

中学物理教程
课本和手册

2

天空中的运动

[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆士·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

G633.7
303952

中学物理教程
课本和手册

2

天空中的运动

[美] 杰拉尔德·霍尔顿
F·詹姆士·卢瑟福 编
弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组 译

文化教育出版社

内 容 提 要

这套《中学物理教程》(The Project Physics Course)是美国有重要影响的改革教材。全套书共分六册: 1. 运动的概念; 2. 天空中的运动; 3. 力学的成就; 4. 光学和电磁学; 5. 原子的模型; 6. 原子核。本书是根据第二册译出的, 主要讲述了托勒玫地球中心说和哥白尼太阳中心说的形成, 开普勒和伽利略的贡献, 牛顿万有引力定律的发现及其重大意义。

这套教程的特点是突出最基本的概念和规律, 注意物理学与社会的联系和相互影响, 包括了相当丰富的物理学史资料, 重视阐明科学研究方法和思考方法, 叙述深入浅出、生动有趣。

本书可供中学教师、学生参考, 也可供中等文化水平的读者阅读。

*

The Project Physics course Text and Handbook 2 Motion in Heavens

Gerald Holton

F·James Rutherford

Fletcher G·Watson

HOLT, RINEHART and WINSTON, Inc.

New York, Toronto

1970

中学物理教程

课本和手册 2

天 空 中 的 运 动

[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆士·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

*

文化教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 8 字数 192,000

1980年6月第1版 1980年11月第1次印刷

印数 1—22,000

书号 7057·08 定价 0.71 元

目 录

课 本 部 分

前言	1
----------	---

第五章 地球在什么地方?——希腊人的回答

5.1 太阳和恒星的运动	6
5.2 月球的运动	11
5.3 “徘徊的星体”	12
5.4 柏拉图的问题	16
5.5 希腊人的“解释”	18
5.6 第一个以地球为中心的解答	19
5.7 以太阳为中心的解答	21
5.8 托勒玫的地心系统	25
5.9 托勒玫模型的成就与局限性	31
学习指导	32

第六章 地球运动吗?——哥白尼和第谷的工作

6.1 哥白尼体系	36
6.2 新的结论	40
6.3 哥白尼体系的论证	42
6.4 反对哥白尼体系的争论	44
6.5 历史的结论	49
6.6 第谷·布拉赫	50
6.7 第谷的观测	52
6.8 第谷的折衷理论	54
学习指导	60

第七章 一个新宇宙的出现——开普勒和伽利略的工作

7.1 匀速圆周运动的摒弃	64
7.2 开普勒的面积定律	67
7.3 开普勒的椭圆轨道定律	70
7.4 开普勒的周期定律	75
7.5 物理定律的新概念	77
7.6 伽利略和开普勒	79
7.7 望远镜提供的证据	80
7.8 伽利略集中了争论的焦点	84
7.9 科学和自由	87
学习指导	93

第八章 地与天的统一——牛顿的工作

8.1 牛顿和十七世纪的科学	99
8.2 牛顿的《原理》	102
8.3 行星力的平方反比定律	105
8.4 万有引力定律	107
8.5 牛顿和他的假设	110
8.6 行星力的大小	113
8.7 行星运动和引力常数	117
8.8 G 的数值和行星的质量	120
8.9 进一步的成就	123
8.10 牛顿著作的影响和局限性	128
学习指导	133

手 册 部 分

第五章 地球在什么地方?——希腊人的回答

实验	141
14. 目测天文学	141
A. 一日间的太阳观测	141

B. 一年间的太阳观测	142
C. 月亮的观测	143
D. 确定行星的位置	144
E. 作出行星的位置图	145
15. 地球的大小	154
16. 月面上的一座山——皮通——的高度	157
课外活动	161
进行角度测量	161
本轮和逆行运动	164
天球的模型	166
一个恒星日有多长?	168
太阳系的标度模型	169
制作一个日晷	170
画出一个“8字射影尺”	170
石柱群	171
月面环形山的名称	171
文学作品	171
地球的大小——简化的方法	172
教学影片	173
火星的逆行运动	173
影片 10A: 火星和水星的逆行运动	174
影片 10: 逆行运动——地心模型	175

第六章 地球运动吗?——哥白尼和第谷的工作

实验	176
17. 地球轨道的形状	176
18. 用透镜制作望远镜	180
课外活动	188
关于参考系的两种活动	188
教学影片	188
影片 11: 逆行运动——日心模型	188

第七章 一个新宇宙的出现——开普勒和伽利略的工作

实验	191
19. 火星的轨道	191
20. 水星的轨道	198
课外活动	202
两个轨道的三维模型	202
火星轨道的倾斜度	202
演示卫星的轨道	206
伽利略	207
圆锥截面模型	208
质疑题: 从金星的照片上求出地球和太阳之间的距离	208
测量不规则的面积	208

第八章 地和天的统一——牛顿的工作

实验	210
21. 用逐步近似法求轨道	210
课外活动	219
哈雷彗星的轨道模型	219
其他彗星的轨道	224
作用在摆上的力	225
俳句	226
审判哥白尼	226
海王星和冥王星的发现	226
如何求出双星的质量	227
教学影片	230
影片 12: 木星卫星的轨道	230
影片 13: 轨道程序 I	233
影片 14: 轨道程序 II	235
影片 15: 有心力——反复打击	236
影片 16: 开普勒定律	238
影片 17: 异常的轨道	240

课本部分

前言

天文学，这门最古老的科学，它研究的是迄今所知离我们最遥远的对象。不过，对古时的观察者来说，太阳、月亮、行星和恒星似乎并不这样遥远。它们也不被认为是不重要的。恰恰相反，正如今天一样，壮丽的天文事件有力地激励着具有好奇心的人们的想像力。天空中能看见的客体的多样性，它们运动的规律性，它们的位置和亮度的奇特缓慢的变化——所有这些不可思议的运动情景必有某种缘由，需要某种解释。

揭示这些缘由和意义就是本书这部分的主题。从史前时期开始，人们就试图处理观察到的天文现象，用一种虚构的形式把它们编纂为各种神话和故事，其中最好的列入了世界文学。直到十七世纪科学革命才向我们提供了直到今天还继续保持着各种解释。这些解释同时提供了以科学方式解决问题的一套新方法。

各种天文事件不仅推动了古人的想像力，而且对他们的日常生活有实际意义。他们日出而作，日没而息。在电照明发明以前，人类的活动就是以昼夜的交替和季节的变化为转移的。

在普遍应用的所有时间单位中，“一日”也许是最基本的并且无疑是最古老的单位。为了计算更长一点的时间间隔，“月”或月份是一个明显的单位。经过若干世纪，发明了时钟，把一天分为更小的单位，并且发明了历法，把日月的流逝累记为年。

大约一万年之前，当游牧部落定居在村落中并以农业为生的时候，他们就需要历法以便安排耕种。全部有记载的历史表明，世

界人口的最大多数都曾从事农业，因此都依赖于历法。播种太早，种子会在土地中腐烂，或者幼苗会遭霜冻而死。播种太晚，入冬以前庄稼尚未成熟。因此，知道耕耘和收获的季节对生存是至关重要的。宗教节日常常与季节有关，因此通过对太阳、行星和恒星的观察来制作和改进历法经常成为教士们的职责。所以最早的天文学家通常就是这些教士们。

实际需要和想像力互相交织使天文学很早就有其重要性。古代许多巨大建筑物的落成都具有细心安排的天文方位。巨大的埃及金字塔，法老们的坟墓，其侧面都是东西和南北方向。英国索尔兹伯里地方的巨大石柱群，给人印象深刻，几乎望而生畏，约建于公元前二千年，它可供对太阳和月亮的位置进行准确的观测。美洲的马雅人和印加人，还有中国人，都为兴建可供测量太阳、月亮和行星的位置变化的建筑物投入了巨大努力。早在公元前一千年前，巴比伦人和埃及人已经发展了他们在记时方面的巨大才能。他们所记载的观测仍在发掘中。

这样，数千年来，天体的运动被人们细心地加以观察和记载。在所有科学中，任何领域都不像天文学具有这样悠久的历史积累。

但是，我们应对希腊人给予最大的感激，他们开始以新的方式处理他们所看到的一切。希腊人察觉到了地球上各种客体表面上无规则的、短暂的运动与天空中各种客体无限循环的运动之间的显著不同。约在公元前 600 年，他们开始提出新的问题：我们怎样才能以简单的方式解释太空中的这些循环事件？从这些天文事件中，我们能得到什么样的规律？希腊人的回答，我们将在第五章中讨论，它对科学具有重要影响。例如，我们将看到，亚里士多德（约公元前 330 年）的著作自公元 1200 年以后在西欧被广泛学习和接受，并且是继之而来的科学革命的重要因素。

亚历山大大帝多次征战以后，希腊思想和科学的中心移至埃

及的新城亚历山大，该城建于公元前 332 年。在那里建立了一座类似近代研究院的博物馆，繁盛了许多世纪。但是随着希腊文明的逐渐衰落，具有实用思想的罗马人夺取了埃及，于是对于科学的兴趣消失了。公元 640 年 亚历山大城被穆斯林占领，他们横扫地中海南岸，并且经西班牙北进卑南里斯山脉。他们沿途攫取并保存了许多珍藏的希腊文献，其中有些后来译成阿拉伯文，并被仔细阅读。在以后若干世纪中，穆斯林科学家们作了新的更好的天体观察，不过他们对于希腊人的解释或理论并未作出重大改变。

在西欧，这期间希腊人的著作大都被遗忘。后来，当穆斯林从西班牙被驱走以后，这些著作经阿拉伯译文才被欧洲再度发现。1130 年左右，至少有一本亚里斯多德著作的完整的手抄本为意大利和法国所知。约在 1200 年，巴黎大学建成以后，又得到亚里斯多德的许多其他著作，在那里以及在新的英国大学牛津和剑桥中都学习这些著作。

在下一个世纪，天主教僧侣阿奎那斯把希腊思想中的主要因素与基督教的神学相混合而成为单一的哲学。他的著作在西欧广为学习和接受达数世纪之久。在完成这一有指导意义和比较成功的综合中，阿奎那斯接受了亚里斯多德的物理学和天文学。由于科学和神学相混合，对科学的任何争议似乎也就是对神学的争议。因此，一时间对亚里斯多德的科学很少有什么有意义的评论。

从意大利开始而遍及西欧的文艺复兴运动，带来了新的艺术和音乐。它也带来了有关宇宙和人在其中的地位的新思想。好奇心和怀疑态度不仅得到允许，甚至受到奖励。人们在其对世界的认识能力方面获得了新的信心。在以他们的工作而开辟新时代的人们中，有：哥伦布和伽马，古丁伯和达·芬奇，梅奇兰格和拉菲尔，依拉斯姆斯和费梭列斯，路德，开尔文和亨利第八。哥白尼就生活在这个文艺复兴时代，他对天文学理论的重新考查将在第六章中

讨论。

天文学理论的进一步完善是在十七世纪通过开普勒的数学推理和伽利略的观测和著作而实现的；这些将在第七章中讨论。在第八章中你将看到，在十七世纪后半期，牛顿的工作把关于地球上物体运动的概念加以推广，去解释在太空中观察到的各种运动，这是地球上的和天体的动力学的宏伟综合。这些人物以及其他人物在其他的科学部门如解剖学和生理学所获得的成就和他们藉以进行工作的方法，其影响是如此深远，以致所发生的变革可以归结为科学革命。

伟大的科学进展能够而且常常影响到超越科学范围之外的思想。例如牛顿的出色工作曾帮助人们建立起一种新的自信感。人们似乎有能力理解天地间的各种事物。这种在精神状态方面的巨大改变是曾被誉之为理性时代的十八世纪的主要特征。在一定程度上，我们今天的所想所为无不受到若干世纪前科学发现的影响。

思想方面的决定性变化开始于文艺复兴，并且延续达一个多世纪之久，从哥白尼的工作一直到牛顿的工作。在一定意义上，这个发明年代堪与距今一百年前发生的迅猛而彻底的巨变相媲美。这个近代时期是从 1859 年达尔文的《物种起源》的发表到 1945 年原子能的大规模释放。在这期间生活着这样一些科学家，如孟德尔和巴斯德，普朗克和爱因斯坦，卢瑟福和费米。由他们以及其他入向科学引入的思想已经变得日益重要。这些科学思想就像罗斯福、甘地、教皇约翰二十三世、马克思、列宁、弗洛伊德、德拜、毕加索、斯塔尼斯基、绍以及鸠思等人的思想和著作一样，成为我们这个时代的一部分。如果我们能够理解科学是如何影响过去的人们的，我们就会更好地理解科学如何影响我们今天的思想和生活。很清楚，这就是本教程的主要目标之一。

总之，本册所处理的材料，既是历史，也是科学，今天它对任何

一个有志于科学的人仍是头等重要的。从历史角度来描述科学，其理由可归结如下：

最后获得的结果现在仍然有效并且它们是今天日常科学工作所用到的古老概念的一部分。我们清楚地看到全部科研工作的一些特点：假设、实验和观察、数学理论等的作用；建立一种社会机构作为协作、讲授与争辩的场所；尽可能的将个人的科学发现汇集成为当时已建立起来的学术体系的一个部分。

对同一组天文观察数据用对立的理论进行解释，它们之间的矛盾是很有意义的。它说明直到我们这个时代所有这类争论的共同点是什么，并帮助我们看清楚判断是非应该采用什么标准。

本教材包括了迄今我们所理解的有关科学兴起的主要理由。十七世纪科学革命的历史及其在各个领域的许多影响是理解现代科学的关键，就象美国革命的历史是理解今天美国的关键一样。

第五章 地球在什么地方？

——希腊人的回答

5.1 太阳和恒星的运动

日常的天文事实，太空中所发生的种种事件本身，现在跟希腊时代是一样的。你用肉眼能够看见古代科学家所看到和记载的绝大部分。你能够发现长期以来就为人们所知的某些周期性的运动，诸如中午时太阳的高度随季节的变化，月亮每月的盈亏，以及缓慢转动着的夜空的辉煌景色。如果我们的目的仅仅是为了准确地预报日月食、行星的位置和季节，那么就像巴比伦人和埃及人一样，我们可以集中精力于详细地记录这些周期性运动。但是，如果像希腊人一样，我们希望解释这些周期性运动，我们必须利用这些资料来创造某种简单的模型或理论，以便能预见这些观察到的变化。不过在我们剖析过去提出过的某几种理论以前，让我们重温一下这些理论必须加以解释的主要观测：太阳、月亮、行星和恒星的运动。

从我们地球来看最基本的天象循环当然是昼夜循环。太阳每

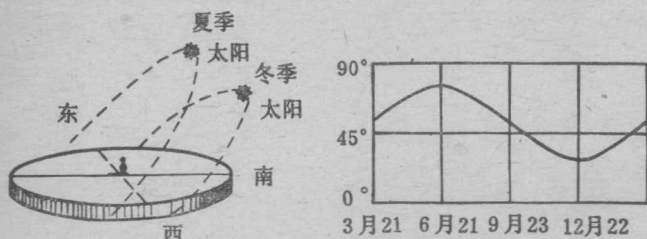


图 5-1

(a) 夏天与冬天的某一天，太阳在天空中经过的路径。

(b) 在密苏里州圣路易一年间所看到的中午的太阳的高度。

天从东方的地平线上升起，然后落于西方。太阳在天空中沿着弧线运动，如图 5-1(a) 所示。在中午，即在日出和日落之间一半的地方，太阳离我们的地平线最高。每天从日出到日落都可以看见这种类似的运动。事实上，所有的天体都在天空显示出这种周日运动的图景。它们全由东方升起，达到最高点，然后向西方下落（虽然有些恒星实际上从不落于地平线以下）。

太阳沿天空的路径的细节是随季节而变化的。在我们的北半球，冬季太阳的起落都偏南，中午时高度较低，所以它横越天空所需要的时间较短。夏季太阳的起落都偏北，中午时高度较高，它横越天空所需的时间较长。全部循环所需的时间比 $365\frac{1}{4}$ 天略少。（学习指导 5.2）

这种北与南的一年间的循环是季节循环和“太阳”年的基础。显然，古时埃及人认为一年有 360 天，后来他们加了五天节日，一年有 365 天，从而比较好地符合于他们对于季节的观测。现在我们知道太阳年有 365.24220 天。这个小数部分 0.24220 天给历法的制作人带来了麻烦，因为他们只处理整数的天数。如果你使用 365 天为一年的历法，则四年后，新年的元旦将提早降临一天。在一个世纪里，你将有几乎一个月的误差。经过少数几个世纪元月一日这一天将在夏天到来！在古代，要随时插进额外的天数甚至整月份，以便使一年 365 天的历法与季节能完满相符。（学习指导 5.3）

这种权宜之计的历法当然是很难令人满意的。公元前 45 年，儒略·凯撒宣布了一种新的 365 天的历法（即儒略历），每隔四年增加一天（即闰日）。所以，经过若干年，每年平均就是 $365\frac{1}{4}$ 天。这种历法使用了若干个世纪，其间 $\frac{1}{4}$ 与 0.24220 之间的微小差额累计为数日。最后，在公元 1582 年，在罗马教皇哥利高里主持下宣布了一种新历法（即哥利高里历）。这种历法在 400 年内只有 97

个国日。这种新的历法与实际情况近似得已经足够充分，以致时至今日仍令人满意而未加修改。

你已经注意到少数星体是明亮的，而许多则是暗淡的。比较亮的星似乎大些，但是，如果你用双目望远镜观察它们，它们仍旧是一些光点。有些亮星是彩色的，而绝大部分是白色的。人们把较亮的星分为若干组，叫做星座。人们所熟悉的北斗七星和猎户星座就是其中的例子。（学习指导5.4）

你也许曾经注意到在头顶上某一特定的星座，经过数小时后便已显著偏西。这是怎么回事呢？更仔细地观察，比如利用长时间曝光的照片（图 5-2），将表明所有星体都由东向西运动：一些星



图 5-2

猎户星座中的星及其径迹的照片。星体在天空运动时，把照相机的快门打开几小时（在照片底板上留下星的径迹）。然后关闭照相机快门几分钟，再打开，使照相机跟踪星体。



图 5-3

长时间曝光照片所显示的星体围绕天极的运动径迹。斜直线是人造地球卫星迅速经过时所留下的径迹。你可以用量角器来确定曝光有多长时间星体每小时运动约 15° 。

由东方升起，其他的星向西方落下。在夜间，从地球北半球的地点来看，群星围绕空中的一点作反时针运动，这个点叫做北天极。这个不动的点就在十分明亮的北极星的近旁，如图 5-3 所示。

某些星座，如猎户星座和天鹅星座(又叫北十字星座)几千年前已有记述和命名。由于古代人所描述的星座现在仍然是合适的，我们可以得出结论，即星体位置的变动是很微小的，至少在若干个世纪内是如此。相对位置的这种恒定性使他们有“恒星”之称。

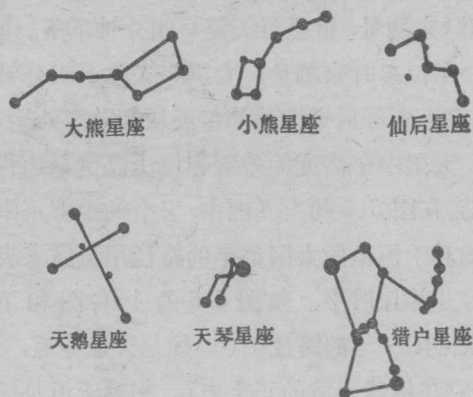


图 5-4

这样，在天空中，我们既看到了天体的经久的稳定性，又看到了它们的有秩序的运动。不过，太阳和恒星每天升与落的循环运动虽然相似，但并不完全相同。与太阳的路径不同，恒星路径的高度不随季节而改变。恒星起落的周期，也与太阳不完全相同，而是稍微快一点。某些星座在太阳下落以后才出现在高空，但经几周后，他们便可赶上太阳。以太阳时来测量，这些恒星每天比太阳早落四分钟左右。(学习指导5.5)

至此，我们已经描述了太阳和恒星相对于观察者地平线的位置和运动。但是，由于不同的观察者具有不同的地平线，所以地平线并不是一个不变的参考系，从那里使所有的观察者都可以在天空中看到相同的位置和运动。然而，恒星提供了对所有观察者都相同的参考系。这些恒星之间的相对位置不随观察者在地球上的运动而变化。同样，它们的周日运动都是简单的循环，实际上在一

年期间或经过若干年均无变化。由于这种理由，天空中的位置通常都以恒星所规定的参考系来描述。

用恒星作为参考系来描述太阳的运动，必须包括：每天跨越天空的路径，每天起落时间的差别，中午高度随季节的变化。我们已经看到，以太阳时来测量，恒星每天提早四分钟下落。同样，我们也可以这样说：用恒星时来测量，太阳每天推迟四分钟下落。这就是说，太阳似乎逐渐落后于恒星的每天从东向西的运动。

一年期间，太阳中午高度的差别相应于以恒星为背景的太阳轨道的南北移动。在图 5-5 的上左图中，天空的中部用围绕地球的带条来表示，相对于恒星的太阳每年的路径用黑线来表示。假如我们把此带条剪开并且展平，如图 5-5 的上右图和下图所示，我们便得到一张太阳一年的路径图（ 0° 线是天球赤道，即天空中的一条假想线，它在地球赤道的正上方）。相对于恒星的太阳路径称为黄道，它在天球赤道的南北之间的移动约为 $23\frac{1}{2}^\circ$ 。我们也需要在黄道上规定一个点，以便我们能够确定太阳或其他星体沿着黄道的位置。若干世纪以来，这个点被确定在这样一个位置，即太阳在黄道上通过这个位置向东运动，并从南到北横跨赤

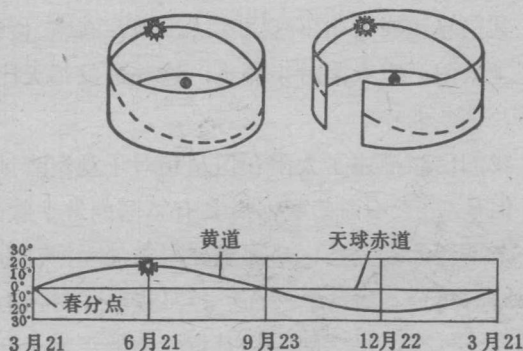


图 5-5