分歧中，我看到（正確地或不正確地）二種不同的哲學觀點的標本，這二種不同的哲學觀點稱為現實主義和唯心主義。我同意愛因斯坦，並認為這個縮短是真的，但不知道怎樣能用邏輯的論証使誰信服。我怕在論証中我不得不起來反對唯心主義哲學，並且必須要指出唯心主義作出的社會結論是荒謬的。但是，如果物理學家同別的物理學家談論到技術問題時會想起社會結論的話，那末，最好還是不作聲。”（美國物理學雜誌第2卷，第223頁，1943）

四 廣義相對論——相對和絕對的概念

從牛頓的時代以來，廣義相對論第一次用新的創造性的方法解決了萬有引力問題。廣義相對論給出引力場的十個分量的十個方程式。引力場的這些方程式是不取決於所選擇的系統的。廣義相對論允許有完全任意的系統。這樣廣義相對論就從慣性系統的概念中解脫出來，嚴格地說，自然界中任何的系統都和慣性系統不相符合。每一個系統同樣都能適用。物理定律對於任何空間時間的變換都是不變的。現在，即在引力場中，甚至光的速度也不是一個絕對量，只有物理定律和空間時間元素才是絕對的。所有其它的概念都是相對的。

從相對論的純粹數學形式中得出：在用數學來描述運動時任何系統都是同樣可用的。當然，企圖把任何辱沒偉大哥哥白尼的東西和這些事實聯繫起來是荒謬的和不值得一駁的。在哥哥白尼死後的410年中已經有很多事情改變了。他的某些思想已不再是正確的了，然而這絲毫也不會減少他的偉大。如果說的是廣義相對論，那末物理上的考慮仍認為哥哥白尼系統是有效的。

對於這個結論我們要說得比較詳細一些。要知道，我們不希望理論脫離實際、脫離

生活。哥白尼系統和托勒密系統在物理學上是否能具有同樣的意義呢？這就是說，在實踐中，在解決具體物理問題和應用廣義相對論時，我們是否能認為這兩個系統的意義是同樣的呢？

那麼請問：在具體情況下，例如在預言水星近日點的進動（這一運動的闡明是科學上最大的勝利之一）的時候相對論怎麼做呢？大家都知道，在水星——離太陽最近的行星——的情況下，與牛頓運動的不符是最明顯的。事實上，廣義相對論斷定：水星正如牛頓力學所設想的那樣是按橢圓運動着的，而同時這個橢圓不依着水星運動的方向很緩慢地轉動，幾乎在一百年的時間內才轉動42秒。在提出典型的問題以後，我們就得出了典型的回答。問題是：在水星的情況下會產生哪一種超出牛頓理論範圍的新的、相對論的效應呢？為了要回答這一問題，我們必須應用在牛頓理論中的那一系統，因為只有在這種情況下把相對論和牛頓理論作比較才有意義。這就是說我們應當利用的系統是這樣的：太陽靜止地處於這個系統之中，並且這個系統在遠離太陽的地方與慣性系統一致。只要系統具有這兩個特點——即太陽靜止地處於這系統中，以及此系統在遠離太陽處是慣性的，這個系統對於我們的討論就是有用處的。在每一個這樣的系統中我們都可以作出關於水星近日點進動的廣義相對論的推論。既然這兩個條件滿足了，隨之這個系統也就可以任意地選擇了。

事實上，近日點的進動在於需要多少次正常的牛頓旋轉近日點才旋轉一次。當系統符合於上述兩個條件——的時候太陽是靜止的，在無窮遠處是慣性的——的時候，這樣的推論完全和所選擇的系統無關。

我們設想在離太陽很遠的地方觀察者用一個剛尺指向太陽，用另一個剛尺指向水星，而且這時候兩個剛尺間的角度是最小的。從原則上說，這在慣性系統中（即在遠離太陽的地方）是可以實現的，因為在那兒剛尺和角度等都可以在已知的歐幾里德概念中表現出來。那時指向水星的剛尺就會在太陽週圍描畫出一個橢圓，而太陽是在橢圓的焦點上並且是靜止的。但在週轉一次以後近日點的位置（即標尺的位置，在這位置上二標尺間的角度是最小的）將稍有移動。經過多次週轉後會重新達到那位假想觀察者在開始時所指的近日點的最初位置。這樣就可以提出問題：在水星轉多少次以後近日點才週轉一次呢？這樣提出的問題和坐標系問題沒有任何共同之點，它規定了太陽是處於靜止狀態中，而我們的系統在無窮遠處是慣性的，因為只有在這樣的系統中，具有歐幾里德幾何學的特性的剛尺和角度才存在（實際上地球就是這種系統）。

因而我們看到，在數學的觀點上，系統事實上具有着任意性；然而在物理學的觀點上，任意性是不存在的。在牽涉到太陽場時，各個系統在無窮遠處應該是慣性的，太陽應靜止地處於這系統中。對於太陽場中星光的彎曲和太陽引力場中光譜線頻率的变化也是一樣。在所有這些情況下我們都應用這種系統（太陽靜止地處於這一系統中，這系統在無窮遠處是慣性的）。強調認為各種系統具有同樣意義，這是唯心主義的，因為它和我們應用相對論所得的經驗相矛盾。這樣從物理學的觀點，從應用相對論的觀點看來，太陽中心系統和托勒密系統一般說來是不会有同樣意義的。

五 哲學與相對論

人們常常指責愛因斯坦是唯心主義者和實證主義者。由此他們就得出一個結論，認為必須拋棄相對論。我們再一次地指出，——這是我們早已說過的，——相對論和實踐是一致的，而且它本身就應當是和辯證唯物主義相一致的。

恩格斯和列寧教導我們，要把科學家的哲學觀點和他們在自己的專門領域中所獲得的成就分開。列寧常寫道：不論他們的哲學觀點怎樣，偉大的物理學家在他們的具體科學工作中總是唯物主義者。這句話對愛因斯坦是很適合的。現在，我來引證一段愛因斯坦所寫的反對馬赫的關於物理學的話來作一個例子。

“唯現象主義物理學的特徵就是應用接近於親身體驗的概念，所以唯現象主義物理學必須放棄本身基礎的統一性。熱、電和光都是藉助於特殊的狀態變數和介質的常數描繪出來的，……把所有這些變量描述為隨時間而相互依存的變量，這只是依靠經驗才解決的問題。許多麥克斯韋同時代的人把這種觀念認為是物理學的最終目的。由於概念和親身體驗有比較密切的關係，所以他們認為，這些概念是從感覺中歸納而產生出來的。從認識論的觀點來看，密爾與馬赫是代表這種觀點的。

“依我的看法，牛頓力學最大的成就在於：如果合乎邏輯地應用它，就可以克服在熱學現象上的唯現象主義的觀點。這要歸功於氣體動力學和統計力學。……藉此，以前的更傾向於唯現象主義的物理學（或者說，至少物理學中的一部分）就在原子和分子方面被引向與人的感覺無關的同一的基礎。”（“物理學與實際”，1939）。

在另一個地方，當談到量子論時，愛因斯坦曾反對貝克萊的唯心主義。他說：“我不喜歡這些討論量子的理論家，因為，他們認為量子論給出基本現象的全部描寫，這是實證主義者的觀點，依我看來是不能接受的，其實，這種觀點就是貝克萊的原則。”（“今日物理”，1950）。

愛因斯坦不是唯物主義者。我們在西方學者中間找不到很多的自覺的辯證唯物主義者。在此我深感辯證唯物主義的重要，因為，我親眼看到，這種哲學是同社會主義制度和社會進步相聯系的。

但是應該記住，不論那一個物理學家沒有相對論是不能夠想像近代的科學的，因為他知道並且懂得，這種理論不可估量地充實了我們的關於物質世界的知識。