

青年自学丛书

物理基础知识

(下 册)

上海师范大学物理系 编

上海人民出版社

物理基础知识

(下 册)

上海师范大学物理系 编

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 13.25 字数 290,000

1976年5月第1版 1977年11月第2次印刷

统一书号: 13171·170 定价: 0.69 元

毛主席语录

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。

农村是一个广阔的天地，在那里是可以大有作为的。

《青年自学丛书》编辑说明

伟大领袖和导师毛主席教导我们：“知识青年到农村去，接受贫下中农的再教育，很有必要。”广大知识青年，响应毛主席的号召，奔赴农村，奔赴祖国的边疆，朝气蓬勃地战斗在三大革命运动的第一线，坚定地走工农相结合的道路，对普及大寨县，建设社会主义新农村作出了贡献，一代革命青年正在茁壮成长。

在英明领袖华主席的领导下，我国广大青年，继承毛主席遗志，高举毛主席的伟大旗帜，坚持党在社会主义历史阶段的基本路线，抓纲治国，继续革命。为建设社会主义的现代化强国而奋斗。按照毛主席关于“要关怀青年一代的成长”的教导，为了适应广大上山下乡知识青年自学的需要，特编辑、出版这套《青年自学丛书》。丛书以马列主义、毛泽东思想为指导，内容包括哲学、社会科学、文学、自然科学的一些基本知识。我们希望，这套丛书的出版，能对知识青年的学习起积极作用，有助于他们进一步提高政治觉悟和科学文化水平，在又红又专的道路上阔步前进。

我们对大力支持这套丛书的出版工作的有关单位和作者，表示衷心的感谢，并欢迎广大读者对这套丛书提出批评和建议，以便改进。

上海人民出版社

目 录

第三编 声学基础

第九章 振动和波	2
第一节 简谐振动的基本规律	2
第二节 简谐振动的合成	16
第三节 阻尼振动和受迫振动	21
第四节 波的产生和传播规律	25
第五节 乐音	35
第六节 声波的反射和吸收	38
第七节 超声波	40
复习题	43

第四编 电 磁 学

第十章 电荷和电场	46
第一节 基本电现象	46
第二节 电的本质	51
第三节 电场 电场强度	54
第四节 电位	63
第五节 电场中的导体	72
复习题	80
第十一章 直流电	81

— 1 —

第一节	电流	81
第二节	导体的电阻	89
第三节	欧姆定律	95
第四节	直流电路	100
第五节	电与热的相互转化	114
复习题		121
第十二章	电流和磁场	123
第一节	磁场	123
第二节	几种通电导体的磁场	134
第三节	磁介质	139
第四节	磁场对电流的作用	146
第五节	电工测量仪表的作用原理	150
第六节	在磁场中运动的带电粒子	162
复习题		168
第十三章	交流电	171
第一节	电磁感应	172
第二节	交流电的产生	186
第三节	几种简单的交流电路	202
第四节	电动机原理	224
第五节	变压器	235
复习题		240
第十四章	晶体管基础知识	242
第一节	半导体	242
第二节	<i>PN</i> 结及其特性	247
第三节	晶体二极管的特性和参数	251
第四节	晶体二极管整流电路	253
第五节	晶体三极管	259
第六节	晶体三极管的静态工作点和偏置电路	268
第七节	晶体三极管在工农业生产中的简单应用	273

复习题	279
第十五章 无线电基础知识	280
第一节 电磁振荡和电磁波	280
第二节 电磁波的发送和调制	288
第三节 无线电接收机原理	292
第四节 超外差式晶体管收音机	297
复习题	308

第五编 光 学

第十六章 几何光学	311
第一节 光度学	311
第二节 光的直线传播	321
第三节 光的反射	326
第四节 光的折射	337
第五节 透镜成象	348
复习题	367
第十七章 光的本性	369
第一节 光的干涉	369
第二节 光的衍射	383
第三节 光的电磁本性	391
第四节 光电效应	398
第五节 光的波粒二象性	403
复习题	409
附录 习题答案	410

第三编 声学基础

敲锣打鼓时,如果用手接触锣面和鼓皮,可以发现它们都在振动。一切正在发声的物体都在振动,这种振动叫做声振动。那么我们又是怎样听到远处的锣鼓声的呢?这是因为锣面或鼓皮的振动引起了周围空气的振动,振动的空气又由近及远地一层层地依次振动起来,最后我们耳边的空气也振动起来了,从而使耳内的鼓膜也发生了振动,再传到内耳,刺激了听觉神经,我们就听到了声音。声振动在介质(如空气、水等)中的传播叫做声波。由此可见,振动和波有着密切的联系。波是振动在物体中的传播;而振动是波的根源。

毛主席教导我们:“人的认识物质,就是认识物质的运动形式”。在物质世界中,振动和波也是一种十分普遍的运动形式。声振动和声波都属于机械振动和机械波的范围。此外象交流电、电磁振荡、无线电波、光波等,它们同机械振动和机械波虽然在本质上完全是两回事,但是它们的某些特征和它们所遵循的某些规律却同机械振动和机械波有着十分类似的地方。因此掌握振动和波的一般规律对今后学习电学、光学也是有帮助的。

本编是在研究振动和波的一般规律的基础上介绍一些有关声学的基础知识及其在工农业生产技术上的应用。

第九章 振动和波

振动和波的知识是学习声学的基础。本章先从最简单的简谐振动讲起,分析它的运动规律,介绍描述振动的物理量和反映振动变化规律的振动方程,并简单介绍振动的迭加性以及受迫振动的共振现象。接着以水波和声波为例,进一步分析波的产生条件和传播方式以及波长与频率、波速间的关系。然后分析乐音的三个特性——音调、响度和音色,分析声波的反射和被介质所吸收的规律。最后简单介绍超声波的特性及其在工农业生产技术上的一些应用。

第一节 简谐振动的规律

一、简谐振动

什么是振动呢?用绳子悬挂在铁钉上的重物,只要轻轻一推,它就左右来回地摆动不停;在挑担时,我们会感到扁担在上下颤动着;拖拉机在运转时,活塞也在汽缸里作来回的往复运动。一般说来,物体在某一平衡位置附近的往复运动叫做机械振动,简称振动。其实振动的现象是很普遍的。火车在过桥时,桥梁在振动;脱粒机的马达在转动时,机座和地基都在振动;一切正在发声的物体都在振动。

“就人类认识运动的秩序说来,总是由认识个别的和特殊的事物,逐步地扩大到认识一般的事物。”下面先来分析一种

最简单而特殊的振动。

将一根螺旋弹簧上端固定,下端系一重物(图 9.1), 这样所组成的系统叫做弹簧振子。起初, 由于重物的重力和弹簧对重物的弹力相互平衡, 因此重物处于它的平衡位置 O 点静止不动(图 9.1a)。如果把重物往下拉到 B 点再放开(图 9.1b), 重物就开始在平衡位置 O 附近的 B 、 C 两点间不停地上下振动起来。

为什么重物会上下振动不停呢? 仔细分析重物的受力情况可以看出, 重物始终受到重力和弹簧的弹力作用。为了使问题简单,

我们假设弹簧在振动过程中始终处于拉伸状态, 因而弹簧对重物的弹力作用方向始终向上, 而重物所受的重力方向却始终向下。弹力和重力构成一对矛盾。虽然重力的大小保持不变, 但由于弹簧的长度时刻在变化, 故重物所受的弹力大小也时刻在变化。通常把重物所受弹力与重力的合力叫做弹簧的恢复力, 它的方向总是指向重物的平衡位置, 企图使重物回到平衡位置。

当重物被往下拉到 B 点时, 弹簧由于更被拉长, 重物受到的弹力因而也增大而超过重力, 成了矛盾的主要方面, 从而使重物所受的恢复力的方向向上, 开始向上作加速运动。随着重物的上升, 弹簧的伸长逐渐减小, 弹力也随之而减小, 因此恢复力在逐渐减小着, 重物向上运动的加速度在变小。等重物回到 O 点时, 弹簧的弹力已减小到和重力相平衡, 即恢复

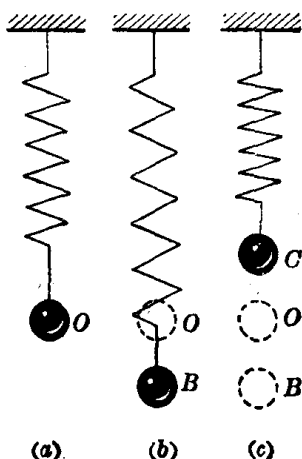


图 9.1 弹簧振子的振动

力减小为零。这时重物的加速度虽为零，但速度却已增大到它的最大值，因此重物不会停止在 O 点而要继续上升。在重物越过 O 点后，弹簧的伸长由于更为减小，重物受到的弹力也更为减小而小于重力。这时重力就成了矛盾的主要方面，因而重物所受恢复力的方向向下，对重物的继续上升起了阻碍作用，使重物作减速运动。随着重物的继续上升，弹簧的伸长越来越小，弹力随着而变得更小，起阻碍作用的恢复力却越来越大，终于迫使重物在到达 C 点时速度减小为零，不再继续上升（图 9.1c）。接着重物又在这个方向向下的恢复力的作用下开始向下作加速运动。与前面分析的情况一样，重物在回到 O 点时并不停止而要继续下降，此后弹力又超过了重力而成为矛盾的主要方面，开始阻碍重物继续下降，直到 B 点为止。重物以后的运动是不断重复上述过程。由此可知，正是在这两个相互联系又相互对立斗争的重力和弹力的作用下，弹簧振子就在平衡位置 O 点上下往复地振动不停。

重物在振动过程中，如图 9.1 所示，每当由平衡位置 O 点向上运动到 C 点，再经过 O 点而向下运动到 B 点，又回到 O 点，这样我们就说它完成了一次全振动。以后的振动不过是这个过程的重复。如果不存在其他阻力，物体每完成一次全振动所需的时间总是相等的。通常把振动物体每完成一次全振动所需的时间叫做振动的周期，用字母 T 表示，单位是秒；而把振动物体在单位时间内完成全振动的次数叫做振动的频率，用字母 f 表示，单位是次/秒，又称赫芝（Hz）。

很明显，如果物体每秒钟完成了三次全振动，它的振动频率 f 就是 3 赫芝，而它的振动周期 T 就是 $1/3$ 秒。可见振动的周期与频率存在着倒数关系。即

$$T = \frac{1}{f}. \quad (9.1)$$

周期和频率都反映了物体振动的快慢程度。

振动物体离开平衡位置的最大位移叫做振动的振幅，通常用字母 A 表示。例如在图 9.1 中，重物的振幅 A 就等于 OB 或 OC 的长度。振幅反映了物体振动范围的大小。

必须指出：上面所讨论的重物所作的振动并非匀加速运动，因为它的加速度不是一个常量，而是一个大小和方向都在变化的量。下面来具体讨论重物加速度的变化规律。为了简单起见，我们在讨论中略去重物在振动过程中所受的阻力和弹簧本身的质量。设弹簧振子的平衡位置 O 点为坐标轴的原点（图 9.2c）。根据弹簧的性质，可以证明重物在振动过程中，弹簧的恢复力 F 是与重物对于平衡位置 O 点的位移 y 成正比*，即

$$F = -Ky, \quad (9.2)$$

式中 K 是弹簧的倔强系数，它决定于弹簧的材料、粗细和原长等。在米公斤秒制中，它的单位是牛顿/米。但由于恢复力 F 与位移 y 的方向始终相反，故在考虑力的方向后，它们的关

* 假设弹簧原长为 l_0 ，在平衡位置时的长度为 l （图 9.2a、b），即弹簧伸长 $l-l_0$ 。根据弹簧弹力与其形变成正比的关系，可以列出

$$F_{\text{弹}} = K(l-l_0).$$

同时因为弹簧恢复力 F 是弹簧弹力 $F_{\text{弹}}$ 和重物所受的重力 P 的合力，因此当重物在平衡位置时，弹簧的恢复力 F 应为零，即

$$F = F_{\text{弹}} - P = K(l-l_0) - P = 0,$$

故 $P = K(l-l_0).$

当重物到达平衡位置 O 点下方某一点 N 时，此时弹簧形变增大为 $l-l_0+y$ ，而 y 就是重物这时对于 O 点的位移。于是可以列出这时弹簧的弹力

$$F'_{\text{弹}} = K(l-l_0+y),$$

而这时弹簧的恢复力

$$F = F'_{\text{弹}} - P = K(l-l_0+y) - K(l-l_0) = Ky.$$

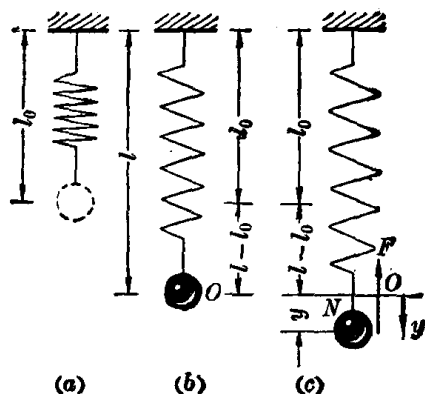


图 9.2 恢复力与位移的关系

系应为

$$F = -Ky. \quad (9.3)$$

再把运动定律公式 (2.29) 代入, 得

$$ma = -Ky,$$

因此重物在振动过程中加速度的变化规律为

$$a = -\frac{K}{m}y, \quad (9.4)$$

式中 m 是振子(重物)的质量。对于任何弹簧振子说来, K 、 m 都有确定的正值, 因此设

$$\omega^2 = \frac{K}{m}, \quad (9.5)$$

那么弹簧振子加速度的变化规律就可以写作

$$a = -\omega^2 y. \quad (9.6)$$

凡是加速度按上述规律变化的运动就叫做简谐振动。或者说, 在简谐振动中, 物体的加速度与它的位移成正比, 但方向与位移相反, 总是指向平衡位置。这就是简谐振动的基本特征。

简谐振动是最简单最基本的振动, 任何复杂的振动都可

* 有关 ω 的物理意义将在后面讨论。

以看作是由几个或许多个频率和振幅都不同的简谐振动的迭加。因此仔细研究简谐振动的基本规律也是研究复杂振动的基础。

二、简谐振动方程

简谐振动方程是描述作简谐振动物体的位移随时间怎样变化的关系。要了解弹簧振子在各个不同时刻的位置就必须知道它的简谐振动方程。一般说来,简谐振动方程完全可以根据简谐振动的基本特征 $a = -\omega^2 y$ 直接推导出来,但利用运动的迭加原理来得出更直观、更方便。

在生产实践中,我们经常会看到使转动和往复直线运动相互转化的传动装置,如图 9.3 所示。图中滑块 M 是在作以 O 为圆心的匀速圆周运动。整个水平杆 L 却在作水平方向上的往复直线运动,同时滑块又可看作在框架中作铅直方向上的往复直线运动,这表明滑块 M 的匀速圆周运动是由水平和铅直方向上的两个往复直线运动迭加而成的。可见振动和圆周运动间存在着密切的联系。进一步的探讨表明:当滑块 M 在以 A 为半径的圆周上作角速度为 ω 的匀速圆周运动时(图 9.4a), M 在铅直直径 BC 上的投影点 P 在作以 O 点为平衡位置的简谐振动。具体证明方法如下:

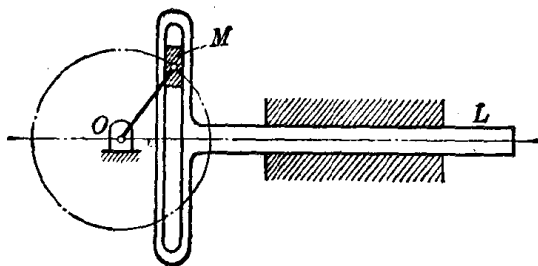


图 9.3

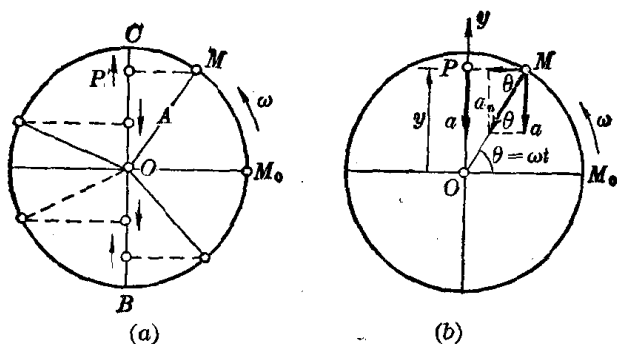


图 9.4 匀速圆周运动与简谐振动的关系

根据匀速圆周运动的加速度公式(2.16)和线速度与角速度的关系公式(2.27),可得到 M 作匀速圆周运动时的向心加速度

$$a_n = \frac{v^2}{A} = \frac{A^2 \omega^2}{A} = A \omega^2,$$

式中 A 是圆半径, ω 是角速度, a_n 的方向指向圆心 O (图 9.4b)。而 M 的投影点 P 的加速度 a 是 a_n 的铅直分量, 即

$$a = a_n \sin \theta = A \omega^2 \sin \theta,$$

式中 $\theta = \omega t$, 是滑块 M 从 M_0 出发 t 秒后转过的角度 (角位移)。这时投影点 P 对 O 点的位移

$$y = OP = A \sin \theta,$$

代入上式得

$$a = -\omega^2 y,$$

式中负号表示 a 与 y 方向相反。这完全符合简谐振动的基本特征, 表明 P 点的运动是简谐振动。因此在具体分析 P 点的简谐振动时, 通常把以它的平衡位置 O 为圆心, 振幅 A 为半径的圆叫做参考圆, 而把 M 叫做参考点。根据 P 点的简谐振动就是 M 点的匀速圆周运动的铅直分运动的关系就可以把简谐振动方程列出来。

假设 P 点是从它的平衡位置 O 点开始向上作简谐振动

的, 同时参考点 M 在以 A 为半径的参考圆上从 M_0 点开始作角速度为 ω 的匀速圆周运动。经过 t 秒后, M 转过 θ 角 ($\theta = \omega t$), 而 P 点同时到达图 (9.4b) 的位置。于是可以列出 P 点这时的位移 y 随时间 t 变化的关系式:

$$y = OP = A \sin \theta,$$

即

$$y = A \sin \omega t, \quad (9.7)$$

这就是简谐振动方程的最简形式。

假设 P 点是从铅直直径上某一点 P_1 开始作简谐振动的 (图 9.5), 它的参考点 M 就相应地从圆周上 M_1 点开始作匀速圆周运动。设 $\angle M_1OM_0 = \varphi^*$, 显然经过 t 秒后, M 转过的角度 (OM 与水平线所夹的角) $\theta = \omega t + \varphi$, 这时 P 点的位移随时间 t 变化的关系式:

$$y = OP = A \sin \theta,$$

即

$$y = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (9.8)$$

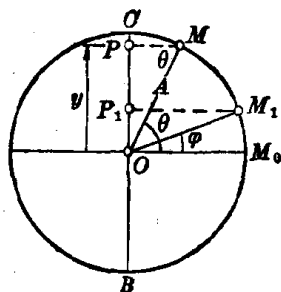


图 9.5

这就是简谐振动方程的一般形式。式中角度 $(\omega t + \varphi)$ 叫做简谐振动的相位角, 单位是弧度**; 其中角度 φ 是简谐振动在 $t=0$ 时的相位角, 叫做初相位。相位角反映了作简谐振动物体的位置和运动状态 (包括运动状态变化的趋势)。例如当相位角等于 0 或 π 时, 虽然 P 点都在它的平衡位置 O 点上, 但两者运动状态不同, 相位角等于零时, P 点的加速度等于零而速度为最大, 并将向上运动; 而相位角等于 π 时, 同样 P 点的加速度为零而速度也为最大值, 但它将向下运动。初相位反

* φ 是希腊字母, 读作“fi”。

** 有关弧度的定义详见上册第 74 页。

映了物体在开始作简谐振动时的位置和运动状态。因为 $\sin(\omega t + \varphi)$ 只能在 $+1$ 和 -1 的范围内变化，不论时间 t 如何增大，位移 y 只是在 $+A$ 和 $-A$ 之间变化，因此 A 是简谐振动的振幅。

根据简谐振动方程可以看出作简谐振动的物体的位移随时间变化的关系正是正弦函数的关系。这一关系还可以用图 9.6 的装置通过图线直接显示出来。图中的弹簧振子就是由一根铅直悬挂着的弹簧和系在下面的重物 P 构成的。在重物 P 上装有小笔，匀速转动的卷筒使纸条沿水平方向匀速移动，笔尖就把重物 P 的位置记录在此纸条上。于是当重物在作简谐振动时，在纸条上就直接显示出一条正弦曲线。很明显，曲线上各点的纵坐标就是重物 P 在各个时刻 t 的位移。这条曲线生动地表明了简谐振动的位移随时间变化的详细过程。通常把它叫做振动图线。从图线上可以看出任何一点的位移值在每隔一定时间 T 后都会重复出现一次，表明简谐振动是一种周期运动。这个使位移值重复出现的最小时间间隔 T 就是简谐振动的周期。

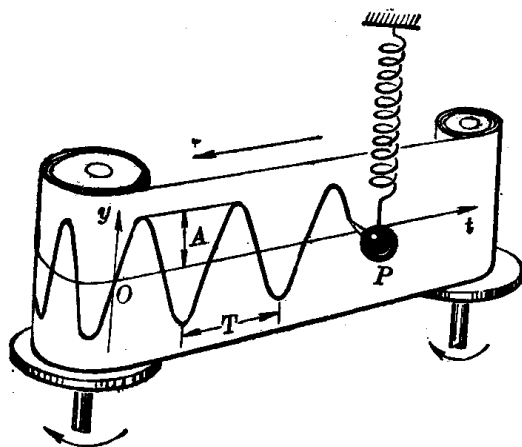


图 9.6