

物理教学研究

(力学部分)

河南人民出版社

物理教学研究

(力学部分)

河南省教育廳編

*

河南人民出版社出版(鄭州市行政區經五路)

河南省書刊出版業營業許可證出字第一號

鄭州鐵路局印刷廠印刷 河南省新華書店發行

*

豫總書號: 1695

787×1092 1/32 • 5 $\frac{3}{16}$ 印張 • 120,000字

1959年5月第1版 1959年5月第1次印刷

印數: 1—7,286冊

統一書號: 13105•16

定價: (8) 0.5元

前 言

这本小册子，是从历年的“数理教学通讯”上选辑下来的一部分文章。这些材料都是教师在长期的教学实践中所获得的心得体会。为了帮助教师们解决物理教学中的困难，提高教学质量，现在把这些材料按照高中物理的章节顺序汇集成册，先出版力学，其余将陆续出版。由于我们政治、业务水平限制，不妥之处，在所难免，敬希读者予以指正。

河南省教育厅

1958年12月

前言

1. 运动力学的发展简史..... (1)
2. 以唯物辩证法研究力学..... (25)
3. 唯心主义在物理学中若干基本名词上的歪曲..... (38)
4. 即时速度..... (45)
5. 加速度..... (51)
6. “力”和“惯性”..... (60)
7. 谈谈“力”..... (66)
8. 谈“重力” “弹力” “摩擦力”..... (68)
9. “力” “质量”和“加速度”的关系..... (73)
10. “质量”和“重量”..... (81)
11. 物体的相互作用..... (89)
12. “功”和“能”..... (96)
13. 为什么三角形螺旋的摩擦比矩形螺旋的大..... (116)
14. 关于“曲线运动”中的几个问题..... (123)
15. 斜抛物体的运动..... (133)
16. 谈谈“向心力”和“离心力”..... (143)
17. 万有引力定律..... (148)
18. 上下方向的产生..... (158)

运动力学的发展簡史

李志嘉

恩格斯說：“运动是物质存在的形式，物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思维止。”①可見自然科学的根本問題，在于研究物质的运动。生物学是研究蛋白质的运动，而物理学則是研究无生命的物质运动，因而运动是物质存在的客观判处，如无运动，物质即变为不可捉摸。本文拟就力学中，人类关于运动规律的一些認識进程，作一概略的論述。

一、关于天体运动的認識

在远古时代，人类凭着直觉的臆測，认为地是静止不动的，其下应有东西支持。古代俄国人以为大洋中有三条大鲸鱼驮着大地；印度人又以为有四只大象驮着；而埃及人則以为由四圍的高山支持着。这些可說是古代关于天文学的一些童話。

人类为了确定播种与收割的日期，和由星座来确定航路，皆須观测天象，于是积累了一些由观察得来的天文知識。古代希腊的哲学家即綜合了这些知識，变成了系統的理论。例如：毕达哥拉斯（紀元前571——497年）认为地球是凭空悬于空中的；德模克里特（紀元前470——380年）认为宇宙系由无数在发展中的地球所組成；阿里斯达卡斯（紀元前四

①引自恩格斯“自然辯証法”

世紀末——三世紀半期)提出了地球不仅以圓形軌道繞日旋轉,而且自轉。象这些关于天文学上的卓越思想,当时并未被人接受。而祭司們还宣傳着神創天地,由于阿里斯达卡斯不信神而被驅逐出国。

希腊哲学家亚理斯多德(紀元前384——322年)认为太阳、月亮和五大行星皆以圓形軌道繞地旋轉,因他认为星球是最理想最完善的,它們亦应沿着最完美的圓形曲綫軌道运动。他虽不信是神創造了宇宙,但他却认为日、月、星球的运动,却由于神的第一次推动。

天文学家托勒密(紀元70——147年)总括了前人的学說,提出了地球中心說,认为地球悬于宇宙中心,静止不动,其外环以九重天,依次为月、水、金、日、火、木、土、众星宿和天穹,繞地以圓形軌道旋轉。这地球中心說虽不正确,但易为一般人所接受,因白天太阳的升落与夜間星辰的轉动,都象是这样的,特别是与宗教的人类中心說有自然的联系,遂获得了广泛的傳播,一直統治了一千多年。

欧洲在紀元一世紀产生了基督教,他們拋棄了希腊的天文知識,复活了远古时代的童話,甚至写在聖經上。例如在紀元535年,科兹姆·因基科甫列斯塔根据聖經写过一本书,宣揚天体由神所創,由天使運轉,以司昼夜、月份和年份。九、十世紀以后,又产生了經院哲学,企图以科学解說宗教,成为宗教的哲学,并支配了当时的学校教育,其邏輯完全由“聖經”与被曲解的亚理斯多德哲学出发,脱离了生活的实践,以致在漫长的中世紀,一切科学局囿于“聖經”的典据与亚理斯多德的死教条,使科学几乎陷于停頓。

由于資本主义在生产落后的封建制度社会中,慢慢地萌

芽、发展与壯大起来，遂孕育了西欧历史上的文艺复兴的轉机时期（从十五世紀起）；人类开始又从古希臘时代所积貯下的藏庫中吸取新的意識形态，以与这封建主义的意識形态相对抗，从而形成了一連串的偉大发现与发明的起点。

偉大的波兰科学家尼古拉·哥白尼（紀元1473——1543年）研究了古希臘天文学家的著作，核对了他自己所观测的資料和前人多年来积累下来的研究数据，証明若按托勒密的地球中心說則无法解釋許多天象，如火星的逆行与順行，以及其亮度因时而变等等。如果若把地球看为太阳的一个行星，則这些困难即可迎刃而解。于是他突破了“聖經”与教条的束縛，依据真实的資料，在1530年完成了划时代的著作，“天体运行”一书，論証了宇宙的结构，并非以地球为中心，它不过是太阳系中的一个行星，和其他的天体一样，遵循着同一的客观規律，环绕太阳以圆形軌道旋轉与繞自身的軸自轉，遂为宇宙物質統一的唯物論哲学，奠立了基础。但他沒有敢把他这多年来的辛勤劳作与研究的光輝成果公諸于世，直到1543年，在他临終时，他这部用复杂数学写成的“天体运行”才出版了。一时为一般人所不懂，未受到宗教的压制，且解决了一些通商中的航海問題，但当广为傳播后，即显露了这真理的光芒，在揭穿着宗教的謊言，动摇着宗教的信仰与威信。于是被宗教列为異端，严为查禁了。恩格斯对这部书的評价說：“哥白尼的不朽著作，……是一种宣布自然科学独立的……向野蛮教会权威挑战的革命行动。这是自然科学从神学中解放出来的开始……，从这个时候起，科学便占了优势而大踏步地发展起来”。①

①引自恩格斯“自然辯証法”

卓越的意大利思想家約丹諾·布魯諾(紀元1548——1600年)為了信仰哥白尼的宇宙結構學說，毅然拋棄袈裟，從事於教書生活，宣傳哥白尼的新世界觀，並光輝的提出宇宙是無限的、統一的、相互聯系的，太陽也不過是恆星中的一個，在其他恆星周圍也同樣可能有象地球一樣的行星，其上有人類居住；由於他的這些傑出思想，而遭到了宗教的殘酷迫害，以致顛沛流離，漂泊於歐洲各地，最後終於被捕，坐牢八年，在1600年2月27日被活活地燒死於羅馬的廣場上。

不到幾年，偉大的意大利科學家伽利略(紀元1564——1642年)，用他自己所發明的望遠鏡發現了月球表面的凸凹形狀，摧垮了“理想星球”的完善性教條，並由金星順序更換的位相，直接證明金星並非繞地運轉，而是繞着太陽旋轉的，於是又確鑿地證明了新的宇宙觀。在1632年，他又出版了“兩個宇宙體系——托勒密與哥白尼的論辯”，生動而顯明地描繪了兩種天文學的观点，使宗教又受到沉重的打擊。伽利略於是被捕了，讓這七十歲高齡偉大的學者，跪在聖瑪利亞教堂中当众懺悔，但偉大的學者，並未放棄由無數實驗證明了的真理；他並号召人類拋棄一切荒誕無稽的教條，用經驗和實驗的方法，去探索自然界中客觀存在着的自然法則。以致在牢獄中，悲慘地渡過了她的風燭殘年。

以後，丹麥天文學家第谷(紀元1546——1601年)觀察天象二十餘年，糾正了前人星宿表的許多錯誤，積累了許多觀察數據。德國天文學家刻卜勒(紀元1571——1630年)繼承了他的天文事業。這是一個篤信哥白尼學說的屢遭迫害的窮困青年，他應用了太陽中心說來分析第谷所觀察記載下來

的数据，发现火星的运行轨道，若按圆形计算，则与第谷实际观察的位置相差甚远，但按椭圆轨道计算，则相差较少，于是他选择了各种不同的椭圆轨道，反复进行繁复地计算，但总找不出一一种椭圆轨道与观察完全相合。一天，当他正计算得头昏脑胀时，不由得两眼痴痴地望着那满纸的数字出神，突然两个相同的数字使他震惊！于是继续工作，终于揭露了宇宙的秘密，从而才摆脱了自古以来的圆形轨道的教条，发现行星乃沿着椭圆轨道运行，太阳位于其一焦点上，这就是刻卜勒行星运动的第一定律了。接着他又发现，行星在公转轨道的不同部分，具有不同的速度，最后确定太阳与行星所联的向径，在等时间内扫过相等的面积，这就是行星运动第二定律了。在哥白尼时代已发现距日较远的行星，其公转周期亦较大，这又使刻卜勒很快确定，各行星绕日公转周期的平方与其距离的立方成正比。这就是行星运动第三定律。

刻卜勒的行星运动三定律虽然确切地描述了行星的运动，但行星为什么一定遵照这样规律运动，仍未解决，这又为以后天才的数学家和物理学家依萨克·牛顿（纪元1642——1727年）所解决。

牛顿在剑桥大学读书时，已对刻卜勒的行星运动三定律发生了浓厚的兴趣。当他二十三、四岁时，适瘟值疫流行，他在家休假，偶尔看见了苹果落地，而引起他一连串的思考，他想，苹果为什么一定向地下落呢？月亮为什么一定绕着地球转呢？乡下孩子常借投石器的旋转，将石子抛得很远，这使他联想起圆周运动时的向心力，从而使他设想，月球与地球之间，一定也有一种相互作用的引力，使月球绕着

地球旋轉。他从而大胆假設，月球与地球間的引力与其間的距離平方成反比。然后根据刻卜勒的行星运动第三定律与伽利略的运动規律，試行計算月球運轉的周期，結果与事实不合。六年后，法国辟卡測得了地面緯度为每度69.1英里，較前人測得正确，于是他又以此新值重新計算，得到月球繞地球旋轉的周期为27.5天与事实大致相合。他繼續又計算了各个行星的运行周期，皆与事实相符，从而将他的引力平方反比定律推广到宇宙間任何星球上去。

根据牛顿的万有引力定律与运动定律，即可推証出刻卜勒的行星运动三定律，所以万有引力定律才是确定天体运动規律的最基本定律，它定量的表征了宇宙間物体的相互联系与制約。从而解决了地球究竟是什么东西托着的老問題，因地球不但受到太阳的引力，而且以每秒三十万公里的速度运动，由于这引力与慣性力的相互矛盾与斗争，遂使它既不能被太阳吸过去，亦不能飞离了太阳，而是在空中繞太阳遵循一定規律而旋轉。所以万有引力定律成为新世界觀的科学基础。

英国物理学家卡文迪希作了著名的称地球的實驗，在實驗室中驗証了万有引力定律。爱德門特·哈雷根据万有引力定律算出，在1759年有一颗彗星出現，到时果然应驗。俄国彼得堡科学院士列克賽根据万有引力定律算出天王星的位置与实际观测的位置不合，从而推想在天王星外，还应有一颗未发现的新星。而在1846年，法国天文学家勒威耶又算出这颗新星的軌道和位置，果然在該年九月，在勒威耶所指定的位置发现了这颗新行星，即海王星。以后，应用万有引力定律还发现了天狼星的伴星和其他許多恆星的行星型伴星。万有引力定律于是得到完全的証明。

牛頓將這一些個別的特殊現象，如蘋果落地、月球繞地運轉、向心力以及刻卜勒定律等等作了分析與綜合，從而找出其間的互相聯系，發現了其內部的規律，萬有引力定律，這就是由特殊到一般。而哈雷慧星、海王星等的事前推出，則又是由一般到特殊，這就是人類認識的兩個過程。而且牛頓由於科學研究，自然而然的形成一種唯物的觀點，相信自然界的單純性與統一性，世界客觀規律的存在及其可認識性，以及空間和時間的客觀存在性。但他的唯物觀點是機械的、形而上學的，以致將空間和時間認為駕凌於物質之上，三者彼此無關，從而認為有“真空”的存在，以致錯誤的確定萬有引力是一種“超距作用力”。其所發現的慣性定律，本應理解為物質運動的永久性、不滅性和非創造性，但他由此却作出物質停滯的結論，以致認為宇宙運動的最后根源，象神的第一次推動。俄國天才的學者羅蒙諾索夫（紀元1711——1765年）堅決地反對這種“真空”空間和“超距作用”的理論，他以自己所發現的運動守恆定律，光輝地論證了直接作用的理論，並以物質運動的規律性解釋了物質的統一性，捍衛了促使科學發展的唯物論哲學，不求助於物質所無有的超距作用力和上帝的干預。恩格斯評論這一段的科學進程說：“哥白尼在這個時期一開頭……向神學挑戰，而牛頓卻以神的第一次推動的假定結束了這個時期”。①

二、經典運動規律的奠定

在奴隸占有制的初期時，它是能夠促進生產的，因而產生了古代希臘的文明。但由於輕視體力勞動，以致希臘時代

①引自恩格斯“自然辯證法”

的科学，多建筑在臆测上。例如亚里斯多德虽是世界上第一个研究思维形式的大哲学家，但它在许多个别结论上，发生了根本的错误，他的门徒更认为做实验乃是奴隶们的事，以致明知与事实不符，也不考虑，把错误坚持下去。譬如他们曾认为物体下落的速度是与其重量成正比的，即使没有空气阻力，也是如此；若保持物体的直线匀速运动，就必须作用以经常的力等等。这些错误的观点一直统治了一千多年。教师们都是这样讲，学生们都是这样学，一代传一代，一直到资本主义生产方式开始发展的文艺复兴时代，才出现了敢于突破这种神圣教条的杰出学者伽利略。当他二十五岁时，为了证明亚里斯多德的错误理论，曾带了轻重不同的两个铁球，在嘲笑与辱骂的人群中，登上了比萨斜塔，震撼人心地当众证明，这轻重两球同时着地！但在当时，实验还是不足以推翻理论的，他于是又出色的用逻辑推理证明了亚里斯多德的错误。〔註一〕

伽利略的治学方法，不象中世纪的学者，仅仅从权威的著作出发，作一些抽象的推理，而他是由观察、实验、经验与实践为出发点的，从而他光辉地揭露了自然界的秘密，正确地反映了客观存在的世界。他认为客观真理乃是写在经常在我们眼前打开着的伟大的宇宙、自然这本书上的，而且它是用数学语言所写成的。因他掌握了这样杰出的科研方法，以致聪慧异常，十九岁时，即以右手按着左手的脉搏，来计算礼拜堂中挂灯来回摆动的时间，从而发现了摆的等时性，成为后来制造时钟的依据，并由此发现了单摆定律。由于他观察了落体运动，实验了斜面运动，从而提出自由落体的规律、物体沿斜面运动的规律和抛射体的运动规律。从而

第一次精确地规定了速度与加速度的概念。光辉地发现力与加速度的联系；于是纠正了亚里斯多德的第二个重大错误，认为物体运动速度是和力的直接联系，而速度本身又是有无外力的表现。他这一伟大发现，是科学进程中最辉煌的一页；他并第一次揭示出运动的相对性原理和钟摆在振动中的机械能守恒原理。

而且伽利略的这些伟大成就，与其所处的时代也是分不开的。恩格斯描写那个时代说：“封建主义被市民阶级击碎了，在市民和封建贵族间的斗争背后是起义的农民，而在农民背后是近代无产阶级的革命先驱者，他们已握手里拿着红旗，口里喊着共产主义”。而这个时代的先进倾向，即在伽利略的身上体现出来。他不屈不挠的精神反抗着经院哲学的世界观，认为宇宙是客观存在的，一切物体皆遵从着同一的运动规律，一切现象皆遵从着一定的因果联系，因而科学研究是揭露这些现象或运动的内在规律，而这些规律又是无限丰富的，但人类是可逐渐认识它的。但若仰赖征引圣经与权威著作，那却是无济于事的。所以在科学上，他奠定了经典理论的基础；而在哲学上，又奠定了当时是进步的机械唯物论的世界观。

建立解析几何的法国数学家笛卡儿（纪元1596——1650年），在机械唯物论的基础上，提出了自然万物的相互作用原理，用以阐明运动的不灭性；他认为运动只能由一物体过渡到另一物体，不能产生与消灭，宇宙间的运动总量是保持不变的；由这一原理，使人类消除了神的干预思想，引导到由自然本身来说明自然现象的道路。二百年后，即由此导出了能量守恒定律。

天才的英国物理学家和数学家依萨克·牛顿分析和综合

了伽利略、笛卡兒……等人的科学成就，加上他自己的絕對空間与絕對時間的思想，在1687年，出版了“自然哲学之数理原理”的經典著作，提出了严密而完整的运动理論，牛頓运动三定律。

牛頓的絕對空間与絕對時間包括着两方面的意义，一方面認為空間和時間是客觀存在的，这是一种唯物的观点，因而成为經典力学中描述一切自然現象的空間和時間的依据；而另一方面却認為空間和時間是互不相关的，各自独立的；而且空間的規定性質，与在其間运动着的物質无关，到处是均勻的同性的。而時間又被看做是一个普通的尺度，在以任何速度运动着的物体上，其時間皆同。这就又是他的形而上学的观点。

牛頓的第一运动定律闡明了力和慣性这两个极为重要的基本概念。〔在我国春秋战国时代，墨子（紀元前468——382年）亦曾对力下过适当的定义，并对力、重和运动之間的关系，作过深刻的研究。〕牛頓的第二定律，是将伽利略的运动定律变换为更严密更广泛的运动規律，因他卓越地用一微分方程式将这物体的运动状态与其間的相互作用力的定量关系表述出来，从而即提供了研究物体在时刻变化着的力作用下的运动問題，并进一步确定了力和慣性的量度。牛頓的第三定律杰出的闡明了力的产生系由于运动着的物体間的相互作用，所以作用与反作用总是大小相等而方向相反，只要用相应的力来代替其他質点的作用，即可写出力學系中任何一个質点的运动方程式，于是又提供了研究質点系的运动規律。并由此还可用最簡單的方法导出非自由質点的运动規律，因用非自由質点的約束反作用力以代它的約束，即可将

它看作自由質点来处理。

牛頓由于研究物体的各种运动，又出色地創立了微积分。例如，他从各种物体的連續运动現象中，获得了連續数的概念，这就是由具体到抽象的一个認識过程的范例。他說：“这些东西实际上都来源自事物的本質，我們每天都可以在物体的运动中观察到。”他又說：“几何学是以力学的实践为基础的，几何学不外乎是一般力学中闡述精确測量技術的那一部份。”

而由于牛頓創立了强有力的数学工具，又使得牛頓定律有了进一步的发展。偉大的俄国数学家欧拉（紀元1707——1783年）提出了質点及剛体运动底一般微分方程式。拉格倫日（紀元1736——1813年）又将一般力体系的运动方程式从牛頓方程式的形式变換到用广义座标的格拉倫日方程式。而汉彌尔敦又将其变为另一形式，写成了汉彌尔敦的正則运动方程式。法国的达倫貝尔（紀元1717——1783年）贡献了有名的达倫貝尔原理，而拉格倫日則又建立了虛位移原理，前者将加速运动的物体看作处于平衡状态，而后者則又将出于平衡状态的物体想象发生一虛位移而作功，从这一极富辯証观点的邏輯出发，即成为解决运动問題的有力武器。若将达倫貝尔原理与虛功原理相結合，即又几乎包括了全部的經典运动理論，成为解决緩慢运动問題的普遍規律。

三、相对論的运动規律

自然科学由于与唯物論世界观相結合，获得長足的发展，从而奠定了經典理論的基础，使許多学者认为物質是由基本的不变原子所組成，遵循着机械的运动規律而运动，以

此來機械地解釋宇宙間各種自然現象，從而完成了物質動力論，認識了熱的本質，建立了電磁理論與光的微粒說與波動說，使許多學者認為經典理論已經登峰造極了，這就是盛極一時的機械論觀點。

到了十八世紀後半期，由於蒸汽機的發明，引起了產業大革命，大大地提高了生產力，實驗儀器也隨着精良起來，以致在十九世紀四十年代，邁爾（紀元1814——1878年）、焦耳（紀元1818——1889年）等各自獨立的用不同方法測定熱功當量，證明了能量的不滅與轉化原理，建立了熱力學第一定律。在1850年，克勞修斯（紀元1822——1888年）根據卡諾定律建立了熱力學第二定律，這與機械唯物論中的現象可逆性即發生了矛盾。到十九世紀末葉，機械論的一系列困難，如黑體輻射、光電效應、氣體比熱……等又接踵而來，終而遭到了崩潰的命運。所以在十九世紀末與二十世紀初是物理學的大革命時代，那時世界經濟已劃分為兩個原則上對立着的體系，社會主義體系與資本主義體系，其間的根本矛盾也產生了。

依照機械論的觀點，在解釋光現象時，採取了機械的波動說，設想在空間與物體中，弥漫着一種有機動力作用的假想物質，“以太”能傳播光波，但以太是否真的存在，即成為機械論的嚴重考驗。

我們還知道牛頓的運動定律，只適用於慣性系統，但那里有真的慣性系統呢？在牛頓看來，空間本身也許可當作絕對靜止的慣性系統，這自然毫無科學根據，但當科學家假想空間弥漫着以太時，那麼這以太即提供了一個慣性系統，于是有無以太，即成為當時研究的焦點。

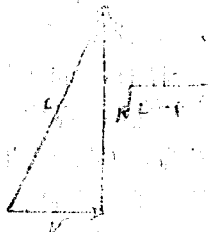
在天文学中已经证明对于任何方向上的恒星均有光行差的现象，与地球运动的方向无关。在任何方向上的恒星，其光谱波长的改变与空间的方向也无关，只与光源与观测者之间的相对运动有关，这些都说明了以太在空间应为静止的状态。但迈克尔逊——摩勒在1887年做了一个惊人的实验，其结果必认为以太随着地球运动才能解释，于是以太是否存在，即从根本上发生了问题，机械论这时才随着敲了丧钟。

迈克尔逊——摩勒实验的原理是，如果认为以太在空间为静止，那么地球就应该在以太中运动；这时若以地球为参考系统，也可以说地球为静止，而以太对地球以相反的方向运动。若在地球某处发光，这时光就象一个游泳者在以太海中前进；设 c 为光速， v 为以太流动的速度，那末，光若顺着以太运动的方向往返于 l 距离之间，所需的时间应为：

$$t = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2l}{c^2 - v^2} \quad (1)$$

倘光的运动方向与以太的运动方向垂直，则往返于 l 距离之间，所需的时间应为：

$$t' = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (2)$$



由 (1) 与 (2) 式即知 t 与 t' 不同，但实验结果 t 与 t' 却完全相同，这种现象，只有认为以太随着地球运动，才能解释。

为了解释以上的矛盾，劳伦兹假设长度为 l 的物体，若以速度 v 沿着其长度方向运动时，则其长度将收缩为：

$$l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ 这样往返于 } l \text{ 距离所需的时间即为：}$$