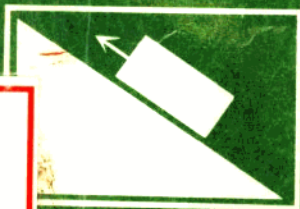


普通物理

力学习作课指导

$$F=MA$$



北京师范大学出版社

● 焦梦周 编

普通物理力学习作课指导

焦梦周 编

北京师范大学出版社

(京)新登字 160 号

内容简介

本书是为配合《力学基础》(该书由北师大物理系漆安慎、杜婵英编著,1987年获国家教委优秀教材一等奖)的教学编写的,作者总结和吸取了北京师范大学物理系力学教研室许多教师的宝贵经验和意见,结合自己在北师大物理系的教学实践编出本书。其内容包括:各章习作课的目的要求;对基本概念和规律的复习讨论;典型例题的分析、讲解;难题详解和对学生容易出错地方所作的简要说明。本书内容充实,讲解详细,可作为大专院校力学教学参考书,可供学习力学的大专学生和自学青年阅读,也可作为高中、中专物理教师的教学参考书。

普通物理力学习作课指导

焦梦周 编

*

北京师范大学出版社出版发行
全国新华书店经销
北京市门头沟印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 印张 12 字数 270 千
1993年12月第1版 1993年12月第1次印刷
印刷数:1—3000

ISBN7-303-0325-1/0·176 定价·9 50元

序 言

力学是物理系本科生入学后学习的第一门基础课。学好力学对于顺利完成物理系全部本科生专业课程的学习颇有益处。作习题是学好力学的重要环节之一,不仅有利于巩固概念,还有利于提高分析解决问题的能力。因此,上好习题课是力学教学所必须的。

焦梦周先生多年从事力学教学,有丰富的教学经验。在他所编写的这本普通物理力学学习作课指导中,配合“力学基础”一书的教学,就各组习作课的基本要求、复习概念、提问讨论、解题示范以及初学者容易感到困惑的问题都给予了较为透彻的剖析和详尽的讲解。焦梦周先生在编写本书时,吸收了许多老师的教学经验,因此本书对于师范院校和其它高等院校的力学教学确有参考价值。

教师使用任何一本教材都不会也不应照本宣科。教师要讲自己的见解,要根据学生的具体情况因材施教。习作课的内容,采用什么方式进行,在很大程度取决于教师的爱好和学生的情况。因此,这本书主要是为从事力学教学的同事们提供参

漆安慎

1993年6月15日

目 录

前言	(1)
第一章 质点运动学	(4)
习作课一	(4)
习作课二	(28)
第二章 牛顿运动定律	(55)
习作课三	(55)
第三章 动量定理和动量守恒定律	(94)
习题课四	(94)
第四章 功和能与碰撞问题	(130)
习作课五	(130)
第五章 角动量	(180)
习作课六	(180)
第六章 刚体力学	(205)
习作课七	(206)
习作课八	(228)
第七章 固体的弹性	(279)
第八章 振动	(289)
习作课九	(289)
第九章 波动和声	(328)
习作课十	(328)
第十章 流体力学	(362)
习作课十一	(362)

前 言

普通物理是物理系学生的一门重要基础课,通过这门课的学习,要使学生对物质运动的规律建立起全面的、系统的概念和较清晰的物理图象。普通物理力学是普通物理的一个重要组成部分,它所阐明的概念、规律和研究方法是带有普遍性的,是学习后续各门物理课程必不可少的,也是一个物理科学工作者或物理教师应当掌握的。因此,力学是物理学的基础,作为物理系的学生应当努力学好它。美国的《伯克利物理学教程》中“致学生”里曾说:“大学物理课的头一年一向是最困难的,在这一年里,学生要接受的新思想、新概念和新方法,比在高年级或研究生院的课程中还要多。一个学生如果清楚地理解了力学中所阐述的基本物理内容,即使他还不能在复杂情况下运用自如,他也已经克服了学习物理的大部分真正的困难了。”这段话清楚地阐明了学习力学的重要性。但是刚刚步入大学生活的一年级学生,对于力学,特别是对质点力学部分,往往有“似曾相识”的感觉,因而在学习时,对它缺乏足够的重视。同时,不少学生又常常保留着中学的解题习惯,不太会按照大学普物力学的解题要求作题。鉴于上述情况,教师就要通过教学活动启发学生的学习积极性,通过严格的解题训练,使学生作题时努力作到思路清晰,逻辑严密,推理准确。为了达到这一目的,习作课是必不可少的。

习作课是物理课堂教学的一个重环节,在习作课上,通过讨论问题、学生们自己作题和讲解典型例题,可以加深同学们

对基本概念和规律的理解,使同学们更准确、更深入、更完整地掌握基本理论,提高运用所学理论分析解决具体问题的能力,同时也通过严格的解题训练,培养同学们学习物理学的科学态度和良好的作风,为进一步的学习打下基础。

这本指导书是配合《力学基础》一书编写的。(该书是由我系漆安慎教授和杜婵英副教授编写,高等教育出版社出版的,1987年获国家教委优秀教材一等奖,不少高等学校用它作为力学教科书。该书还被指定为成人高等教育自学考试力学的主要参考书)。在力学课教学过程中,我们一般安排九至十一次习作课,除第七章弹性力学不上习作课,第十一章狭义相对论简介在力学课中暂不讲授外,其它各章都安排习作课,对内容较多的第一章(质点运动学)和第六章(刚体力学)一般各安排两次习作课。

为了提高习作课的教学质量,80年代初,我们教研室的负责人池无量副教授曾组织几位任课教师集体讨论,并由她执笔编写了《力学习作课教学资料》,其部分内容1982年曾在全国师专教师力学讲习班上作过讲授。在十年来的教学实践中,我们不断进行修改、补充,吸收了我们教研室漆安慎教授、杜婵英副教授、汪家华副教授、沈芳副教授、孙志铭副教授、胡静副教授、管靖和宋俊峰等教师的宝贵经验和意见,特别是池无量副教授又两次认真仔细地审阅了全稿,提了不少宝贵意见,并作了许多修改,才编成了这本指导书。我们力求作到结合教学的重点、难点和同学们容易出错的问题来编写,而不求面面俱到。我们适当多编选了一些内容,是为了使教师在讲习作课时能有所选择,并非写入的内容都是必须讲授的,特别在采用讨论式进行教学或让学生自己动手作题时更是如此。

虽然在编写过程中,作者参阅了一些书籍及资料,吸收了不少同志的宝贵意见,但由于编者水平和能力所限,难免会有不少错漏之处,恳请参阅本书的同行和同学们多多批评指正。

本书可供大学和中学物理教师、学习力学的大学、高中学生以及自学青年参考。

漆安慎教授为本书写了序言,北京师大出版社的王德胜社长、戴俊杰副编审和北京师大分校的李登祥老师对本书的出版给予了大力支持,张琳老师为本书绘制了全部插图,编者在此向他们深表谢意。

编者 一九九三年于北京师大物理系

第一章 质点运动学

教材中在讲述质点位置随时间的变动时,引入了矢量和微积分等数学工具,先讨论了质点运动学的一般概念和规律,再具体地研究了直线运动和曲线运动,同时讨论了在不同坐标系中对质点运动的描述。教师在讲课时往往是先补充讲解数学知识,然后就很快地用高等教学的方法来处理分析力学问题。由于本章讲授时数多,学生对数学内容比较生疏,初入大学的学生又不太适应大学里的教学方法,不少学生还保留着中学的解题习惯,作业很不规范,因此,就需要花费较多的时间来上习作课。本章一般安排两次习作课,在讲完§1.8平面直角坐标系·抛体运动后讲一次习作课,讲完全章后再上一次习作课。

习作课一

〔目的要求〕

1. 掌握矢量的概念及其运算法则。
2. 明确研究物体运动必须首先选取参考系,并在其上固结一定的坐标系,同时还要建立时间坐标系。
3. 明确质点运动学的核心问题是找出质点的运动学方程。掌握匀变速直线运动运动学方程的一般表示式。
4. 准确掌握速度、加速度的概念,区分其矢量表示、矢量投影和矢量的模。
5. 明确解题的步骤要求。

〔讲课内容〕

一、复习讨论

1. 什么叫参考系? 研究物体的运动为什么要首先选取参考系? 质点能不能作参考系? 一个质点在一确定参考系中的运动学方程是不是确定的?

答: 参考系是与参考体相固连的整个延伸空间。参考体是用来确定物体的位置和描述其机械运动而选作标准的另一个不变形的物体。我们常以参考体表示参考系。

物体(质点)的运动是绝对的,但对运动的描述却是相对的。同一质点的运动,相对于不同的物体来说,其运动状态是不同的。为了用确定的语言来描述质点的运动,就必须首先确定质点的运动是对哪个物体而言的,也就是要首先选定描述质点运动的标准,即参考系。

不变形的物体可以作为参考系,物体在一定条件下又可以理想化为质点,那么是不是可以用质点作参考系呢?有的学生常写“以 O 点为参考系”或“以地心为参考系”,这样写可以吗?我们知道,质点是个仅仅有质量而没有形状和大小理想模型,因而对质点没有什么上下左右前后可言,只能说明物体距离它的远近,而不能用它来说明物体的方位。同时,在质点上也不能固结坐标系来定量描写物体的运动。待讲到非惯性系时还会知道,参考系也可以是转动的不变形物体。质点既然没有大小,当然也就无所谓转动了。由此可见,当以某物体作为参考系时,就不能忽略其大小而把它理想化为质点了。或者说,不能用质点作参考系。

为了定量描写物体相对参考系的位置和运动,就要在参考系上固结一个坐标系。对于一个确定的参考系,如果建立不

同的时空坐标系,同一质点相应于不同的坐标系,其运动学方程的形式也不同。质点的运动学方程可以提供质点运动的全部信息。为了在确定的参考系中有确定形式的运动学方程,就需要在选定的参考系中,建立一定的时、空坐标系。坐标系的建立是任意的,以便于解题为原则,但一经建立,在解题过程中,不加声明就不能再随意变更了。

2. 什么是计时起点? 什么是初始条件? 在质点直线运动的运动学方程 $x=10t+2t^2$ 中的计时起点是如何选取的? 若将计时起点提前 1 秒,运动学方程将变成什么样? 若将坐标原点沿 Ox 轴正向移动 2 米,运动学方程又如何?

答: 计时起点是时间坐标系的原点,即在研究问题时任意选定的 $t=0$ 的时刻。

初始条件是在确定质点的运动状况时,表示已知条件的一组或几组常数。例如若在某一特定时刻 t_0 , 质点的位置坐标为 x_0, y_0, z_0 , 速度为 v_{0x}, v_{0y}, v_{0z} , 此 x_0, y_0, z_0 和 v_{0x}, v_{0y}, v_{0z} 就是在确定质点运动学方程时的坐标和速度初始条件。如果质点作匀速直线运动, 已知 $t=t_0=1$ 秒时, 质点在 $x=x_0=1$ 米处, 显然该质点的运动学方程是 $x=1+v_x(t-1)$ [米], 这里的 $t=1, x_0=1$ 就是确定运动学方程时的坐标初始条件。在解题时, 根据初始条件可以确定积分常数, 进而确定物体的速度或运动学方程。

一般来说, 计时起点、初始条件中的特定 t_0 时刻和物体开始运动的时刻是三个不同的概念, 它们不一定是同一时刻。如果所研究的问题中给出的特定条件是物体在 t_0 时刻以速度 v_0 开始运动, 在研究问题时又把这个 t_0 时刻选为计时起点 (即 $t_0=0$), 那么三者就合而为一了。

由运动学方程 $x=10t+2t^2$ 知, 当 $t=0$ 时, $x=0$, 可见, 该方程是选取质点位于坐标原点的时刻为计时起点的。

若将计时起点提前 1 秒后的时间坐标系为 O' , 由于空间坐标系不变, 因此, 质点位于坐标 x 处的时刻在原来的时间坐标系中为 t , 而在改变计时起点以后的时间坐标系中应为 t' , t 与 t' 间的换算关系是

$$t' = t + 1, \text{ 即 } t = t' - 1. \quad (\text{见图 1-1})$$

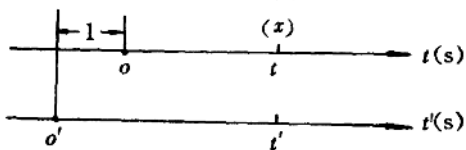


图 1-1.

将此关系代入原运动学方程中则得:

$$x = 10(t' - 1) + 2(t' - 1)^2 = 2t'^2 + 6t' - 8.$$

这就是计时起点提前 1 秒后的运动学方程。

同理可知, 当坐标原点沿 O_x 正向移动 2 米时, 新坐标系中的坐标 x' 与原坐标系中坐标 x 的换算关系为

$$x' = x - 2,$$

即 $x = x' + 2.$ (见图 1-2)

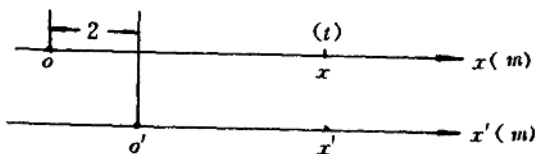


图 1-2

因此, 移动坐标原点后的运动学方程是:

$$x' = 10t + 2t^2 - 2.$$

通过本题可以进一步说明,同一质点的运动在不同的时、空坐标系中,其运动学方程的形式是不同的。因此,研究物体运动时,首先必须在选定的参考系中建立时、空坐标系。如果所研究的问题中涉及运动物体间的联系,也要在同一时、空坐标系中进行讨论,否则,对物体就没有共同的“语言”,因而也难以对运动进行比较。

3. 判断下列各表述是否正确:

(1) 平面直角坐标系中 $A+B$ 的大小为

$$A+B = \sqrt{(A_x+B_x)^2 + (A_y+B_y)^2}$$

(2) $\Delta r \cos \alpha = r_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cos \alpha_1$; (见图 1-3)

$$\Delta r \cos \alpha = r_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cos \alpha_1.$$

(3) 速率 $v = \frac{dr}{dt}$.

(4) 对图 1-4 所示情况有

$$a_x = g; \quad a_x = -g;$$

$$a = g; \quad a = -g.$$

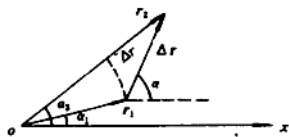


图 1-3



图 1-4

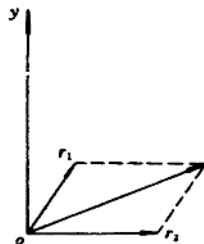


图 1-5

(5)图 1-5 所示各矢量在 O_x 轴上的投影间的关系是

$$r_y = |y_1| + |y_2|.$$

答:要注意一个矢量 A 既有大小,又有方向,其模 $|A| = A$,其投影 A_x, A_y 是代数量。

(1)矢量和 $A+B$ 仍是矢量,该矢量的大小即模应为 $|A+B|$,它不能写成 A 和 B 的模之和 $(A+B)$ 。因此,在平面直角坐标系中, $A+B$ 的大小应为

$$|A+B| = \sqrt{(A_x+B_x)^2 + (A_y+B_y)^2}.$$

(2)由图 1-3 可看出 $\Delta r = r_2 - r_1$, $\Delta r, r_1$ 和 r_2 , 是三个方向互不相同的矢量。因此,第一个式子不正确。三个矢量在 Ox 轴上的投影满足关系式 $\Delta x = x_2 - x_1$, 亦即

$$|\Delta r| \cos \alpha = |r_2| \cos \alpha_2 - |r_1| \cos \alpha_1$$

$$|\Delta r| \cos \alpha = r_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cos \alpha_1$$

由于一般情况下 $|\Delta r| \neq \Delta r$, 即矢量增量的模不等于矢量模的增量,因而除去 r_1 与 r_2 方向相同的情况,第二个式子 $\Delta r \cos \alpha = r_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cos \alpha_1$ 也是不正确的。

(3)速率 v 是速度 \boldsymbol{v} 的绝对值,根据速度的定义有

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(r \hat{\boldsymbol{r}}) = \frac{dr}{dt} \hat{\boldsymbol{r}} + r \frac{d\hat{\boldsymbol{r}}}{dt},$$

一般情况下,单位矢量 $\hat{\boldsymbol{r}}$ 的方向是随时间变化的,因而 $\frac{d\hat{\boldsymbol{r}}}{dt} \neq 0$, 故上式中末项不等于零,由此可见

$$v = |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{dr}{dt} \hat{\boldsymbol{r}} + r \frac{d\hat{\boldsymbol{r}}}{dt} \right| \neq \left| \frac{dr}{dt} \hat{\boldsymbol{r}} \right| = \frac{dr}{dt}.$$

实际上,在平面直角坐标系中,

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2},$$

$$\text{而 } \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt} \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{1}{r} \left(x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} \right),$$

(4) a 是加速度 \mathbf{a} 的绝对值, 而 a_x 是 \mathbf{a} 在 O_x 轴上的投影。因此, a 不可能为负值。又因加速度 \mathbf{g} 与 O_x 轴反向, 所以 a_x 应为负, 可见四个式中正确的是 $a = g$, $a_x = -g$ 。

(5) r, r_1, r_2 在 O_y 轴上的投影分别应写为 y, y_1, y_2 , 三个投影间的关系是 $y = y_1 + y_2$ 。

不应把 y 写成 r_y ; y 是代数量, 不等于二投影的绝对值之和; y_1, y_2 也是代数量, 不应写成矢量。

说明: 有些物理量, 例如位移、速度、加速度、力、动量、角动量等是矢量。有些学生在学习力学过程中, 不注意区分矢量、矢量的模和矢量的投影, 因而经常出现这方面的错误。本题就是根据学生们在作业中出现较多的问题而编成的。通过本题的讲解, 以期使学生从开始学习力学起就认真注意这方面的问题。

4. 平均速度能不能准确描写运动的快慢和方向? 瞬时速度是如何定义的? 某瞬时质点的位置是确定的, 没有位置的变化, 怎么会有速度概念?

答: 平均速度的定义是 $\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$, 它可以说明作变速运动的质点在一段时间 Δt 内运动的方向和平均快慢程度, 它随 Δt 的大小不同而变化, 因而不能用以准确描写 Δt 内某一瞬时质点运动的快慢和方向。

当 Δt 取得非常小时, 与此极短时间间隔相应的仍是平均速度。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\Delta \mathbf{r}|$ 也趋于零, 但 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 却趋于一确定的大小和方向。定义位移与相应的时间间隔之比值的极限为瞬时速

度,即 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$ 。从数学上讲,瞬时速度是位置矢量对时间变量的导数。瞬时速度的定义是严格的,是相应于一个瞬时的速度,即从概念来说,不能把瞬时速度说成是极短时间内的平均速度。但在实际测量时,却是通过测量极短时间内的平均速度来作为瞬时速度的近似值。

在经典力学中,相应于某瞬时,质点的位置虽然是确定的,但是当质点的运动状况不同时,质点在这个确定位置时运动的快慢和方向却是不同的。由瞬时速度的定义知道, v 的大小为 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta r|}{\Delta t}$,相应于快慢不同的运动,这瞬时速率也有不同的确定值。瞬时速度的方向是平均速度的极限方向,它沿质点轨迹的切线并指向质点前进的方向。可见,速度的方向就是质点运动的方向。处于某一确定位置的质点,相应于其不同的运动状况,当然也会有不同的运动方向。由此可见,虽然某瞬时质点的位置是确定的,谈不上位置的变化,但对于不同的运动状况,却要用不同的速度来描述。

5. “质点作直线运动时,加速度为正,质点作加速运动;加速度为负,质点作减速运动。加速度减小时,速度也相应减小。”这种说法对不对?

答:这种说法不一定对。

首先要明确:加速度的正或负,是由加速度的方向与坐标轴的正方向一致或相反来决定的;加速或减速运动是指速度的绝对值增加或减小;加速度的大小表示速度变化的快慢程度,它与速度的大小是两个不同的概念。

质点作加速或减速运动,取决于速度和速度增量两个因素,当作直线运动质点速度的正负和速度增量的正负一致时,

质点作加速运动,反之,质点作减速运动。而速度增量的正负与加速度的正负是一致的,因此,加速或减速运动要由加速度与速度的正负是否一致来决定,即加速度与速度的方向相同时,质点作加速运动,反之,质点作减速运动。例如,当质点作匀变速直线运动,在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间间隔内,速度由 v_{1x} 变为 v_{2x} 时,则 $v_{2x} = v_{1x} + a_x(t_2 - t_1) = v_{1x} + \Delta v_x$,由此可见, v_{1x} 与 a_x 符号相同(即 v_{1x} 与 Δv_x 符号相同)时, $|v_{2x}| > |v_{1x}|$,质点作加速运动。反之,质点就作减速运动。

从同学们熟悉的竖直上抛运动来看,如选 O_x 轴的正方向朝下,则 $v_x < 0, a_x > 0$, ($\Delta v_x = v_{2x} - v_{1x} > 0$) 质点加速度为正,但质点的运动是大家熟知的减速运动。(见图 1-6)

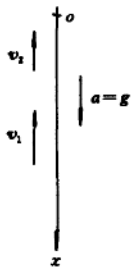


图 1-6

由上可知,绝不能单由加速度的正负来说明质点作加速或减速运动。在质点直线运动中,只要加速度 a_x 与速度 v_x 的符号相同,即加速度与速度方向一致,不管加速度如何变化,质点也总作加速运动。在这种情况下,加速度减小时,速率也仍是增大的。若 a_x, v_x 同为正,则速度 v_x 总是增大的;若 a_x, v_x 同为负,则 $|a_x|$ 减小时, $|v_x|$ 也总是增大的。如对代数量进行比较,则这种情况下, a_x 减小时, v_x 也减小。如 a_x 为负, v_x 为正,则 a_x 减少时, v_x 也减小。但 a_x 为正, v_x 为负时, a_x 减小, v_x 将增大。可见,“加速度减小时,速度也相应减小”的说法不一定对,可以出现加速度减小而速度不断增加的情况。