

(甲种本)教学参考书

高级中学物理第一册(下)

上海教育出版社

GAOJI ZHONGXUE WULI DIYICE

高级中学物理(试用)第一册(甲种本)

教 学 参 考 书

(下)

上海市中小学教材编写组编

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.5 字数 115,000

1984年11月第1版 1984年11月第1次印刷

印数 1—81,400本

统一书号: 7150·3297 定价: 0.51元

中学物理教学参考书

书 目

初级中学物理第一册教学参考书	已出版
初级中学物理第二册教学参考书	85年初出版
高级中学物理(甲种本)第一册教学参考书(上)	已出版
高级中学物理(甲种本)第一册教学参考书(下)	85年春季出版
高级中学物理(甲种本)第二册教学参考书(上)	85年秋季出版
高级中学物理(甲种本)第二册教学参考书(下)	86年春季出版
高级中学物理(甲种本)第三册教学参考书(上)	86年秋季出版
高级中学物理(甲种本)第三册教学参考书(下)	87年春季出版
高中物理(乙种本)教学研究(第一分册)	85年秋季出版
高中物理(乙种本)教学研究(第二分册)	86年春季出版
高中物理(乙种本)教学研究(第三分册)	86年秋季出版
高中物理(乙种本)教学研究(第四分册)	87年春季出版



第五章	万有引力定律	147
第六章	物体的平衡	169
第七章	机械能	194
第八章	动量	228
第九章	机械振动和机械波	269

第五章 万有引力定律

一、教材结构

本章教材的内容,是以万有引力定律为中心,围绕着运动和力的关系而逐步展开的。教材按照人类认识的发展顺序,首先介绍行星的运动和开普勒定律,接着讲述万有引力定律和关于万有引力恒量的测定,最后说明了万有引力定律在天文学上的应用等。

教材以人们对天体运动及其原因的正确认识为线索,叙述了从托勒玫的地心说到哥白尼的日心说,从开普勒定律的建立到牛顿万有引力定律的发现的历史过程,表明了天体的运动是有规律的,规律是可以被认识的,而正确理论的建立和发展,是随着社会生产力的发展以及人类在社会实践中对自然界的认识而逐步建立和发展起来的。虽然,其中经历了教会势力的阻挠,但真理终究是扼杀不了的。这些对于学生建立正确的宇宙观,激发他们的学习积极性有着重要意义。

本章可分为三个单元:

第一单元是第一节《行星的运动》;

第二单元包括第二节《万有引力定律》和第三节《万有引力恒量的测定》;

第三单元从第四节《万有引力定律在天文学上的应用》到

第六节《人造地球卫星》。

第一单元叙述了人类对天体运动规律的认识过程，从托勒玫的地心说、哥白尼的日心说到开普勒关于行星运动的定律，为学习第二单元作了必要的准备。

第二单元着重介绍牛顿综合天文学和力学方面的成就，发现万有引力的存在，并总结出万有引力定律，从而解决了包括行星围绕太阳运动在内的天体运动的动力学问题。教材还进一步介绍了卡文迪许实验。这个实验不但测出了万有引力恒量的数值、证明了万有引力定律的正确，而且它所用的思维方法和实验手段都是很有启发性的。这一单元是本章的重点。

第三单元介绍万有引力定律的一些应用。叙述了万有引力定律在天文学上的应用，解释了地球表面上物体重量变化的原因，介绍了有关人造地球卫星的初步知识等。

本章的教学目的是：

1. 了解人类对行星运动认识的历史发展过程和开普勒定律的内容。

2. 掌握万有引力定律及其计算公式，了解万有引力恒量的意义及其测定方法。

3. 学会应用万有引力定律和圆周运动的知识，来计算天体的质量和行星的周期等。了解地球上物体重量变化的原因。了解有关人造地球卫星的知识，会推导第一宇宙速度。了解第二宇宙速度和第三宇宙速度的意义。

4. 结合本章教学，进行历史唯物主义和爱国主义教育，培养学生的辩证唯物主义观点。

二、教学建议

本章教学共六课时,分配如下:

单 元	课时顺序	教 学 内 容
一	1	一、行星的运动
二	2	二、万有引力定律
	3	三、万有引力恒量的测定
三	4	四、万有引力定律在天文学上的应用
	5	五、地球上物体重量的变化
	6	六、人造地球卫星

1. 本章引言和《行星的运动》

引言指出了万有引力定律是在天文学和力学成就的基础上发现的。因此,本章内容除了与前面学习过的力学知识有密切联系外,还要涉及到一些天文学的知识。引言还指出了万有引力定律能够解释行星和卫星的运动规律,并能解释物体重量的产生原因以及其他一些物理现象。万有引力定律的发现,揭示了自然界中一种基本的相互作用力,它标志着人类在认识自然的历史进程中向前迈出了重要的一步。

《行星的运动》这一节,包含了人类对行星运动的认识过程和开普勒定律这两个内容。教材依次介绍了托勒玫的地心说和哥白尼的日心说以及开普勒关于行星运动的定律。

本课时教学建议:

(1) 要启发学生认识科学理论的产生,是建立在人们长期观察、积累资料和研究的基础上的,理论是否正确还必须受到实践的检验。因此,随着生产力的不断发展、观察手段的逐步完善,理论也是在不断发展的,从而对学生进行历史唯

物主义和辩证唯物主义的教育。

(2) 我国古代很早就对天文现象进行了观察研究,并且在许多领域里取得了重大成就。教学时可以适当介绍我国古代在天文学方面的成就(具体内容见参考资料),以便对学生进行爱国主义教育。

(3) 在讲解哥白尼的日心说时,可结合课本图 5-1,使学生对太阳系的组成有一个初步了解。在讲解开普勒定律时,可结合课本图 5-2 简要解释:椭圆及其焦点、半长轴等名称,但不要求引入过多的数学知识。

(4) 在讲解开普勒定律时,要引导学生理解,开普勒定律不仅适用于行星围绕恒星的运动,而且也同样适用于卫星绕行星的运动。教学中应指出开普勒第三定律中的 k 是一个与行星无关的恒量,它的数值只跟行星所环绕的那个天体有关。并使学生理解,在卫星围绕行星运动的情况下,这时各卫星的 R^3 和 T^3 的比值 k ,也是一个跟卫星无关的恒量,它的数值只跟卫星所围绕的那个行星有关。

作业布置:练习一(1)、(2)。

第(1)题,可以把表中所列行星由近及远的数据分成几个组,让不同的小组的学生分别选做,以便算出所有行星的 k 值,从而使学生认识到在太阳系中 k 值是与行星无关的恒量。第(2)题中给出的谷神小行星的质量,在计算过程中是不需要的,但不宜事先提示。

2. 《万有引力定律》

本节教材是从行星为什么围绕太阳旋转这个动力学问题展开的。教材首先介绍了牛顿证明太阳对行星的引力服从跟距离平方成反比的规律。其次教材叙述了牛顿把这种引力规

律逐步推广的过程，从而提出了万有引力定律。最后教材指出了万有引力定律的发现，是人类在认识自然规律方面取得的一个重大成果，它对物理学和天文学的发展有很大的推动作用，对人类文化历史的发展也有重要的意义。

本课时教学建议：

(1) 在分析牛顿证明太阳对行星的引力规律时，可引导学生作如下的思考：①围绕太阳运动的行星，它的速度在不断地改变，肯定是受到力的作用；②由于行星是围绕太阳近似地作匀速圆周运动，所以这种力一定是太阳对它的引力，也就是行星作圆周运动所需的向心力。③进一步搞清楚这个力的性质和它所服从的规律。教学中可以先从胡克等人的猜想谈起，再过渡到牛顿所作的理论上的证明。牛顿运用开普勒定律和自己力学上的成就，首先证明太阳对行星的引力 F 不但跟行星与太阳的距离 R 的平方成反比，而且还跟行星的质量 m 成正比。牛顿进一步证明了这个引力还跟太阳的质量 M 成正比，综合上述结论，可以写成 $F \propto \frac{Mm}{R^2}$ 。关于引力 F 跟太阳的质量 M 成正比，可以直接给出，不必作过多的补充。

(2) 在讲解牛顿证明太阳对行星的引力公式 $F = G \frac{Mm}{R^2}$ 以后，要引导学生认识牛顿是怎样将这种引力规律加以合理推广，从而得出万有引力定律的，以培养学生的逻辑思维能力。在教学中要使学生明确 $F = G \frac{Mm}{R^2}$ 和 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 这两个公式的物理意义。前者是在推导过程中，研究太阳和行星之间的作用力而得到的引力规律，后者是任何两个物体（质点）之间的引力规律。

(3) 关于月球围绕地球运动的向心加速度是地面上重力加速度的 $\frac{1}{3600}$ 的问题,可利用练习二中的第(2)题,由学生通过计算得出。但要强调指出,这一结果表明了地球对它周围物体的引力也是跟距离的平方成反比的,从而证实了重力以及地球对月球的引力都属同一性质的力,是牛顿推广引力规律,发现万有引力定律的重要依据。

(4) 教材虽然没有提出万有引力定律只适用于质点的情况,但在练习中或习题中所给出的题目,都是在这种条件下能把物体当作质点来处理的。所以,可提醒学生注意,对于相距很近的两个较大的物体之间的引力,一般不可以直接运用万有引力定律的公式进行计算。

作业布置:练习二(1)、(2)、(4)。

第(1)、(2)两题可供课堂讨论。第(4)题可以要求学生在做完本题的全部解答后,再把其中各个小题的结果,顺次回顾一下,从而对牛顿在论证万有引力定律过程中的推理方法加深理解,这对培养学生的科学思维是很有好处的。

3. 《万有引力恒量的测定》

教材主要介绍万有引力恒量的意义和卡文迪许利用扭秤装置测定万有引力恒量 G 值的方法。卡文迪许第一次用实验证明了牛顿的万有引力定律是正确的。

本课时教学建议:

(1) 为了帮助学生理解卡文迪许实验装置及其测量方法,可以绘制扭秤装置的俯视图(图 5-1),有助学生了解。①采用两端各固定相等质量小球的T形架结构,可以获得较大的力偶矩,从而使石英细丝在微小作用力的条件下,能产生一

定的扭转变形（可联系课本第16页图1-11）。②为了把石英细丝发生的微小扭转变形的效应加以“放大”，在T形架的竖直杆上装有一块小平面镜，根据初中学过的光学知识，在入射光线方向不变的情况下，平面镜转动 θ 角时，反射光线将偏转 2θ 角。

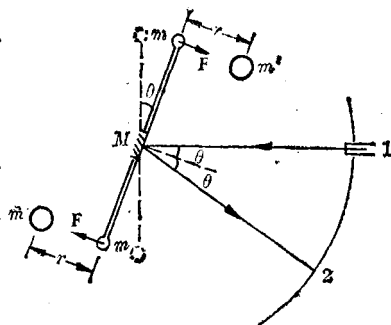


图 5-1

③根据弧长 s 、半径 R 与角度

2θ 的关系式 $2\theta = \frac{s}{R}$ ，可以看出，增大小平面镜与刻度尺之间的距离 R ，那么，光点在刻度尺上移动的弧长 s 就相应地增大。通过分析，让学生明确，正是由于扭秤装置进行了多次“放大”，因而能够对微小的作用力进行较为准确地测量（可联系课本第14页图1-10）。

（2）要引导学生认识，卡文迪许实验的重要意义在于：①他第一次测出了牛顿从理论上给出的万有引力恒量 G 的数值；②卡文迪许通过改变质量 m 和距离 r ，多次实验测得的 G 值都相等，从而也就从实验上证实了万有引力定律的正确性；③任何规律的发现，总是要经过理论上和实验上的大量工作和多次反复才能完成的。

（3）在教学中要引导学生认识万有引力恒量 G 的意义，要指出 G 是普适恒量与开普勒定律中的 k 有所不同。

作业布置：练习二（3）。

4. 《万有引力定律在天文学上的应用》

本节教材首先指出万有引力定律是研究天体运动的重要理论基础,万有引力定律的发现,对天文学的发展起了很大的推动作用。教材列举了应用万有引力定律计算天体质量和发现新行星的具体事例,从而进一步说明了万有引力定律的正确性,并显示了它对研究天体运动的重要意义。

本课时教学建议:

(1) 要引导学生认识,由于卫星(或行星)围绕天体的运动可以近似地看作是匀速圆周运动,所以可以用圆周运动的动力学方法来研究卫星(或行星)的运动,它们所需要的向心力就是万有引力。

(2) 应用万有引力定律求天体的质量时,要引导学生根据具体情况进行具体分析并能灵活运用。一般说来,由于天体运行的周期和轨道半径比较易于测定,因而向心力的公式往往可以选用 $F_{\text{向}} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ [式中的 $F_{\text{向}}$ 就是天体对卫星(或行星)的万有引力],于是可得: $\frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2}$ 。可以结合本章末习题中的第(4)题,启发学生通过讨论对上式的物理意义有所认识。 $\frac{GM}{4\pi^2}$ 是一个跟卫星(或行星)无关的恒量,只跟它所围绕的天体质量 M 有关。

(3) 海王星和冥王星的发现,是天文学上的重要史实。它生动地说明了万有引力定律在天文学的应用方面所取得的重大成就。教学中要求学生认真阅读这部分教材,并引导学生认识理论与实践之间的辩证关系,理论的正确与否需要通过实践加以检验,而正确的理论对实践活动又有着巨大的指导作用。

作业布置:练习三(1)、(2);本章末习题(4)。

练习三第(1)题,要使学生了解什么叫近地点和远地点。本章末习题第(4)题可供课堂讨论。

5.《地球上物体重量的变化》

教材首先提出物体的重量是由地球引力产生的,但是在一般情况下两者并不相等。教材通过分析后指出,在地球表面物体的重量 mg 是地球对物体的引力的一个分力。这是本节教材分析地球上物体重量变化的基础。其次教材着重分析了地球上不同纬度的地方物体重量变化的原因和变化的趋势,以及重力加速度的变化情况。教材还指出了在同一纬度物体的重量、重力加速度还跟距地面的高度有关。教材在列举了具体数据后,说明物体的重量和重力加速度随着纬度、高度而变化的相对数值是比较小的,所以在粗略的计算中,常常不考虑这种变化。最后,教材指出物体的重量还受到地质结构的影响,并对利用重力异常现象进行探矿作了简要的介绍。

本课时教学建议:

(1) 在讲解物体的重量随纬度变化时,要利用课本图 5-4,着重说明二点:①明确地球表面的物体,在不同纬度处跟随地球自转时做圆周运动的圆心位置和圆的半径是不同的;②物体跟随地球自转做圆周运动所需的向心力是地球对物体的引力的一个分力,在不同纬度的地方,这个分力是不同的,所以另一个分力(即重量)也发生了变化。

另一方面,由于地球不是一个理想的球体,所以不同纬度处物体与地心间的距离也不是都相等的,从赤道到两极距离逐渐变小,所以地球对物体的引力 $F = G \frac{Mm}{R^2}$ 的大小从赤道

到两极是逐渐变大的。

(2) 在讲解地球表面的重力加速度随纬度的不同而变化时,可以引导学生复习第三章第六节《质量和重量》中的有关内容和附表,以便使学生对 g 值随纬度不同而变化的趋势有一感性认识。

(3) 要引导学生理解,既要认识 g 值和物体重量是随纬度的不同而改变,又要明确由于在地面附近, g 值和物体重量的这一改变量是很小的,所以在一般的粗略计算中,这种变化是可以忽略不计的。

作业布置:本章末习题(1)、(8)。

6. 《人造地球卫星》

本节教材是从平抛物体的落地点与水平初速的关系出发,进而得出人造地球卫星的环绕速度(第一宇宙速度),并介绍了第二宇宙速度和第三宇宙速度的数值和意义。接着教材叙述了人造地球卫星中的超重和失重现象。最后,教材介绍了人造地球卫星的应用。

本课时教学建议:

(1) 关于人造地球卫星在轨道上运行速度的计算,既要引导学生运用牛顿定律和万有引力定律来进行分析,又要引导学生认识,根据以万有引力作为向心力而得出的速度计算

式 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 常用于卫星在高空轨道上运行的速度的计算,

式中 r 是卫星的轨道半径,它等于地球半径 $R_{\text{地}}$ 与卫星高度 h 之和(高度 h 越大,卫星在轨道上运行的速度就越小)。根据以重力作为向心力而得出的速度计算式 $v = \sqrt{gR_{\text{地}}}$, 是卫星在地面附近,围绕地球作匀速圆周运动所必须具有的速度。在这

里,向心加速度就是地面的重力加速度,取 $g=9.8$ 米/秒²,卫星的轨道半径就认为是地球的半径,取 $R_{\text{地}}=6400$ 千米。

(2) 关于第二宇宙速度和第三宇宙速度,按照课本内容让学生了解就可以了,不必再作补充。

(3) 人造地球卫星中超重和失重的问题,可结合第三章的内容加以对比,其中卫星发射时在加速升高和返回大气层向下降落减速过程中的情况,与升降机中的超重情况相同;至于卫星在轨道上运行时的失重现象,教学中可联系圆周运动加以分析。

作业布置:练习四(1)、(2)、(3)。本章末习题(2)、(3)。通过练习四(2)和章末习题(3)的计算结果,要引导学生比较,卫星在轨道上运行的速度 v 和周期 T ,跟高度 h 有怎样的关系。

由 $F_{\text{万}}=F_{\text{向}}$, 得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$, 由于人造地球卫星作的是匀速圆周运动。因此, $T=\frac{2\pi(R+h)}{v}$ 。

三、参 考 资 料

1. 我国古代天文学成就资料选

东汉《尚书纬·考灵异》中记有:“地恒动不止,人不知,譬如人在大舟中,闭牖而坐,舟行不觉也”^{*}。书中明确提出了地动说的观点,约比哥白尼早 1300 年左右。

《书经》记有公元前 2137 年关于日食的记载。

公元前 2000 年我国已测定出木星绕天一周的日期为 12

* 见《太平御览》卷三十六,地部一,地上。中华书局出版,1963 年 12 月。

年。

公元前十四世纪殷代甲骨文已有日食和月食的常规记录。

公元前十二世纪殷末周初(根据月球的运行轨道)采用二十八宿划分天区以计时。

公元前 700 年,甲骨文已有关于彗星观察的记载。

公元前 613 年,我国首先发现哈雷彗星,比哈雷早 2300 年。

公元前 250 年,战国时已认识到日食、月食是天体之间相互遮掩现象。

公元前 134 年我国已经有了关于新星的详细记录,被各国公认为是世界上第一次新星记载。

公元前 100 年,西汉时发明测量天体赤道坐标的仪器——浑仪。

公元前 28 年,我国首先发现太阳系。

公元 1~2 世纪,东汉张衡制成浑天仪,并用以测得太阳和月球的角直径都是 0.5 度,黄道和赤道交角是 24 度,同时指出,月球是不发光的,月光是日光反射的结果。

公元十一世纪,我国宋朝沈括(1031—1095 年)在天文学上也有较大的贡献,1979 年国际上用沈括的名字命名了一颗新星,以纪念他对科学上的卓越贡献。

在月球上,百分之九十以上的“地形”是以各国著名科学家的名字命名的。其中有四个地形是以我国古代科学家——石申、张衡、祖冲之、郭守敬的名字命名的,这表明我国古代在天文学方面的研究在世界上占有重要地位。

2. 万有引力定律的推导

假设质量是 m 的行星环绕太阳做匀速圆周运动,它到太

阳的距离是 R ，周期是 T 。行星做圆周运动的向心力就是由引力 F 提供的，根据牛顿第二定律得到：

$$F = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R = \frac{4\pi^2 R m}{T^2}.$$

同时，根据开普勒第三定律可以得到：

$$T^2 = \frac{R^3}{k}.$$

所以，

$$F = 4\pi^2 k \frac{m}{R^2}.$$

我们已经知道太阳系的各个行星的 k 值都是一样的，所以 k 是一个与行星无关而只与太阳有关的量。设常数 $\mu = 4\pi^2 k$ ，那么，

$$F = \mu \frac{m}{R^2},$$

μ 也是一个只与太阳有关的量，叫做太阳的高斯常数。上式表明太阳对行星的引力和距离的平方成反比。

下面进一步说明 μ 的意义。根据牛顿第三定律，太阳同时也受到行星的引力，即

$$F' = \mu' \frac{M}{R^2},$$

μ' 是只与行星有关的量，叫做行星的高斯常数。 M 是太阳的质量。因为 $F = F'$ ，所以

$$\mu \frac{m}{R^2} = \mu' \frac{M}{R^2},$$

即

$$\frac{\mu}{M} = \frac{\mu'}{m} = G.$$

由于太阳的高斯常数与太阳质量之比等于行星的高斯常数与行星质量之比，因而可以设想 G 是一个与太阳和行星都