

蘇聯大百科全書選譯

時 間

人 民 出 版 社



А. А. Михайлов

ВРЕМЯ

Государственное научное издательство
«Большая Советская Энциклопедия»

譯自 [蘇聯大百科全書] 第二版 第九卷
[蘇聯大百科全書] 國家科學出版局出版

時 間

(蘇) 米哈伊洛夫著

何仙槎譯

*

人民出版社出版 (北京東總布胡同十號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第001號

北京新華印刷廠印刷 新華書店發行

*

書號: 1739 · 787×109 1/32 · $\frac{1}{5}$ 印張 · 10,000字

一九五五年二月第一版

一九五五年二月北京第一次印刷

印數: 1—12,000 定價: 700元

時間

時間（和空間一樣）是物質存在底基本形式之一。對於時間的唯物主義的理解是在反對唯心主義哲學的鬥爭中形成起來的並戰勝了的。在全部哲學史中，唯心主義哲學企圖以這種或那種方式來否認時間底客觀真實性和散播一種反科學的觀念，認為彷彿時間是人類意識底產物。屬於這種反科學的觀點的，就是那些企圖認為時間底存在依賴於「個人意識」（貝克萊、休謨、康德、馬赫），依賴於「超宇宙觀念底發展」（黑格爾），依賴於許多人底「社會地一致的經驗」（波格唐諾夫），依賴於直覺和神祕的「創造性的破裂」（柏格森）等說法。自然科學無可辯駁地證明，自然界在時間中的存在還是在那個時候，當時還沒有任何生物出現，因而就沒有任何感覺，沒有任何意識，也沒有任何人們底經驗。這就無疑義地駁倒了旨在否認時間底真實性的唯心主義的捏造。列寧曾指出，自然界存在於時間中為數有幾百萬年，遠在人類和人類經驗出現以前，並證明唯心主義關於時間與空間的學說是毫無根據的，否定時間與空間底客觀真實性的哲學是荒謬的，內部是腐爛的，虛妄的（列寧：「唯物論與經驗批判論」，參閱人民出版社一九五三年版，第二〇六頁，第二二三頁）。

哲學的唯物主義科學地解決了關於時間的問題，這是與正確地解決哲學中各基本問題，如關於認為外在世界、自然、物質是第一性的，而意識、思維是第二性的、派生的，以及關

於認為感覺是不依賴感官而客觀存在着的物質底形像、複寫等方面的問題，是不可分割地聯系着的。對於時間的唯物主義的理解（如同對於空間一樣）是哲學唯物主義底基石之一。

辯證唯物主義認為「離開時間的存在和離開空間的存在，是同樣的大荒唐」（恩格斯：「反杜林論」，參閱三聯書店一九五一年版，第五五頁）。時間（和空間一樣）不能離開物質，沒有物質則時間便成爲一無所有，便只是一種在人們頭腦中存在的空洞的抽象物而已（恩格斯：「自然辯證法」，參閱三聯書店一九五〇年版，第二六六頁）。「世界上除了運動着的物質以外沒有別的東西，而運動着的物質除了在空間與時間之內就不能運動」（列寧：「唯物論與經驗批判論」，人民出版社一九五三年版，第二〇三頁）。物質底變化、運動、發展底任何過程永遠是在時間中，是通過時間而進行的，但是，時間和物質底任何具體變化不同，因此，所以時間可以用物質底變化來測量（恩格斯：「反杜林論」，參閱三聯書店一九五一年版，第五五頁），例如應用地球的自轉來測量。

「時間」底概念反映客觀存在着的真實的時間。「關於空間與時間的人的表象是相對的，可是從這些相對的表象中構成着絕對的真理，這些相對的表象在自己的發展中走向絕對的真理，接近絕對的真理」（列寧：「唯物論與經驗批判論」，人民出版社一九五三年版，第二〇三頁）。德國黑格爾派自然科學研究者認為我們似乎不認識什麼是時間、空間、運動、物質，恩格斯在反駁這種學說時曾說：「這又是一個陳腐的故事。首先人由可感覺的事物造成抽象物，然後想憑感覺去認識這些抽象物，想看見時間，聞見空間。經驗論者深深沉浸在經驗之經驗的習慣中，所以，當他是在運用抽象物時，他還以爲他是在感性知識的範圍內」（恩格斯：

「自然辯證法」，參閱三聯書店一九五〇年版，第二六六頁）。辯證唯物主義絕對地反對那種斷定時間與空間底不可知性的不可知論的說法。時間與空間底感覺能够給予人們以生物學方面的適當的理解，這一事實就證明在人們底意識中對於人們以外所存在着的真實時間有了客觀上正確的反映（列寧：「唯物論與經驗批判論」，參閱人民出版社一九五三年版，第二〇六頁）。

時間是無窮盡的，它既沒有開端，也沒有終結，恰恰就如同運動着的物質是無窮盡的一樣。我們可以譬喻地說，時間是一條向兩個方向延伸的無窮盡的綫，或是在兩端都無窮盡的單位底系列（恩格斯：「反杜林論」，參閱三聯書店一九五一年版，第五二頁）。物質底無窮盡性就是一種辯證式的矛盾。「正因為無窮盡性是一種矛盾，所以它是在時間上和空間上無止境地向前發展着的無窮盡的過程」（參閱同上書，第五四頁）。物質、運動、時間和空間是彼此不可分割的。沒有不運動的物質，同樣的也沒有無物質的運動；在運動中表現出時間和空間底連續性與不連續性底統一，這是由運動着的物質本身底不連續性與連續性所決定的。「運動是時間與空間的本質。下面兩個基本概念表現着這一本質：（無窮盡的）連續性和『準確性』（連續性的否定，即不連續性）。運動是連續性（時間與空間的）與不連續性（時間與空間的）的統一。運動是矛盾，是矛盾的統一」（列寧：「哲學筆記」，一九四七年俄文版，第二四一頁）。形而上學的思維就陷入了這種運動底、空間底和時間底矛盾性質的絕境。

近代物理學證實了辯證唯物主義關於時間與空間的學說。牛頓物理學中關於時間的形而上學的概念，認為時間是一種獨立的、不依運動着的物質為轉移的客體，認為是和物質的物

體與過程底延續性有所不同的，這種概念是毫無根據的，它必然會得到和實際經驗相反的結果。現代科學指明了，物體內部過程底延續性依其運動底速度爲轉移。當物體速度發生變化時，它底空間的大小和它內部完成的過程的時間也都要發生變化。時間與空間底間斷也由物質底分佈來決定。

時間底特點在於它在時間進程中的「不逆轉性」，即是由過去到將來只向一個方向延伸的不逆轉性。因此，時間只有一個測量方法，而和空間之有三個測量方法不同。由於這種不逆轉性，所以在時間上過去的事件沒有重新形成的可能，這是和在空間中物體具有可以重新形成的可能性也不同（在具有重新形成的真實條件下）。

天文學中的時間是憑藉着某種以相等的延續時間不斷重複多次的周期性過程來測量的。爲了測量時間，一般都是利用周期性的天文現象，即利用地球的自轉，地球繞太陽的運行，並且在某些曆法制度中也有利用月球繞地球的運轉的，在這些天文現象中，最重要的是地球底自轉；地球底自轉產生了第一個測量時間的自然單位——一日，而地球繞太陽的運行按其重要性說是第二個測量單位——一年。至於計算一日底一部分時間（小時、分、秒）則利用在時間上十分穩定的、人工造成的或引起的周期性過程；其中最重要的是擺鐘中在引力底動作下擺錘底擺動，或是在計時錶中或懷錶中所用的在彈簧底動作下平衡輪底擺動，在石英鐘中石英晶體由交流電荷所引起的振動，最近也應用了氨分子底振動來測量時間。最後這兩種振動具有高度的周期穩定性，它們開始應用來控制一晝夜的時間，因爲一晝夜的時間中很小

的、極慢的和突然的變化的存在，是用天文觀測來確定的。

使用在實際生活上以及科學與技術底目的上的時間測量制度可利用平太陽日作為自然單位，平太陽日有充分的穩定性並且符合於一日底劃分為晝和夜。氣象學中測量時間的基本單位——CGS制度*——是平太陽時底一秒，平太陽時一秒等於平太陽日底八萬六千四百百分之一。平太陽日底精確時間只是根據對於與它近似的其他單位——恒星日——底關係才能確定的。恒星日等於地球自轉一周的整個時間，也即是沒有顯著自行的某一顆恒星底兩次連接上中天之間的時間間隔。但是，就技術上設想，天文學中所採用的恒星時間不是由地球的旋轉對恒星的關係來決定，而是由地球的旋轉對春分點的關係來決定的。因為歲差的緣故春分點對恒星而言是很慢地在移動着，並且由於章動而發生擺動。恒星日是由春分點上中天時開始計算的，此時即為零時零零秒。假定春分點底位置不受章動底影響，則這樣的恒星時稱為平恒星時。地球自轉一周的時間對恒星而言等於平恒星時二十四小時零萬分之八十四秒。這就是說，由於歲差現象底影響，每二十四小時多了萬分之八十四秒。這樣所測量的恒星時在任何時候都是等於春分點底時角。

為了一般的目的，使用恒星時並不便利，因為它不符合太陽底視動，也不符合由太陽視動所引起的一日晝夜自然區分。由於在一年內移動底結果，恒星日可在晝夜不同的時刻開始。所以為了實用目的，一般地是應用和太陽視動有關係的太陽時。真太陽時是從太陽上中

* CGS制度即厘米克秒制度 (Centimeter, Gram, Second System)。——譯者。

天時計算，即是真正的中午，它等於太陽中心的地心時角。但是，因為地球在軌道上運行速度不均勻和地球軸與真太陽日的軌道平面並不垂直，或是兩個連接的真正中午之間的時間間隔長短不等，所以各真太陽日長度底極端值的差數達五十秒鐘。根據這種原因，所以採用一種平太陽時，即是按照所謂平太陽測定出來的時間，平太陽是設想出來的計算點，它是順着天體赤道均勻地運行，它回到春分點的時間間隔和在黃道上作不均勻的運行的真太陽回到春分點的時間間隔相同。這樣，平太陽沿着天體赤道在一個回歸年內完成了整個一周。因此，平太陽日底長度就等於全年內真太陽日底平均長度。平日也再分為平均時間的小時、分 and 秒。平太陽上中天的時刻，即稱為平午。從此時刻起計算平太陽時，數值上等於平太陽的時角。平太陽底下中天的時刻則稱為平夜半，從此時起，按照平太陽的時角（即平時）加十二小時，計算所謂民用時。自夜半起更變日期，即改換曆法中一月之日數。一九二五年一月一日以前，在天文學中是在平午更換日數，較民用時計算法遲十二小時，而在一日底範圍內則從中午起計算平均時間。自一九二五年以後，在天文學中改用民用時底計算法。平太陽時與真太陽時差數稱為時差，時差在一年之中可以自負十四分二十二秒變化到正十六分二十四秒。

恒星時與平（均）時的關係，可以換算如下。回歸年底長度為三六六點二四二二個恒星日，即是對於春分點而言，地球自轉的次數。在這個時間間隔內，地球在其沿軌道的運行方面完成了繞太陽一周。所以，對於太陽來說，在一個回歸年內，地球自轉的次數要少一個單位。因此，三六六點二四二二個恒星日就等於三六五點二四二二個平太陽日。這個等式可以用下列的關係表明：

二十四個恒星小時等於平太陽時二十三個小時五十六分四點〇九一秒，
二十四個平小時等於恒星時二十四個小時三分五六點五五五秒。

恒星小時的度數和民用時每年於九月二十二日相合一次（有時，其相合的時期年年略有移動），自此以後，則恒星時每日前行約四分鐘，一年期間將多出一日。大概地換算民用時爲恒星時的時候，爲了避免錯誤底積累，每月以三十日計及恒星小時每日以快四分鐘計，則我們可以得出下表所列的簡單計算法：

九月二十二日恒星時等於民用時，

十月二十二日恒星時等於民用時加兩小時，

十一月二十二日恒星時等於民用時加四小時。

以下如此類推，每月加兩小時或每日加四分鐘。如果爲了精密推算起見，可以用天文年曆。天文年曆中載明每日平夜半在格林威治子午綫上的準確恒星時。

地球上每一個子午經度不同的地方有它自己的地方時。在同一子午綫上的各地點，中午在同一自然時刻來到；因此，所有這些地點都有相同的時間（無論太陽時或恒星時都是一樣）。因爲地球底自轉是由西向東，凡位於某一定地點以東的各地點，則中午到來就較早，在那些地點的鐘點就較多，而在以西各地則鐘點較少。兩個地點底地方時（平時、民用時、或恒星時）底差數等於這兩個地點時間上所表現的地理經度底差數，即是由角度底度、分、秒換算爲時間底小時、分、秒；其換算辦法如下：

角度十五度等於一小時，

角度一度等於四分鐘，

角度一分等於四秒鐘，

角度一秒等於十五分之一秒鐘。

地球平行圈上相當於地方時一分鐘之差數的弧長，按緯度之不同而有別，可以用下表說明：

地球緯度	零度	三〇度	四〇度	五〇度	六〇度	七〇度	九〇度
一分鐘底弧長(公里)	二·八	二四·一	二二·三	一七·九	一四·〇	九五	零

按照國際協定，經過格林威治天文台（倫敦附近）的子午綫被公認為計算地理經度的起點。所以，格林威治民用時在天文手冊和天文年鑑中是基本的和大家公認的時間，因而稱為全世界時或世界時。

各不同地點有不同的民用時，這對於埠際交往和旅行是很不便利的事情，所以，以前就有些國家會採用一般地符合其首都或大城市底民用時的標準時。革命前俄國在鐵路上和電訊交通方面採用普耳科夫天文台底民用時而稱為彼得堡時。但是，對於居民來說，這種時間是很不方便的，因為它和東部各省底地方時差別太大（例如，當彼得堡按照民用時是中午的時候海參威就已經是晚間六時四十七分了）。因此，自一八八四年以來，許多國家就開始逐漸實行區時制，區時和世界時的差別按整個小時計算。在人口稀少的地區，時區底分界綫是嚴格地按照子午綫來定，自零度子午綫起分向東西兩方向計算為七點五度，二二點五度，三七點五度，五二點五度等等。在人口稠密的地區，計算時區底界綫時，則偏離上述的子午綫以適

合行政區劃或自然分界。結果，整個地球表面分爲二十四個時區，每一時區內有一個標準時，即該區等於經度十五度的整倍數的平均子午綫底民用時。時區由西向東繼續依次序號數計算，自零度子午綫（格林威治子午綫）的時區起一直到第二十三區。所以，某一時區界綫內的區時比世界時提前的小時數等於該區的號數。例如，莫斯科和列寧格勒是在第二區，所以此區底區時比世界時恰恰提前兩小時。在全蘇聯境內共有十一個時區，自第二時區到第十二時區。蘇聯底區時是由人民委員會議命令公佈自一九一九年七月一日起實行的。爲了更合理地利用太陽光和對於民用與生產需要方面更合理地分配電力起見，許多國家在夏季時間實行提前一小時或數小時的辦法。在蘇聯實行夏季時間不止一次。最後一次是在一九三〇年六月十六日將鐘點一律撥快一小時並自此以後不再撥轉回來。所以，現在在蘇聯全年都用更合理的夏季時間。此種時間稱爲法定時，它比區時提前一小時。第二時區底法定時稱爲莫斯科時間。

精確時間是由特別的天文觀測來確定的；在兩次觀測之間，精確時間是用時鐘來「保持」和用天文台廣播信號或其他方法來放送的。時間底廣播信號有兩種，即無線電廣播時號與特別時號兩種。廣播時號是由幾個秒點或短綫組成，於一定時間由電台放送，其精確程度可以達一秒底幾十分之一或幾百分之一。特別時號是由許多個點組成，一般地是用游標原則（游標時號或稱科學時號）。凡會參加所謂授時系統的天文台才使用此種特別時號，它根據自己的時間來校正它們，比較規定的標準時刻來確定時號底改正數。這種改正是由幾個天文台來確定的，然後集合起來並公佈作爲所謂改正數，其精確程度可以達一秒鐘底幾千分之一。這樣就能爲田野工作條件和航海船隻保證能够極精確地獲得世界時。此種精確的世界時和某一地

點用天文觀測所得的地方時相對照，則能够確定這一地點底地理經度。在大地測量學和製圖學中，以及爲了其他科學目的、科學技術目的，此種方法都得到廣泛的應用。

爲了計算長大的時間間隔，所採用的制度稱爲曆法，曆法是以年爲基本單位的。

在天體演化學中，計算時間則在於估計天體（如恒星、太陽、行星等）底形成過程已經進行或正在進行的時間間隔，或其構成中某種變化所需要的時間間隔。此種計算採用各種不同的方法，這些方法多半是根據恒星運動或太陽系諸行星底運動的力學定律。在最近時期也根據在恒星內部進行的過程的原子核物理學定律來計算時間。確定隕星底年齡，則採取地質學中所應用的對於放射性現象的計算方法。

物理學中計算時間的方法。物理學中計算時間的方法是根據我們所要研究的過程和那些

已熟知其速度或已熟知其循環週期的過程二者之間的比較。測定極大的時間間隔，如以幾百萬年和幾十億年計算的天體底年齡，在許多情況下，則是根據其由光譜測量而確定的化學成分（如氫與氮底相對含量）。這種方法是根據這樣一種假定，即認爲星體能量底主要來源是由於原子核底反應，反應結果是氫合成氮。星球底年齡越大，則在其構成中氮就越多，而氫就越多。因此，根據星球所含有的這兩種元素在數量上的比率，就能够推斷這個星球底年齡。

地球上礦物和礦層底年齡也是以幾百萬年和幾十億年來計算的。斷定岩層底地質年齡的方法，是根據分析測定礦層中所含放射性分裂物質底比較數量和根據對於多色性現象的研究。爲了計算和日常生活有密切關係的各日、各時、各秒次序上的兩個事件中間的時間間

隔，都是使用鐘表。鐘表是一種具有長時期歷史發展道路——自粗糙的古代儀器，如太陽時計、水時計、沙時計等等，一直到現代的具有高度精確性的擺鐘和石英鐘——的儀器。在現代應用擺的時計中，有一種溫度補償設備，且採用一種防磁的設施，而在最精確的樣式中，動作系統則是放在抽去空氣並設置着保持經常溫度的真空罩子下。爲了測量比十分之一秒至百分之一秒更短的時間，便需要應用其它的方法。爆炸反應的時間便是在百分之一秒至千分之一秒之間。電路中的暫時過程，例如將變壓器接入電路時或在電閃擊中傳導綫時，其過程只有幾千分之一秒的時間，因而只有具備着可以測量到百萬分之一秒的技能時，才可以去進行測量。在現代極其廣泛使用的雷達探測器裝備中，測定各種物體底距離是根據由這個物體反射回來的雷達信號底時間差別，這種反射回來的時間可達一秒鐘的幾千分之一或幾百萬分之一。瓦維洛夫及其學生們研究出來的發光底熄滅底時間長度，就有這樣的數量級。在測量具有週期性的短時間過程時，使用示波器特別便利。示波器是一種測量的儀器，在這儀器中電荷底變化可以在映光幕上引起射綫底運動，這樣就可以觀察到和拍照下來迅速變化的過程。在示波器上除了能够顯示出來我們所需要研究的現象以外，還能够顯示出來由高頻率特別發電機所發出的、具有高頻率的電波振動，作爲我們藉着示波器所需要研究的過程的時間校準，這種時間校準提供了一種「時間底標記」。

測量暫短時間的過程在實驗上是有着特別困難的，尤其是當這種現象的開始並不受實驗者所操縱時，即是偶然性的現象，如在電閃擊中傳導綫的時候所發生的現象。爲了解決這類性質的問題，斯特科勒尼科夫曾製造出一種脈衝的高壓示波器，這種示波器裝備有一種在現

象發生時隨時可以記錄的所謂「等待表」。在示波器管中的映光幕上所表現的射綫運動底速度，是可以看得見的，也可以拍照下來的，這種速度是和管中的電壓成正比例的。斯特科勒尼科夫底示波器可以測量出來的射綫速度的數量級達到每秒鐘幾十萬公里（斯特科勒尼科夫底工作榮獲了一九四八年度的斯大林獎金）。

最近時期，蘇聯本國又研究出來了新式的高壓示波器，因而大大地改進了測量短時過程的技術。

在研究物質構造和放射性蛻變過程時，也需要測量極短迫的時間間隔，尤其是當我們研究那種對於實驗的坐標系統以接近光速的速度運動着的質點（如有大量動能的介子）時，更必須顧計到測量時間的尺度是按照相對論原理而變化的。

爲了測定介子底壽命，應當在海平面和海拔二公里到三公里的地點測量介子底豎向強度，以及由於空氣吸收作用底結果所引起的變化，須在設備上安置一種有相當厚度具有吸收作用的物質，如鐵，以抵補之。那些剩餘的強度底差別可以用介子在上下兩個測量點之間的路途上所發生的衰變來說明。這樣就可以確定介子的壽命，與其能量 $\epsilon \parallel \gamma_0$ （ γ_0 代表介子的質量， γ_0 代表在真空中的光的速度的）的比率，設 $\gamma_0^2 = 10^3 \text{ MeV}$ ，得到介子底壽命如下：

$$\tau = (2.3 \pm 0.2) \cdot 10^{-9} \text{ sec}$$

爲了測定靜止中的介子底壽命，需要利用其分裂爲一個電子和一個中子的現象。以實驗方法分出和觀察出停滯在鉛質吸收器中的介子，而同時亦可看出由吸收器中因爲介子分裂而飛出的帶有電荷的質點，測量這兩個現象發生的時間間隔，則介子的壽命爲：

$$(2.15 \pm 0.07) \cdot 10^{-6} \text{ 秒}$$

在天然放射性的同位素中 ^{230}Th 底同位素有最短的半分裂時間：

$$(3 \pm 0.02) \cdot 10^{-7} \text{ 秒}$$

比較更短的時間是人工放射的同位素底同質異能素，例如：金 ^{197}Au 底放射性同質異能素，它的半分裂時間只有：

$$(7 \pm 1) \cdot 10^{-9} \text{ 秒}$$

測量這種時間間隔大部分都要藉着根據幾個時間上不同的符合事件而計算的公式（在這種情況下，就不是測量兩個事件的時間間隔而是在停滯測驗器中顯示相等時間的一些事件的數目），或是藉助於那種能夠測量在兩個連續發生的事件中間不規則地變化着的時間間隔，在克耳氏同期指示器中藉着高壓示波器，可以記錄出口形曲綫，根據這個曲綫的長度可以斷定所要測量的時間間隔，並且由標準發電機發出的高頻率振動也可以記錄出校準來，在古夫斯泰爾和馬金泰依爾底儀器中，有兩個計數器可以同時記錄出來各種現象，這些現象彼此間隔時間可以測量出來。這兩個計數器可以通過放大器管與示波器底管聯接起來，以便使它們能够支配光閃在映光幕上的長度，使它和所要測量的時間間隔成正比。藉着光電管和光電擴大器所組成的特別設備，可以把光訊號轉變為電訊號並用儀器來量計。

至於測量兩個偶然事件之間底時間間隔而在十億分之一秒數量級者，已經是現代測量技術所能控制的範圍。有些原子和原子核底過程所經過的瞬時時間比這還要小到幾百萬倍甚至幾十億倍，關於這方面的測量技術還是屬於尙待研究的範圍。

參考書目

恩格斯：「反杜林論」，第四四—五三頁，莫斯科，一九五〇年。

恩格斯：「自然辯證法」，第一八九—一九〇頁，莫斯科，一九五〇年。

「列寧全集」，第四版，第十四卷（「唯物論與經驗批判論」），第一六二—一六四頁。

列寧：「哲學筆記」，第四八頁，第二四一頁，莫斯科，一九四七年。

「斯大林全集」，第一卷，（「無政府主義還是社會主義？」）。

斯大林：「辯證唯物主義與歷史唯物主義」，莫斯科，一九五〇年。

布拉日科：「普通天文學教程」，莫斯科—列寧格勒，一九四七年。

羅斯索夫斯卡婭：「時間及其測量」，莫斯科—列寧格勒，一九三三年。

OCT 7132 n 7158 「宇宙學」雜誌，一九三五年，第二四卷，第三期。

BKC 7132 n 7158 「宇宙學」雜誌，一九三五年，第二四卷，第三期。

「放射性的地球物理學方法在地質學中的應用」，列寧格勒—莫斯科，一九三四年。

斯特科勒尼科夫：「電子示波器」，第二版，莫斯科—列寧格勒，一九四九年。

斯特科勒尼科夫：「接近光速的示波器記錄」，「蘇聯科學院報告」，第五四卷，第六期，一九四六年。

科爾夫：「電子和原子核質點底計量」，譯自英文版，莫斯科，一九四七年。

馬克高萬：「 7×10^{-9} 秒」， 7×10^{-9} 秒，中同質異能素」，英文「物理學評論」，第七七卷，第一期，一九五〇年。

開萊：「高速度的整步器」，「科學儀器雜誌」，蘭開夏—紐約，第二卷，第一期，一九五〇年。

霍夫斯台特爾與馬克普都爾：「關於符合現象和短時間間隔的探查」，同上。