

165686

瓦·彼·杜伯夫

物理學教程

(講義)

第一冊

力學
分子物理學
熱力學

高等工業學校參考教材

東北工業部教育處出版

1953年

42077
4425
V. 76

33

~~44100~~

33
516/4425

516/4425
T1K10 165686

- 1 -

目 次

第 一 部 分 力 學

第 一 講 緒 論.....	1
§ 1 物理學的內容.....	1
§ 2 研究物理學的方法——觀察、實驗、假說、理論.....	1
§ 3 作為自然現象中客觀規律的反映的物理定律和物理理論.....	2
§ 4 列寧對物理學中唯心學派的批判 正確理解物理現象的基礎的馬克思列寧主義世界觀.....	3
§ 5 物理學與技術間的關係.....	4
§ 6 俄國學者在物理學發展中的作用.....	5

力 學

§ 7 力學發展史概述.....	7
第二、三講 運動學的基本問題.....	9
§ 8 力學的分類.....	9
§ 9 計算系統.....	9
§ 10 質點.....	9
§ 11 速度.....	10
§ 12 速度的（向量的）加法.....	11
§ 13 等加速度直線運動 加速度.....	13
§ 14 落體.....	14
§ 15 平均加速度與瞬時加速度.....	17
§ 16 曲線運動.....	17
§ 17 等速率圓周運動.....	18
§ 18 法線加速度與切線加速度.....	19

第 四 講 動力學的基本問題.....	21
§ 19 力.....	21

§ 20	牛頓第一運動定律	21
§ 21	牛頓第二運動定律	22
§ 22	力和質量的單位	22
§ 23	牛頓第三運動定律	23
§ 24	動量與衡量	24
§ 25	牛頓運動定律對各種運動的應用	25
§ 26	動量不減定律 噴氣式發動機原理	26

第五講 功 功率 能..... 29

§ 27	功與功率	29
§ 28	功與功率的單位	30
§ 29	能	31
§ 30	動能的公式	32
§ 31	動能方程式	33
§ 32	位能	35
§ 33	能量不減定律	35

第六講 剛體的轉動..... 37

§ 34	剛體	37
§ 35	角速度與角加速度	37
§ 36	力矩	39
§ 37	轉動慣量	39
§ 38	剛體轉動的動能	40
§ 39	牛頓第二運動定律對剛體轉動的應用	41
§ 40	動量矩不減定律	43

第七講 萬有引力..... 45

§ 41	萬有引力定律 引力常數和其測定法	45
§ 42	地球的平均密度	46
§ 43	重力所作的功	47
§ 44	慣性質量與引力質量	48

第 二 部 分

分子物理學和熱力學

第八講 分子運動論基礎 理想氣體.....	50
分子運動論基礎	
§ 45 緒 論.....	50
§ 46 物質構造概念發展簡史.....	50
§ 47 分子運動論的實驗基礎 布朗運動.....	51
理想氣體	
§ 48 理想氣體 壓力.....	52
§ 49 波義耳—馬略特定律.....	53
§ 50 給呂薩克定律 絕對溫度.....	53
§ 51 氣體的狀態方程式 氣體常數.....	55
第九、十講 氣體的分子運動論.....	58
§ 52 氣體的分子運動論基本公式.....	58
§ 53 理想氣體定律的推導 亞佛加特羅常數.....	60
§ 54 氣體分子移動的平均動能 波爾茲曼常數.....	61
§ 55 分子速率的計算.....	62
§ 56 分子速率的分配.....	63
§ 57 氣體分子速率的實驗測定.....	64
§ 58 分子的碰撞次數和平均自由徑.....	65
第十一講 氣體內的遷移現象.....	69
§ 59 氣體的擴散.....	69
§ 60 氣體的內摩擦.....	72
§ 61 氣體的導熱.....	75
§ 62 分子大小的計算.....	76
第十二講 熱力學第一定律及其某些應用.....	77
§ 63 熱 功 系統的內能.....	77

§ 64	熱力學第一定律	78
§ 65	熱力學第一定律對理想氣體變化過程的應用(等容、等壓和等溫過程)	79
§ 66	氣體的定容熱容量和定壓熱容量	82

第十三講 氣體熱容量的分子運動論 85

§ 67	分子的自由度	85
§ 68	自由度和能量的分	87
§ 69	氣體熱容量的計算	87
§ 70	熱容量分子運動論的缺點和該問題正確解決的途徑	89

第十四講 絕熱過程 循環過程 卡諾循環 91

§ 71	絕熱過程	91
§ 72	絕熱線	92
§ 73	循環過程	93
§ 74	卡諾循環	95

第十五講 可逆過程和不可逆過程 熱力學第二定律 99

§ 75	可逆過程和不可逆過程	99
§ 76	熱力學第二定律	101

第十六、十七、十八講 實在氣體 液體的分子性質 106

§ 77	實在氣體 凡得瓦爾方程式	106
	液體中的分子現象	
§ 78	液體的構造 分子壓力	109
§ 79	表面張力	111
§ 80	曲面上的分子壓力 拉普拉斯方程式	114
§ 81	液體與固體相接處的現象 接觸角 毛細管現象	117
§ 82	液體的蒸發和沸騰 氣化熱 沸點和壓力的關係 飽和蒸汽	121
§ 83	重力對於蒸汽壓的影響	123
§ 84	液體表面曲度和飽和蒸汽壓的關係	123
§ 85	液體的粘性	124
§ 86	超流動性 卡比茲的實驗	125

第一講 緒論

§ 1 物理學的內容 物理學，正和其他自然科學一樣，研究人們周圍物質世界的客觀的屬性。物理學是研究自然的基本科學之一，它研究一切或許多自然現象所共有的最基本的性質。

‘Физика’ 一字由希臘字 *physis* (Φυσις) 而來，就是“自然”的意思。這個字本身就說明了物理學諸定律的普遍性；物理學闡明着物質最普遍的性質，亦即以此區別於其他自然科學；例如，化學是研究有關原子形成分子諸問題，生物學則僅牽涉到有生命的自然現象。然而，物理學的萬有引力定律，不管是化學性質複雜的或簡單的物質，不管是活的或死的物質，都得在同樣的程度上遵守這個定律；物理學所確立的能量不滅定律，所有已知變化過程都得服從它，不管它們是否具有化學的，生物學的或者其他的特性。

物理學不同於其他自然科學，它研究物質的比較普遍的性質；雖然化學、生物學及其他自然科學以至工程科學等都有其固有的特殊的規律性，然而它們的成就都有賴於物理學的定律。

因此，在一切科學部門中，在我們的日常生活中以及在一切近代技術中，物理學的研究成果都有其巨大的意義。

因此，沒有物理的基本知識，就不可能在自然科學和工程科學的研究中做出成績來。著名的俄國物理學家、教育家特倫井寫道：「正如文盲無法理解印出來的書本一樣，如果對物理學沒有相當的認識，就不能理解大自然這本偉大的書，就不能理解現代那些不愧稱為科學與技術之奇蹟的驚人的發現與發明。」

§ 2 研究物理學的方法——觀察、實驗、假說、理論 除了學習物理學的規律性外，認識物理學的方法，研究這些規律性的如何被發現，對於自然科學家 and 工程師說來都是有着巨大的意義的。

觀察和實驗是物理學研究方法的基礎。

觀察是對於在平常情況下發生的現象的觀測，而實驗是在人爲的情況下現象的再生。

自然界所發生的諸過程是如此的錯綜複雜，相互間的影響又是如此的式樣繁多，如果不是人爲地把許多現象劃分開來，不把他們相互孤立起來，就不可能確立

諸現象間準確的連繫。做一個物理實驗，就好像是在向自然提出一定的問題，想得到這個問題的固定而準確的答案。任何一個實驗都伴隨着科學家的智力勞動。從實驗中得來的材料再拿來對照、比較和解釋。從在實驗中確定出一些事實和現象，到物理學家做出一般的結論，這中間要經過一連串的推論，要把實驗的材料抽象化起來，需要異常繁複的智力勞動。

物理學家運用事實和概念，分析它們，並在實驗中檢驗它們，最後獲得一些推論和原理；這些推論和原理，以儘可能的精密程度表示出自然現象間的關係。就這樣產生出物理學的定律。定律中的推斷以及從中得出的結果必須在實驗中得到證實。

實驗僅僅是科學研究中的一部份，後者的最終目的是要儘可能地得到許多個別推斷與原理之更完整、更廣泛的概括，即物理理論的構成。

物理學的理論與定律的產生，常常要經過假說的階段：也就是假定在某許多現象間有某種一定的關係的存在。近代物理廣泛地應用着假說。正確地建立起來的假說，因為是探索新的理論和定律的方法，便成為發展科學的重要武器。恩格斯說：「假說成為自然科學發展的形態，這是科學發展本身的意旨。新的事實發現，使得以前解釋的辦法成為不適合的……從此又要求用新的辦法來解釋，其初總是依據局限的事實和觀測。以後的實驗材料會來清洗這些假說：一部份被否定了，另一部份再經過修正，一直到最後，方確立成為完全的定律。」（自然辯證法，俄文第七版，第六頁）。

物理理論是從一系列經過很好地研究過的事實與現象，以及從連繫這些事實與現象的概況與定律中得來的。

物理理論有其重大的意義。它包含着許多的事實與現象，把它們系統化起來，並予以解釋，它使我們的知識豐富起來，合理化起來，它還提高我們思考的效率。任何科學理論不僅要解釋已知的事實，而且要預言新的事實，新的現象，新的規律。如果科學的實驗經過假說引向理論，那末，反轉來後者又引起新的實驗研究。

§ 3 作為自然現象中客觀規律的反映的物理定律與物理理論 物理定律和理論是否正確，要看從它得出的推論與實驗和一切日常生活的實踐和生產實踐是否一致而定。

物理學的定律與理論表示着物理現象間客觀的內在連繫與物理量間實際存在的關係。

物理學的定律與理論的內容大都是作為一定的物理量的數值間的關係，用數學式子表示出來；這些關係是用測量的方法來確定的。至於量度的結果，則由於測量儀器的不夠完備，不可能是絕對準確的。因此，用實驗的方法確定下來的定律也不可

能是絕對準確的，而只是接近於真實；而這種接近的程度則相當於一定時期科學技術發展的水平。

物理的定律和理論的近似性並不能削弱它們的客觀意義；在物理學發展中的每一歷史階段中，它的定律和理論雖然也不是絕對準確的，但是近似地和相對真實地表現了物質的客觀屬性，而且它們的精確程度在對於我們周圍自然界的認識過程中不斷地提高。這樣，科學僅僅給我們一幅與實際相近似的圖樣，但是這些圖樣不斷在改進，愈來愈完整地也更好地反映出那無窮無盡的整個世界的客觀屬性。用列寧的話來說：“承認理論是寫生，是客觀實在底近似的複照，這就是唯物論。”

（唯物論與經驗批判論，1931年俄文版，217頁）

物理學不是一種停滯不前的、沒有固定目標的科學，而是在不斷地成長與革新着的。列寧寫道：“物理學的定律與物理理論不是什麼不可動搖的、一成不變的東西。它們祇代表着人類認識自然的某一階段，代表着在特定的歷史時期中已知現象與累積起來的實踐之總結。”（列寧選集第九卷，俄文版，145頁）

如果忘記了物理定律的近似性，把它看成絕對準確的東西，並且還推廣到不知是否能應用這些定律的範圍裡去，則便會鑄成大錯。

§ 4 列寧對物理學中唯心學派的批判 正確理解物理現象的基礎的馬克思列寧主義世界觀 包括物理學在內的自然科學的發展在唯物主義世界觀的發展中起着很重要的作用。物理學就其本質說來就是一個深深地意味着一定的世界觀的科學。在辯證唯物主義中完備起來的一貫發展着的唯物主義哲學，過去常常應用着物理學的發現來作為自己的論據。

依靠實驗與實踐的物理學，永遠沿着揭露世界的客觀屬性的道路前進，因此，絕大多數的物理學家，不管他們的哲學觀點如何，事實上都是自發的唯物主義者。

但是，自發的唯物主義的弱點在於它是不自覺的，同時也不能從哲學方面來理解科學上的實驗數據，以致有些個別的資產階級學者，順從了統治階級的思想的要求，不止一次地企圖用物理學上的發現來作為唯心主義哲學的論據；這些企圖特別是在有重大發現的時期，當舊的觀點需要重新考慮，而新的觀點還未得到充分闡明的時候，常常會表現出來。

就在十九世紀末和二十世紀初葉，當時產生了電子理論，也發現了作為相對論基礎的一些事實；於是這些東西便成了唯心主義大批的、似乎是以新的物理事實作基礎的“論據”。

在列寧的不朽著作“唯物論與經驗批判論”（1919年）一書中無比深刻地指出了唯心主義的這些論據的荒謬，揭露了圍繞着新的物理發現而開展的思想鬥爭的階

級背景，分析了近代物理學的危機的原因。

資產階級的哲學家武斷地說：物理學的新發現引出了物質消滅的概念。針對這一點列寧寫道：“「物質正在消滅」——這是意味着我們在此以前所知道的物質的界限正在消滅，我們的認識更加深入：從前看起來是絕對的、不變的、根源的那些物質特性（如不可入性，慣性，質量等等）正在消滅，這些特性現在顯示為相對的、是物質的某些狀態所固有的。因為物質底唯一的「特性」——哲學唯物論是與承認這個特性聯系着的——乃是物質之作為存在於我們的意識之外的客觀的實在的特性”（唯物論與經驗批判論，1931年，俄文版，213頁）

列寧天才地預見到，圍繞着物理上的新發現而進行着的思想鬥爭將要加劇和發展。衆所周知，列寧的預見，在第二次大戰的前夜，當法西斯主義的思想家公開地頌揚着中世紀的黑暗勢力時，便被證實了。在大戰結束後，這個鬥爭更加尖銳起來，而且形成了反動派企圖利用來束縛和停止人類歷史進入像莫洛托夫所說過的“一條條道路通向共產主義”那個時代中去的整個鎖鍊中的一環。

用辯證唯物主義的先進哲學來代替毫無遠見的資產階級世界觀，是有效地克服科學中一切和任何危機的保證。

一貫地用辯證唯物主義的觀點來進行批判的分析，便能夠經常把新理論中實質的物理內容與有些時候作者給它們加上去的唯心的外衣分別開來。

§ 5 物理學與技術間的關係 物理學是人類在謀取生活資料的過程中從所得到實際經驗的材料中發展起來的。實踐、技術和生活的要求經常推動着物理學前進。例如，古代的埃及人和希臘人的力學之發生，就直接連繫到當時建築上和兵工上的需要。同樣，在發展着的技術與軍事的影響下，完成了許多十七世紀末葉和十八世紀初期巨大的科學發現。

在十九世紀初，由於蒸汽機的應用，如何最有效地將熱轉變為功便成為必須解決的問題。但是，這個問題不能在狹隘的技術的途徑上謀取解決。祇有在1824年法國工程師薩日·卡諾一般地研究了熱轉變為功的問題以後，真正提高蒸汽機的機械效率方為可能。同時，卡諾的研究工作奠定了關於能量的傳播與轉變之普通學說的基礎，這學說便是以後的熱力學。如此，實踐的需要導致物理學的新發現，而後者便是技術更進一步發展的基礎。

新的，甚至初看起來還是最抽象的物理發現，總可以在以後技術與文化的發展中找到實際的應用。法拉第電磁感應現象的發現便是這方面最好的例子。

在一百到一百五十年前，電學實驗祇是為了少數學者的好奇和作為宮庭裡的一些玩物而已。至於把電應用到工程上，也就根本談不上了。

就在 1831 年法拉第發現了電磁感應現象。

當時即使是最豐富的想像力，也未必能預見到由於這個發現的應用而日益逼近的技術革命的巨大規模，就連對自己的發現在技術上的應用不大感興趣的法拉第本人也沒有看到。

但是，這個發現引起了全世界的力源經濟空前未有的改造。百年之前在這中間毫不起什麼作用的電力，現在則具有頭等重要的意義。它解決了能量向遠距離輸送的問題，與爲了這個目的而發生的電的變壓問題，以及如何最經濟地利用它的問題；它爲工業經營開闢了世界能量隱而不見的寶藏。

技術一方面應用着物理學的發現，一方面又不斷地在物理學前面提出愈來愈新的任務，因而又以新的研究工具武裝了物理學家。

在物理學的研究中，廣泛地運用着儀器，作爲我們很不完善的感覺器官的補充裝備。隨着技術的發展，物理學者得到愈來愈完備的儀器，大大地擴大了研究的領域。舉例來說，並不太久以前，我們祇能應用到達放大率爲 2000—3000 倍的普通顯微鏡，而現在我們的技術利用物理學的發現，爲我們創造了電子顯微鏡，其放大率達幾萬倍。

計時的方法改進得格外完善。近代的計時儀器，使我們在研究某些現象時，可以計算到千萬分之一秒。

蘇聯的物理學與資產階級的物理學不同，它立足於辯證唯物主義的先進哲學基礎之上，因此，它正與蘇聯的先進技術携手並進，並超過了被深重的危機籠罩着的，漸漸陷入唯心主義的泥沼中去的資產階級科學。

資產階級物理學是爲資本家的利益服務的，是剝削工人階級的武器和帝國主義發動新的戰爭的工具。

在蘇聯，物理學與技術，都是爲國民經濟與人民文化服務的，是鞏固與發展蘇維埃國家的工具。正如斯大林所指出，先進的蘇維埃科學是這樣的科學，**“它不脫離人民，而是準備爲人民服務，準備把一切科學的成果都交給人民；它不是被迫地爲人民服務，而是自願地，樂意地。”**

§ 6 俄國學者在物理學發展中的作用 蘇聯的物理學是奠基於俄國古典物理學家偉大的成就上的。

雖然，在革命前的俄國，物理學在極困難的條件下發展着的，但是，俄國物理學家很早以前就在世界科學發展中起着巨大的作用。

讓我們回憶一下物理學發展史中的一些事實。

物質與運動不滅的普遍定律是我們偉大的祖國之子米哈依爾·華西列也維奇·羅蒙諾索夫(1711—1765)創立的。我們有權利引以自傲。羅蒙諾索夫的偉大的著績有着非常巨大的意義，它奠定了物質的分子運動論與熱的機械說的牢不可破的基礎。

以楞次定則著名的彼得堡教授愛密里·赫列斯基安諾維奇·楞次(1804—1865)打下了所有近代電工學中最基本的電磁感應現象計算的基礎；並且與焦耳彼此獨立地，藉助更精密的實驗，創立了電流的熱效應定律，即在物理學中很著名的楞次——焦耳定律。

1802年華西里·符拉季米諾維奇·彼得羅夫教授(1761—1834)發現了電流通過碳極的發光現象，而這個發現錯誤地被歸到英國學者台維的名下，因為台維在1810年方指出這個現象，即比彼得羅夫要遲八年。彼得羅夫所發現的現象被稱為電弧，廣泛地被應用在電機工程的各個方面。

元素性質的週期性首先由偉大的俄國學者德米特里·伊凡諾維奇·門德列也夫(1834—1907)所發現。這個發現大大地促進了近代原子構造學說的發展。

莫斯科大學教授彼得·尼古拉維奇·列別傑夫(1866—1912)是傑出的俄國物理學家，最大的科學學派的奠基者，得到了最短的電磁波。藉助於極其微妙的實驗方法，他第一次測定了光的壓力，並以此證明了電磁場的物質屬性。

著名的俄國物理學家，莫斯科大學教授亞歷山大·格里果里也維奇·斯托列托夫(1839—1896)在光電效應與鐵磁性物質的磁化現象上曾做過出色的研究工作。在物理學這一領域中，他確立了許多很重要的事實和規律，還創造了許多實驗物理學的新的研究方法。

由於電磁波遠距離傳送訊號和近代無線電聯絡的原理的發現，全世界都感謝彼得堡電機工程學院的教授亞歷山大·斯節巴諾維奇·波波夫(1856—1906)。

俄羅斯航空之父，莫斯科教授尼古拉·也果洛維奇·朱可夫斯基(1847—1921)創立了飛機構造的科學基礎。

彼得格勒教授也夫格拉夫·斯節巴諾維奇·費多羅夫(1853—1919)發現了結晶體中原子分佈的普遍定律等。

卓越的俄國物理學家輝煌的成就，是近代蘇維埃物理學家這一隻百萬大軍的表率和令人鼓舞的力量。

蘇維埃人民的巨大的創造力，祇有在偉大的十月社會主義革命以後，把工業落後的沙皇俄國轉變為先進的社會主義國家以後，才得到充分的發展。蘇維埃國家的科學是蘇聯政府和全國人民所經常關心和注意的事情。這三十年來蘇聯物理學的成就，使它已經成為世界上第一流的科學了。

目前蘇聯物理學，在與生產者緊密的合作下，勝利地解決着斯大林同志在蘇聯科學家面前提出的超過外國科學的成就這個偉大、重要而光榮的任務。

力 學

力學教程的內容在於論述物質運動最簡單形式，即物體相對於另一物體的移動或物體的某些部份相對於其他部份的移動。

§ 7 力學發展史概述 自遠古以來人們就已獲得了力學上的一些知識。

還在古代我們就已經可以看到許多很複雜的軍事工程和宏偉的建築物。

埃及的金字塔，巴比倫的古塔，希臘的海港，羅馬的橋樑和堡壘，中古時代的城堡和廟宇：所有這些工程的建築給力學上的各種知識累積了豐富的材料。

紀元前約三百年（287—212）在西西里島上的西羅古扎赫城出現了一位偉大的物理學家暨數學家阿基米德，他證明了槓桿定律，發現了流體靜力學的基本定律，奠定了研究物體重心的開端，並且發明了許多機器，其中包括有螺旋取水機。

阿基米德也是力學中靜力學的奠基者。

在十六世紀，這個偉大的地理新發現的時代，人們的實踐活動對力學提出的要求便特別地迫切了；遠距離的商業聯系和航海的發展在科學的面前擺出了許多有關造船術方面的問題，要求增加船隻的牢固，容量和穩定度等。

在封建統治崩潰的基礎上建立起來的歐洲各國增加了內部商品的流通，於是便要求改良交通工具；正在壯大中的資產階級則特別注意水上運輸。水運的設施又與開運河以及築堤有着密切聯系。水運的要求改善，也就引起了對水的運動定律以及在靜水和流水中壓力分佈定律的研究。

與力學問題的解決緊密聯系着的十六和十七世紀中的生產事業的其他方面暫且不談；我們要指出的是如同現在常見的：在力學的發展中軍事曾經起過很大的作用。

許多國家之間的經濟利益鬥爭常常藉戰爭來謀取解決。從火藥發明以來，愈來愈頻繁地應用着槍砲。在武裝衝突中優勢的砲火對戰爭的勝敗起着很大的作用，而射擊的準確又與物體飛行定律的知識有關。因此研究落體定律，在真空中和在空氣中的拋物體運動定律便成為當時的首要任務。

早在十五和十六世紀時代，就有一個著名的工程師暨藝術家賴昂納多·達·芬奇（1452—1519）在努力研究力學上的許多問題。

像在科學發展中所常見的情形一樣，那些急待解決的、尖銳的實際問題吸引了當代偉大天才學者們的注意；因此，三位當代的大師：伽利略（1564—1642）、牛

頓 (1643—1727)、惠更斯 (1629—1695) 從事了力學問題的研究，考察了人類全部歷史所聚集起來的大量經驗結果，終於建立了力學的基本定律，為組成物理學一部份的力學樹立了開端。

伽利略和牛頓所發現的定律有力地促進了科學以及以科學為基礎的技術的發展。

牛頓以後的力學開始一瀉千里地發展下去。它如此廣泛地解釋着許多自然現象，以致有許多科學家認為能用力學定律來解釋一切自然現象；這樣就出現了機械論的世界觀。

以牛頓定律為基礎的力學就叫牛頓力學或古典力學。

直到二十世紀人們才知道機械論世界觀的荒謬；牛頓力學並不能解釋一系列新發現的現象，也就是那些必需牽涉到速度接近光速 ($3 \cdot 10^{10}$ 厘米/秒) 的質點以及那些原子核內各種過程的現象。

在1905年由愛因斯坦在他的相對論中得出了適用於以高速運動的物體的力學定律；這個理論又叫做相對力學。

牛頓力學是愛因斯坦力學的一個特例。

第二、三講 運動學的基本問題

§ 8 力學的分類 力學分爲三部：運動學、動力學和靜力學。

運動學敘述各類機械運動，說明運動進行的情況。它之有別於幾何學者，僅僅是它將對空間及其度量的概念與對時間的概念聯繫了起來。

動力學解釋各類機械運動發生的原因或存在的原因，亦即說明爲什麼會產生這一種或那一種機械運動。在動力學中引入力與質量的概念。

靜力學研究作用在物體上諸力平衡的條件。

本教程僅討論運動學與動力學兩部份，靜力學全部留在理論力學中討論。

下面我們開始討論運動學的基本問題。

§ 9 計算系統 物體對其他物體相對位置的變化稱爲運動。

爲了描述物體的運動狀況，首先要確立決定物體在空間所佔據的位置之計算方法以及與物體在某一位置相應的時間之計算方法。

物體的位置僅能根據與其他物體相對的關係來決定。因此，所謂物體的運動，亦即物體位置的變化，是當我們選定了其他物體，來決定該物體的位置才能談得到的。

作爲決定運動物體之位置的諸物體稱爲計算系統。

爲了描述地面上的運動，普通選擇地球作爲計算系統，或選擇其他對地球相對靜止的物體。例如我們正在進行實驗的教室的牆壁，就可作爲計算系統。

選擇了作爲計算系統的物體以後，就可以把各種形式的坐標系，如直角坐標系（笛卡爾坐標系）和該物體聯繫起來，並以所選定坐標系中的三個坐標來決定運動物體每點的位置。這個方法是最常用的方法。

上面已經提過，爲了描述物體運動的情況，不但要選擇計算系統，而且要確立一種方法來決定運動的物體中某點在某已知位置時的時間。

通常以鐘錶計算時間；這樣，問題是要決定當運動物體在一定位置上對時針的位置。換言之，必須決定物體某點經過一定位置與時針經過鐘盤上一定位置兩事件的同時性。如運動物體與鐘錶同在一地，我們可以由直接觀測來判定兩者的同時。

通常計算時間是以物體通過任意選定的某一點的瞬時作爲時間的開始。

§ 10 質點 爲了便於研究物體的各類運動，必須簡化運動物體的形態。基於此目的，在力學中引進質點這一概念。

物體的大小與所研究的問題中其他幾何量比較起來，如若小到可以不計，該物體稱爲質點。例如，當觀察電車整體

的運動時（不考慮它輪子的運動），可以只研究電車上面任意一點（如電車後面的一點）的運動。運動着的子彈也可以當作一個質點來研究。在研究地球圍繞太陽運行時，地球可以當作質點，因為它的直徑（13000 千米）與它和太陽的距離（ 15×10^6 千米）比較起來可以忽略。根據這些例子，可見採用質點的概念是正確的。

§ 11 速度 運動質點在空間所經過的路綫稱為軌跡。軌跡的形狀可以是直

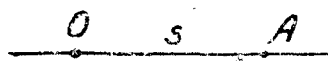


圖 1

綫，也可以是曲綫。在軌跡上選擇任意一點 O（圖 1），並規定以物體經過該點之瞬時開始計時。假設經過 t 秒後，物體位於 A 點。沿軌跡所量出的距離 OA，是物體在 t 秒內走過的路程 s 。

最簡單的運動是等速直綫運動：物體沿直綫移動，在等時間內，走過相等的距離。由此得知，走過的路程 s 與走這段路程

所需的時間 t 成正比。引進一個比例係數，可寫出下列關係式：

$$s = vt$$

解此方程式，我們便可找出常數 v 的物理意義：

$$v = \frac{s}{t}$$

這樣， v 在數值上等於物體在單位時間內所走過的路程，這個量稱為速度。速度是運動學中的基本概念，它把質點走過的路程與化費的時間聯繫起來。

在物理學中通常應用絕對單位制。該單位制的基本單位是厘米、克、秒。因此以每秒走過一厘米路程的速度作為速度的單位。

物理量分為兩種：無向量與向量；完全由數值來決定的量稱為無向量，如體積、溫度、密度、質量等。

如果提到：體積等於一升、溫度為 20°C ，這些物理量已經完全決定了。

物理量除具有一定的數值外還有一定的方向者稱為向量。例如，速度就是向量，因為要決定速度，不但必須指出大小，而且要指出方向。

屬於向量的物理量還有很多：如位移、加速度、力、衝量等。這些量用箭頭 OA（圖 1a）來表示是很方便的，箭頭的方向表示向量之方向，線的長度（可用任意的長度作為單位）表示向量之數值。

在等速直線運動中，位移方向與速度方向是一致的。

下面我們將討論變速運動。



變速運動是在相等時間內走過的路程不相等的運動。

圖 1a.

速度在不斷地改變。爲了要確定變速運動的性質，必須把速度的概念予以推廣。爲此目的引進兩個新的概念：平均速度（某段時間內的平均速度）與瞬時速度（在某一瞬時的速度或在路程上某一點的速度）。

對於變速運動，如果取 $\bar{v} = \frac{s}{t}$ 這個比值，我們將得到運動的平均速度，它在不同時間內一般講來是不同的。我們說火車在兩站間以 40 千米/小時的速度行車，就是指的平均速度。實際上火車在平地上走是一種速度，下坡是另一種速度，上坡又是一種速度。

當引進平均速度這一概念時，我們就好像把變速運動化爲相當的等速運動；因此，變速運動的平均速度也就是這樣一種等速運動的速度，這等速運動和原來的變速運動比較，正好在相同的時間內走過相等的路程。

爲了確定瞬時速度或在路程上某點 A 之速度，可作這樣的研討：取很短的時間 Δt ，在這段時間內運動的物體移至鄰近的一點 A_1 。距離 AA_1 代表時間 Δt 內路程的增量 Δs 。

那麼 $\bar{v}$ 就是在 AA_1 這段路程上的平均速度。

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

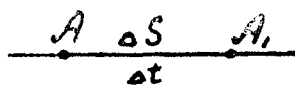


圖 2

很明顯，把點 A_1 取得與 A 點愈近，所得平均速度就與在 A 點之速度相差愈少；那麼當點 A_1 無窮地接近於 A， $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 這個比值的極限值就表示在 A 點的速度。可以這樣寫：

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}; \quad v = \frac{ds}{dt}$$

這樣，變速運動在路程上任何一點的速度就是靠近該點之一小段路程對相應小段時間之比的極限值，或簡言之：速度是路程對時間的導函數。

§ 12 速度的（向量的）加法 設物體同時參與兩種直線運動。例如，渡河的船隻：一方面船夫使它運動，另一方面還受流水的推送。

假定物體參與其中一種運動，那麼，經過一秒鐘它由 O 點走到 A 點（圖 3）。

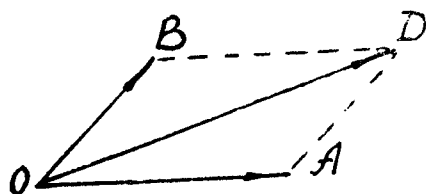


圖 3

因運動是在一秒內完成的，向量 OA 同時代表位移向量和速度向量。

假使物體僅參與第二個運動，那麼，經過一秒鐘它由 O 點走到 B 點。

如果物體同時參與兩種運動，那它將到那兒去呢？

這裡我們必須依據運動互不干涉的經驗定律，這個定律敘述如下：

假定物體同時作兩個運動，那麼它最後到達的位置，與它是同時作兩個運動，或是依任一先後次序作兩個運動這一點是沒有關係的。

由此，幾個位移合成的結果，和這些位移單獨依次進行的結果是一樣的。

我們所討論的物體移動的情形，就好像它先移到 A 點，再走過路程 $AD=OB$ 。因此，同時參與兩個運動的物體，經過一秒鐘後到達以位移 OA ， OB 作為兩邊所構成的平行四邊形的頂點。可以證明，物體總是沿對角線 OD 運動。

向量 OA 與 OB 稱為分速度。 OD 是由兩個分速度相“加”所得的合成向量，也叫合速度。因此：

如物體同時參與兩個運動，則合速度之大小與方向由以兩分速度為邊作成之平行四邊形的對角線來表示。

平行四邊形法則可推廣到任意數目運動速度的相加。如質點同時具有三個速度

(圖4) v_1, v_2, v_3 。求此三速度之合速度步驟如下：根據平行四邊形法則先求得前兩者 v_1 與 v_2 之合速度 v' ，再根據同樣法則將 v' 與 v_3 兩向量相加。所求得之速度向量 v 即為三速度之合速度。也可以說， v 是三個分速度之幾何和，可以這樣寫：

$$v = v_1 + v_2 + v_3$$

諸字母用「粗體字」表示該式中進行的演算是幾何加法，以別於平常之代數加法。

速度相加法則又使我們可以把任何速度想像為位於同一平面上並具有指定方向的另外兩個速度向量的和。

這種辦法稱為速度的分解。

常常需要把速度分成互相垂直的兩個方向，即沿直角坐標的坐標軸的兩個分速

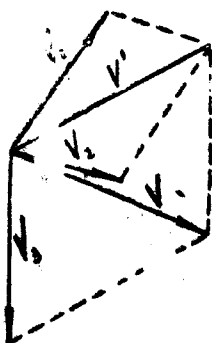


圖 4