

全国医学专科学校试用教材

◀ 供医学专业用 ▶

医 用 物 理 学

桂林医学专科学校主编

人 民 卫 生 出 版 社

全国医学专科学校试用教材

(供 医 学 专 业 用)

医 用 物 理 学

主 编 单 位

桂林医学专科学校

编 写 单 位

武汉冶金医学专科学校

恩施医学专科学校

桂林医学专科学校

审 阅 单 位

中国医科大学

人 民 卫 生 出 版 社

医 用 物 理 学

桂林医学专科学校 主编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京市崇文区天坛西里10号)

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 9¼印张 209千字

1981年7月第1版第1次印刷

印数：1—20,500

统一书号：14048·3919 定价：0.76元

编写说明

本书是由卫生部组织编写的教材，供医学专科学校医学专业使用。

根据医学专科学校医学专业的培养目标，本书内容着重阐明学习医学所需的物理基本理论和基本知识。

在编写过程中，对于中学已学过的内容，只作必要的衔接，一般不作重复。内容的选择也注意到循序渐进，由浅入深，理论联系实际，培养学生分析问题和解决问题的能力。物理学研究成果已广泛应用于现代医学，本书根据医专教学实际，也作了适当介绍。

本书各物理量的单位采用国际单位制。为便于读者参考，将本书涉及各物理量的国际制单位作为附录附于书末。书末还附有一些常用的物理常数。

本书系按照 39~45 学时编写的，使用时可根据各校教学具体情况作适当调整。

本书由桂林医学专科学校主编，武汉冶金医学专科学校、恩施医学专科学校编写，由中国医科大学霍纪文、曲直、赵恒德、王秀章、金厚家、黄文沅诸位老师审阅。

由于编者水平有限，实际经验不足，书中难免存在缺点错误，诚恳希望各校在使用过程中，提出宝贵意见，以便今后修订提高。

编者

1980年4月

目 录

绪论	1
第一节 物质和运动	1
第二节 物理学研究的内容和方法	1
第三节 物理学与医学的关系	2
第一章 振动和波	3
第一节 谐振动	3
一、谐振动方程	3
二、谐振动的振幅、频率和位相	4
三、谐振动的能量	7
四、谐振动的合成	7
第二节 波	9
一、波的形成	9
二、波的传播	11
第三节 声波	12
一、声波的传播	12
二、声音的客观和主观特性	13
三、乐音和噪音	14
四、声强级和听觉域	14
第四节 超声波	16
一、超声的产生和性质	16
二、超声对物质的作用	16
三、超声诊断	17
习题一	17
第二章 液体的流动	19
第一节 理想液体的稳定流动	19
一、理想液体的概念	19
二、液流连续原理	20
三、柏努利方程	20
四、柏努利方程的应用	22
第二节 实际液体的流动	24
一、液体的粘滞性	24
二、泊肃叶方程	24
第三节 血液的流动	26
一、血流速度	26
二、血流过程中血压的分布	27
习题二	28
第三章 热运动的基本知识	29

第一节 分子的热运动与分子力	29
一、分子的热运动	29
二、分子力	30
第二节 气体压强	30
一、理想气体的压强	30
二、气体的分压	31
第三节 液体的表面性质	33
一、表面张力	33
二、弯曲表面的附加压强	34
习题三	36
第四章 电和磁	37
第一节 电场	37
一、电场	37
二、电场强度	37
三、电势	39
四、电场强度与电势的关系	41
五、电偶极子的电场	41
第二节 电场中的电解质	43
一、电解质的极化	43
二、电解质对电场的影响	44
第三节 直流电	45
一、电源的电动势	45
二、闭合电路的欧姆定律	46
三、直流电桥	48
第四节 磁场 磁介质对磁场的影响	49
一、磁场	49
二、磁介质对磁场的影响	50
三、磁在医学上的应用	51
第五节 电磁波	52
一、电场与磁场的相互转化	52
二、电磁波	52
习题四	53
第五章 电子学基础	55
第一节 半导体的导电性	55
一、本征半导体	55
二、P型半导体和N型半导体	56
三、PN结	57
第二节 放大器	59
一、晶体三极管	59
二、晶体管单级放大器	63
三、晶体管多级放大器	71

第三节 振荡器	72
一、LC 回路中的电振荡	72
二、并联谐振	74
三、LC 振荡器	76
第四节 各种电流对机体作用简介	78
一、各种电流的主要性能指标	78
二、各种电流对机体作用简介	79
第五节 电子示波器	80
一、示波管	80
二、示波管的示波原理	82
三、整步	84
四、Y 轴放大器和 x 轴放大器	85
五、电源	85
习题五	86
第六章 波动光学	88
第一节 光谱	88
一、电磁波谱	88
二、光谱	88
三、红外线和紫外线	90
第二节 光的偏振和旋光	90
一、偏振光和自然光	90
二、起偏和检偏	91
三、旋光	93
第三节 光的干涉和衍射	94
一、惠更斯原理	94
二、光的干涉	95
三、光的衍射	97
第四节 光的颜色与光的吸收	98
一、光的颜色	98
二、光的吸收	99
三、比色法原理	100
第五节 波粒二象性	101
习题六	102
第七章 光学仪器	103
第一节 薄透镜成象	103
一、薄透镜	103
二、薄透镜成象	104
第二节 眼睛	105
一、眼的光学结构与成象	105
二、眼的分辨本领 视力表	106
三、异常眼	107

第三节 放大镜 检眼镜 纤镜	109
一、放大镜	109
二、检眼镜	109
三、纤镜	110
第四节 显微镜	111
一、显微镜的放大原理	111
二、显微镜的分辨本领	113
习题七	114
第八章 原子的核外结构	115
第一节 原子结构	115
一、原子的核式模型	115
二、玻尔的氢原子理论	115
三、电子壳层理论	118
四、量子力学的描述	120
第二节 激光	121
一、激光的发射原理	121
二、激光的特点	123
三、激光在医学上的应用	124
第三节 X射线	124
一、X射线的一般性质	124
二、X射线的产生	124
三、X射线的强度与硬度	127
四、X射线的吸收 X射线的剂量	128
五、X射线在医学上的应用	129
习题八	130
第九章 原子核的放射性	131
第一节 原子核的放射性	131
一、原子核的组成	131
二、原子核的放射性	132
三、放射性衰变定律	134
第二节 放射性同位素在医学上的应用和放射线的防护	136
一、放射性同位素在医学上的应用	136
二、放射线的防护	136
习题九	137
附录一 国际制单位	138
附录二 常见物理常数	140
附录三 希腊字母	140

绪 论

第一节 物质和运动

客观世界是由运动着的物质构成的。凡作用于我们的感官并引起感觉的客观实在，例如田地、树林、金属、空气、水、电、光、无线电辐射、X射线等等，都是**物质**。物质和运动紧密相关。科学的全部成就都证明，物质世界的一切都处于永恒的运动之中；“除了运动的物质以外，世界上什么也没有”。

物质的具体形态多种多样，总的来说可分为**实物**和**场**两大类。例如，电子、中子、质子、原子、分子以及由原子、分子构成的物体，属于实物；引力场、电磁场、核力场等属于场。实物与场这两类物质形态不可分割地联系在一起，如物体周围存在引力场，带电粒子周围存在电场，运动的带电粒子周围存在磁场，核子周围存在核力场，等等。实物之间的相互作用，都是通过场来传递的。在一定条件下，实物和场还可以互相转化。例如电子-正电子偶能转化为两个 γ 光子， γ 光子也可转化为电子-正电子偶，这是实物粒子(电子和正电子)和 γ 射线的电磁场之间的相互转变。

物质的运动形式也是多种多样的，“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”。物理运动、化学运动和生物运动等等，都是物质运动的不同形式。各种运动形式常是互相交错、互相渗透的，如生物运动中，一刻也不能离开物理和化学的过程。不同的运动形式还会在一定条件下互相转化。例如热引起燃烧，是物理运动转化为化学运动；经过漫长的物理和化学作用，出现了蛋白质，于是产生了生命的运动。

自然科学的任务，就是研究物质世界的客观属性和物质的运动规律，从而去利用自然，改造自然，使之为人服务。

第二节 物理学研究的内容和方法

各门科学是以各种不同的物质运动形式作为自己的研究对象的。在自然界及人类活动中经常见到的物质运动形式，是物质的机械运动、分子运动、电磁运动和原子运动等等。在一些比较高级、复杂的运动，例如化学运动、生物运动中，也包含这一类运动。所以，这些是物质最基本、最普遍的运动形式。物理学就是研究物质运动的这些最基本、最普遍的规律，以及它们在实际中的应用。

人类对客观物质世界的认识过程，是“实践、认识、再实践、再认识，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和认识之每一循环的内容，都比较地进到了高一级的程度”。对物理运动规律的认识也是如此。人们首先是在实践的基础上，即在观察自然现象和在人条件下进行实验使现象反复重演的基础上，获得对物理现象的感性认识。尔后经过分析、概括、判断和推理，把事物的本质和内在联系抽象到更一般的形式，产生说明物理现象的假说，使感性认识上升到理性认识。假说需要再经过实践来检验，如被证明能比较正确地反映客观规律，它就成为物理学的定律和理论。随着人们的继续实践和对物

质运动规律认识的深化，一些原来的物理学定律和理论表现出自己的局限性，从而又出现更为正确、深刻的物理学定律和理论。这就是再实践和再认识的循环往复过程。对物理学的研究，只有遵循这一辩证唯物主义的认识规律，才能不断取得成果，有所前进。

第三节 物理学与医学的关系

物质的各种运动形式是互相交错、互相渗透的，作为最基本、最普遍的物理运动，同样存在于有机体的生命运动中。因此，物理学与医学存在较为密切的关系。

物理学与医学的关系表现在这两个方面：

1. 物理学知识是深入了解人体生理过程和病理过程不可缺少的基础。例如，血液循环涉及流体力学知识，神经的兴奋传导、心电和脑电涉及电学知识，视觉的形成涉及光学知识，机体对能量的吸收、输运和利用，涉及热学知识，等等。当然，作为物质高级运动形式的生命现象，有其特有的基本特征及规律性，例如新陈代谢、遗传变异等等。物理运动渗透于生命现象之中，然而单纯用物理规律无法阐明全部复杂的生命现象。

2. 物理学所提供的理论、方法和技术，为医学研究、诊断治疗开辟了新的途径。例如，光学显微镜、X射线、探测人体生理活动中各种变化的医用电子仪器、各种电疗、磁疗器械以及放射性同位素等的应用，对促进医学发展，提高诊断、治疗水平，都起有重要的作用。近年来，激光、纤镜和电子计算机等在医学上得到日益广泛的应用。电子显微镜的应用，将医学由细胞水平推进到分子水平，使医学研究触及到生命现象的微观本质，从而有可能在诊断治疗中提供更可靠的依据。

在生物学已经达到分子水平的今天，各门医学科学都更多地将它们理论建立在物理学基础之上，物理学与医学的关系更为密切。为了学好医学课程和从事医疗卫生工作，掌握必需的基本物理知识，是十分必要的。

(桂林医学专科学校 黄慰怀)

第一章 振动和波

第一节 谐 振 动

一、谐振动方程

物体在一定位置附近来回往复的运动，称为**振动**。振动是自然界中很普遍的运动形式。例如，钟摆的运动，一切声源和超声源的运动，机器开动时各部份的微小运动，心脏的跳动等，都是机械振动。物理学中讨论的振动，不只限于机械振动，任何一个物理量在某一定值附近的反复变化都称为振动，如交流电中电流和电压的振动，交变电磁场的变化等。所有这些振动的物理本质虽然各不相同，但它们遵循共同的基本规律。

下面主要讨论最基本、最重要的振动——谐振动。

1. 谐振动的位移方程 设有一小球，装在水平转台的边缘上，如图 1-1 所示。用水平的平行光线照射小球，在与光线垂直的屏上得到一球影。当转台以匀角速度 ω 旋转时，小球作等速率圆周运动，而球影则在屏上沿直线段以变速度来回运动。下面我们就球影的运动来研究它的运动规律。作一以 O 为圆心、以 A 为半径的参考圆，如图 1-2 所示。质点 m 在圆周上以匀角速度 ω 沿逆时针方向运动，则 m 在 S 轴上的投影点 P 将以 O 点为平衡位置来回运动。在任一时刻，从 O 到 P 所作的矢量称为点 P 在这时的位移。我们用 s 表示矢量的量值，并规定：矢量向右时为正，向左时为负。

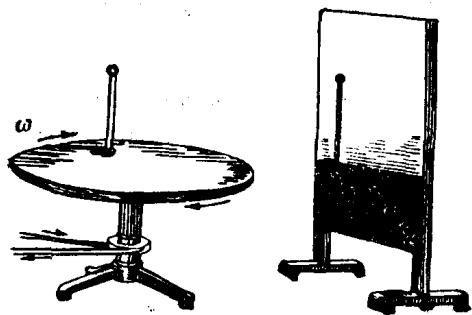


图 1-1 圆运动的投影

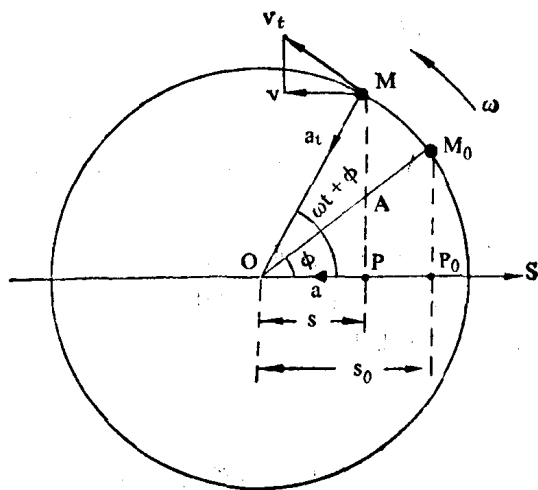


图 1-2 参考圆

设 $t=0$ 时，质点在 M_0 处，半径 OM_0 与 S 轴的夹角为 ϕ ；经过时间 t 后，质点到达 M 处，这时半径 OM 与 S 轴的夹角等于 $\omega t + \phi$ ，投影点 P 对平衡位置 O 的位移是

$$s = A \cos(\omega t + \phi). \quad (1-1)$$

上式表明 P 点的位移 (s) 是时间 (t) 的余弦 (或正弦) 函数。位移 s 的值在 $+A$ 和

-A之间周期性地变化。我们将振动物体对于平衡位置的位移 s 满足式 (1-1) 的运动, 称为**谐振动**。

由式 (1-1) 可作出谐振动的位移-时间曲线如图 1-3 所示。

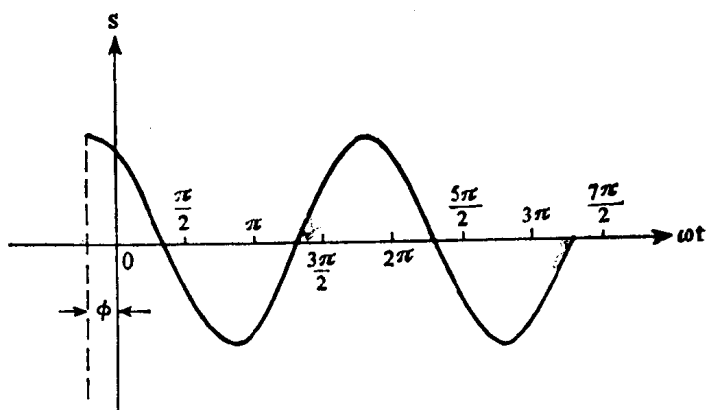


图 1-3 谐振动的位移-时间曲线

2. 谐振动的速度和加速度

质点 m 在作匀速圆周运动时, 它在 M 处的速度 $v_t = \omega A$

(沿切线方向); 它的加速度是

向心加速度, 其数值为 $a_t = \omega^2 A$ 。 m 点在 S 轴上的投影点 P 的速度 v 和加速度 a , 应该分别等于 v_t 和 a_t 在 S 轴上的分量。由图 1-2 可得

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi), \quad (1-2)$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)。 \quad (1-3)$$

由上两式可知, 质点(或物体)作谐振动时, 它的速度和加速度都随时间作周期性变化。式中 ωA 和 $\omega^2 A$ 分别是速度和加速度的幅值。

根据式 (1-1), 加速度公式又可写成:

$$a = -\omega^2 s。 \quad (1-4)$$

式 (1-4) 中 ω^2 是常量, 说明**谐振动的加速度和位移成正比, 而符号相反**。这是谐振动的运动学特征。

二、谐振动的振幅、频率和位相

在 $s = A \cos(\omega t + \varphi)$ 中, A 为作谐振动的物体离开平衡位置的最大距离, 称为**振幅**。

谐振度的基本性质是它的周期性。在参考圆上, 质点 m 旋转一周的时间就是 P 点在 S 轴上完成一个完全振动的时间。物体完成一个完全振动所需要的时间, 叫做**周期**, 用 T 表示(单位是秒), 且

$$T = \frac{2\pi}{\omega}。 \quad (1-5)$$

物体在一秒钟内所作的完全振动的次数称为**频率**, 用 ν 表示。周期的倒数就是频率。即

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (1-6)$$

单位是次/秒, 常称为赫兹。

由式 (1-5) 和 (1-6) 得:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu。 \quad (1-7)$$

ω 是一个与 ν 成正比的量, 等于 ν 的 2π 倍, 称为**圆频率**, 它是振动物体在 2π 秒内所完成的振动次数。在运算时, ω 比 ν 使用方便, 所以 ω 是一个重要的物理量。

根据式 (1-4) 和牛顿第二定律可知, 作谐振动的物体在任一瞬间所受的作用力为:

$$F = ma = -m\omega^2 s, \quad (1-8)$$

式中 m 是振动物体的质量。由于 $m\omega^2$ 是常量, 可见物体作谐振动时, 总是受到一个与位移成正比但方向相反的力的作用。

图 1-4 表示一个弹簧振子。弹簧的左端固定, 右端连接一根小球, 小球和弹簧都套在一个光滑的平杆上。小球在平衡位置 O 点时静止不动。如果我们把小球向左或向右拨动一下, 它就会在 O 点左右来回运动, 弹簧则时而被拉长, 时而被压缩。根据虎克定律, 在弹性限度内, 弹性力与弹簧被拉长或压缩的长度成正比。在上述例子中, 弹性力 F 与小球离开平衡位置 O 点的位移 s 的关系是:

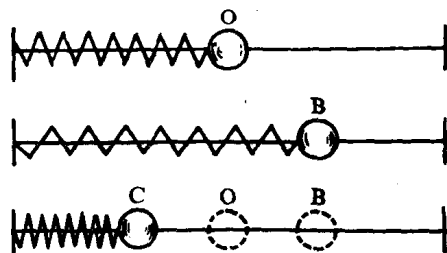


图 1-4 弹簧振子

$$F = -Ks. \quad (1-9)$$

式中 K 为弹簧的倔强系数; 对于给定的弹簧来说, K 是一个常量。负号表示弹性力 F 与位移 s 的方向相反。

比较式 (1-8) 和式 (1-9), 可知弹簧振子在弹性力作用下, 一定作谐振动, 并且

$$m\omega^2 = K, \\ \text{或} \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}. \quad (1-10)$$

由式 (1-5)、(1-6) 和 (1-10) 得

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}, \quad (1-11)$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}. \quad (1-12)$$

上式说明, 当振子在弹性力作用下作谐振动时, 它的周期和频率完全由振子本身的倔强系数 K 和质量 m 所决定。这种由系统本身的性质所决定的周期或频率称为**固有周期**或**固有频率**。

物体的运动状态是由位移和速度这两个物理量确定的。式 (1-1) 中的 $\omega t + \varphi$ 称为振动的**位相**, 它是一个决定振动物体运动状态的极为重要的物理量, 可以决定振动物体在时刻 t 的位置和运动方向。在一次完全振动中, 每一时刻的运动状态都是不同的, 这种不同就反映在位相的不同上。我们以图 1-4 的弹簧振子为例来说明:

当 $\omega t + \varphi = -\frac{\pi}{2}$ 弧度时, $s = 0$, $v = -\omega A$, 弹簧振子在平衡位置上以速度 ωA 向左运动。

当 $\omega t + \varphi = \frac{3\pi}{2}$ 弧度时, $s = 0$, $v = \omega A$, 弹簧振子也在平衡位置, 但以速度 ωA 向

右运动。

φ 是一个恒量, 表示振动在开始时 (即 $t=0$ 时) 的位相, 称为 **初位相**。它可决定振动物体在初始时刻的运动状态。

两个频率相同的谐振动 $s_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ 和 $s_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$, 它们的位相差 $\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_2) - (\omega t + \varphi_1) = \varphi_2 - \varphi_1$ 。若 $\Delta\varphi = \pm 2K\pi$ 弧度 ($K=0, 1, 2, \dots$), 则不论在什么时刻它们的位移方向和运动方向总是相同, 我们称这两个振动为**同相**。若 $\Delta\varphi = \pm (2K+1)\pi$ 弧度 ($K=0, 1, 2, \dots$), 则这两个振动物体的位移方向和运动方向总是相反, 我们称这两个振动为**反相**。

初位相 φ 等于零时, 谐振动的位移、速度和加速度的函数图象的比较如图 1-5 所示。从图中可以看出, 速度位相超前位移相 $\frac{\pi}{2}$ 弧度; 加速度位相超前位移相 π 弧度, 它们反相, 即加速度和位移同时达到最大值, 但它们的方向相反。

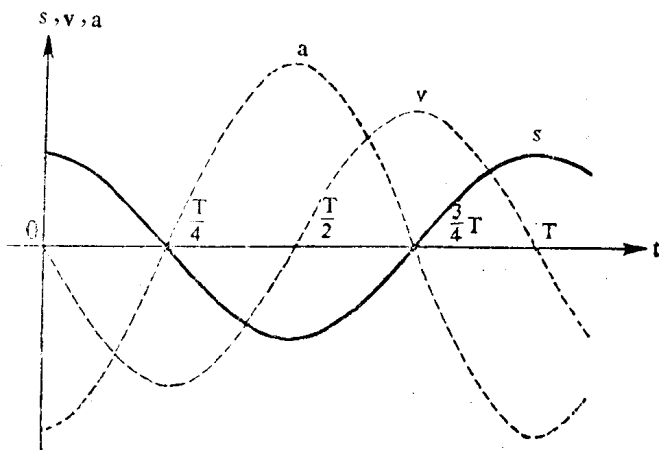


图 1-5 谐振动位移、速度和加速度的函数图象

〔例 1-1〕 一物体沿 S 轴作谐振动, 振幅为 10 厘米, 周期为 2 秒。当 $t=0$ 时, 位移为 5 厘米, 且向 S 轴的正方向运动。求: (1) 初位相; (2) 当 $t=0.5$ 秒时物体的位移、速度和加速度。

解: (1) 谐振动的方程为

$$s = A \cos(\omega t + \varphi)。$$

已知 $A = 10$ 厘米, $T = 2$ 秒, $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$ 弧度/秒。又由 $t=0$ 时, $s = 5$ 厘米, 可求得

$$\cos\varphi = \frac{1}{2},$$

所以

$$\varphi = \pm \frac{\pi}{3} \text{ 弧度}。$$

因为这时物体向 S 轴正方向运动, 所以应取 $\varphi = -\frac{\pi}{3}$ 弧度。

(2) 由上述可得

$$s = 10 \cos\left(\pi t - \frac{\pi}{3}\right),$$

$$v = -10\pi \sin\left(\pi t - \frac{\pi}{3}\right),$$

$$a = -10\pi^2 \cos(\pi t - \frac{\pi}{3})。$$

当 $t = 0.5$ 秒时，由上列各式可求得

$$s = 10 \cos(0.5\pi - \frac{\pi}{3}) = 10 \cos \frac{\pi}{6} = 5\sqrt{3} = 8.66 \text{ 厘米，}$$

$$v = -10\pi \sin(0.5\pi - \frac{\pi}{3}) = -10\pi \sin \frac{\pi}{6} = -5\pi = -15.7 \text{ 厘米/秒，}$$

$$a = -10\pi^2 \cos(0.5\pi - \frac{\pi}{3}) = -10\pi^2 \cos \frac{\pi}{6} = -5\sqrt{3}\pi^2 = -85.5 \text{ 厘米/秒}^2。$$

三、谐振动的能量

假设弹簧振子（图 1-4）在某一时刻的位移为 s ，速度为 v ，则振子此时不仅具有动能，而且具有弹性势能。从图中可以明显看出，当振子在平衡位置 O 时，势能最小，我们可以把这时的势能作为零。这时振子的速度最大，振动系统的能量全部是动能。当振子离开平衡位置时，位移增大，势能也增大，这时它的速度和动能相应减小；当振子的位移达到最大值时，势能最大，速度和动能都降为零。然后再往回运动，势能又逐渐变为动能。这样，势能和动能相互转换着；根据机械能守恒定律，若不考虑任何阻力，动能和势能的总和保持不变。

谐振动物体在通过平衡位置的瞬间，动能最大，势能为零，这时振动系统的总能量等于动能。谐振动物体在平衡位置的速度为 ωA ，根据动能公式可求得总能量为：

$$E = \frac{1}{2}m(\omega A)^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2。 \quad (1-13)$$

由此可以看出总能量与振幅的平方成正比，也与频率的平方成正比。

四、谐振动的合成

在实际问题中，常会遇到一个质点同时参与几个振动的情况。若一个质点同时参与两个或两个以上的振动，则质点所作的运动就是这几个振动的合运动。下面仅讨论几种简单的、特殊的情形。

1. 振动方向在同一直线上同频率振动的合成 设两个在同一直线上进行的、频率相同的谐振动，在任一时刻 t 的位移分别为

$$s_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)，$$

$$s_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)。$$

式中 A_1 、 A_2 分别为两个振动的振幅， φ_1 、 φ_2 分别为两个振动的初位相。由于振动在同一直线上进行，故它们的合位移是分位移的代数和：

$$s = s_1 + s_2。$$

下面用图解法求出上述两振动的合振动。图 1-6 中的余弦曲线 1 及 2 分别表示两个

分振动的位移曲线，粗线表示合振动的位移曲线。由图可知，其合振动仍是谐振动，周期和两个分振动的周期相同，振幅由两个分振动的振幅和它们的位相差决定：

图 1-6 (a) 表示两个同位相的分振动合成的结果。显然合振动的振幅 $A = A_1 + A_2$ ，合振动加强。

图 1-6 (b) 表示两个反位相的分振动合成的结果。这时合振动振幅是两个分振动振幅之差，即 $A = |A_1 - A_2|$ ，合振动减弱。

图 1-6 (c) 表示两个分振动具有任意位相差时合成的结果，其合振动的振幅 A 的值在 $|A_1 - A_2|$ 和 $A_1 + A_2$ 之间。

2. 振动方向互相垂直同频率振动的合成 现在我们来讨论在互相垂直方向上两个同频率振动的合成。设这两个振动是在互相垂直的 X 轴和 Y 轴上进行的，其位移方程分别为

$$x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1),$$

$$y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)。$$

由上两式中消去时间参量 t ，就得到合振动的轨迹方程：

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)。$$

一般说来，这是个椭圆方程。合振动的轨迹形状由两个分振动的振幅和位相差来决定，图 1-7 所示是在几种特殊情况下的合位移图形。

图 1-7 (a) 表示两个振动的位相差为 0 或 π 时，合振动是沿一通过坐标原点的直线。

若 $\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ 弧度，且 $A_1 \neq A_2$ ，其合振动轨迹为一椭圆，如图 1-7 (b) 所示，椭圆上的箭头表示运动的方向。如果 $A_1 = A_2$ ，椭圆变为圆，如图 1-7 (c) 所示。如果 $\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{3}{2}\pi$ 弧度，且 $A_1 \neq A_2$ ，其合振动轨迹仍为一椭圆，运动方向和上述情况相反，如图 1-7 (d) 所示。

一般情况下，合振动轨迹比较复杂，这里不再进行讨论了。

由图 1-7 (a) 可知，两个振动方向互相垂直的同频率的谐振动，可以合成为沿某一直线的谐振动。不难得知，也可将沿某一直线的谐振动分解为两个振动方向互相垂直的分振动。振动的分解在很多情况下都要应用到。

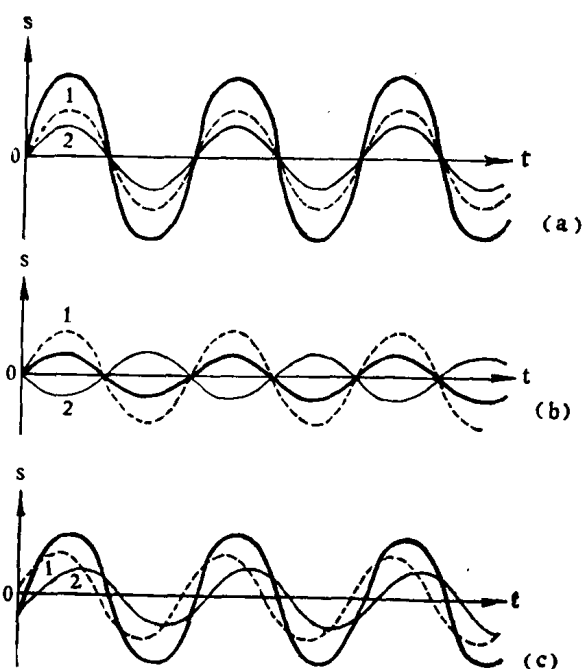


图 1-6 振动方向在同一直线上同频率振动的合成

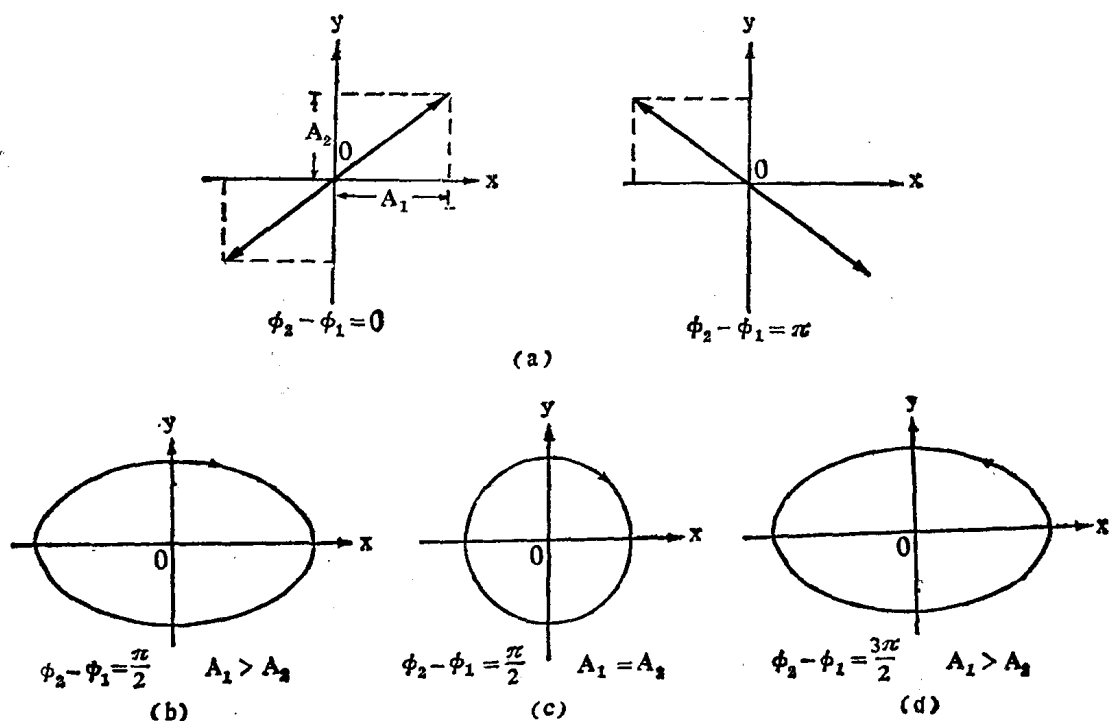


图 1-7 振动方向互相垂直同频率振动的合成

第二节 波

一、波的形成

弹性媒质中，当某处质点发生振动时，由于和邻近质点之间存在着以弹性力相联系的相互作用，能够由近及远地使媒质质点陆续发生振动，这种振动的传播过程就形成了波。这种在弹性媒质中传播的波叫做机械波，例如音叉振动在周围空气中传播而形成声波。可见，机械波的产生首先要有作机械振动的物体作为波源，其次要有能够传播这种机械振动的媒质。

必须指出，振动传播时，每个质点仅在各自的平衡位置附近振动，并没有沿传播方向流动，而且质点的振动方向和波的传播方向也不一定相同。如果质点的振动方向和波的传播方向互相垂直，这种波称为横波。例如，拉紧一根绳子，使一端上下振动，则绳子上产生的波就是横波。如果质点的振动方向和波的传播方向一致，这种波称为纵波，例如空气中传播的声波。横波和纵波是最简单的两种波，各种复杂的波都可以分解成为纵波和横波来进行研究。

图 1-8 (a) 是横波形成示意图，图中各小点代表媒质中某直线上的一排质点，质点相互间有弹性力联系着。图中第一行表示在开始时刻 ($t=0$) 各质点的位置，设这时各质点都在平衡位置，而质点 1 受到向上的外力，正要开始向上移动。当 $t = \frac{T}{4}$ 时，质点 1 已达到向上的最大位移，正要向下运动；而质点 4 刚受到弹性力，正要开始向上运动。当 $t = \frac{T}{2}$ 时，质点 1 已回到平衡位置，但因惯性而继续向下运动；质点 4 正达到