

高等学校教材

大学物理

下册

钟江帆 主编

高等教育出版社

策划编辑	刘 伟
责任编辑	刘 伟
封面设计	李卫青
责任绘图	郝 林
版式设计	马静如
责任校对	朱惠芳
责任印制	

内容简介

本书在课程体系和教学内容方面做了较大改革.全书从物理学的发展和需求出发,加强了经典物理学内容的现代化,加强了量子力学和相对论等近代物理学内容,建立了一个新的课程体系.本书还特别注重物理学在工程技术中的应用,并有计算实例.全书按100~120学时设计,共计15章,分上、下两册出版,上册包括力学、电磁学,下册包括振动与波、狭义相对论、光学、量子力学和热学,每章有小结、设置了习题并附有答案.本书可作为高等学校工科各专业的教材,也可供理科非物理类专业及电视大学、函授大学相关专业选用.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.下册 钟江帆主编. —北京:高等教育出版社,2003.12

ISBN 7 - 04 - 013635 - X

大... 钟... .物理学 - 高等学校 - 教材
04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099536 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http: www hep .edu .cn
总 机	010 - 82028899		http: www hep .com .cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本	787×960 1 16	版 次	年 月第1版
印 张	21.25	印 次	年 月第 次印刷
字 数	400 000	定 价	24.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换.

版权所有 侵权必究

目 录

第七章 机械振动	1
§ 7.1 简谐运动	1
一、弹簧振子	1
二、简谐运动的基本特征	1
三、简谐运动的速度与加速度	2
四、描述简谐运动的物理量	3
五、简谐运动的矢量表示法	6
§ 7.2 简谐运动的能量	9
§ 7.3 简谐运动的合成	11
一、同频率同方向简谐运动的合成	11
二、振动方向相互垂直的两个同频率简谐运动的合成	13
§ 7.4 阻尼振动 受迫振动 共振	15
一、阻尼振动	15
二、受迫振动	17
三、共振	18
* § 7.5 振动分解与频谱分析	19
小结	21
习题	22
第八章 机械波	25
§ 8.1 机械波的产生和传播	25
一、机械波产生的条件	25
二、横波和纵波	26
三、波的几何描述	27
四、波长 波的周期和频率 波速	28
§ 8.2 平面简谐波的波函数	29
一、平面简谐波的波函数	29
二、波函数的物理意义	30
§ 8.3 波的能量 能流密度	34
一、波的能量	34

二、能流密度	35
三、平面波和球面波的振幅	36
§ 8.4 惠更斯原理	39
一、惠更斯原理	39
二、波的衍射现象	40
§ 8.5 波的叠加原理 波的干涉	40
一、波的叠加原理	40
二、波的干涉现象和规律	41
§ 8.6 驻波	42
一、驻波的形成	43
二、驻波方程	44
三、驻波的波腹与波节	44
四、驻波的相位	45
五、两端固定弦上形成的驻波	45
六、半波损失	46
* § 8.7 多普勒效应	48
* § 8.8 声波	50
小结	51
习题	52
第九章 电磁波	56
§ 9.1 电磁波的波动方程	56
一、变化电磁场的相互激发	56
二、电磁波波动方程	57
三、均匀介质中的平面波	58
§ 9.2 电磁波的性质 坡印廷矢量	60
一、平面电磁波的性质	60
二、坡印廷矢量	60
三、辐射压强	61
§ 9.3 振荡电偶极子的辐射	62
一、振荡电偶极子的辐射	62
二、电磁波的产生和传播	64
§ 9.4 电磁波谱	66
小结	68
习题	68
第十章 波动光学	70

§ 10.1	光的相干性	71
一、	光矢量	71
二、	光的相干性	71
三、	获得相干光的基本方法	71
§ 10.2	双缝干涉	73
一、	杨氏双缝干涉	73
二、	劳埃德镜实验	75
§ 10.3	光程 薄膜干涉	76
一、	光程与光程差	76
二、	薄透镜不产生附加光程差	78
三、	薄膜干涉	79
四、	增透膜和增反膜	81
§ 10.4	劈尖 牛顿环	82
一、	劈尖	82
二、	牛顿环	83
§ 10.5	迈克耳孙干涉仪	86
§ 10.6	光的衍射现象 惠更斯 - 菲涅耳原理	87
一、	光的衍射现象	87
二、	惠更斯 - 菲涅耳原理	89
§ 10.7	夫琅禾费单缝衍射	90
一、	夫琅禾费单缝衍射的实验装置	90
二、	单缝衍射形成明暗条纹的条件	90
三、	单缝衍射条纹特点	92
§ 10.8	光栅衍射	97
一、	衍射光栅	98
二、	光栅衍射条纹的形成	99
§ 10.9	伦琴射线的衍射 布拉格公式	104
一、	伦琴射线	104
二、	劳厄实验	105
三、	布拉格公式	105
§ 10.10	自然光和偏振光	107
一、	线偏振光	107
二、	自然光	107
三、	部分偏振光	108
四、	椭圆偏振光和圆偏振光	109

§ 10.11 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	109
一、偏振片	109
二、起偏和检偏 马吕斯定律	110
§ 10.12 反射光和折射光的偏振 布儒斯特定律	113
一、反射起偏 布儒斯特定律	113
二、折射起偏 玻璃片堆	114
§ 10.13 光的双折射现象	115
一、光的双折射现象	115
二、尼科耳棱镜	117
* § 10.14 偏振光的干涉	118
§ 10.15 偏振现象的应用	120
一、人为双折射现象	120
二、旋光现象 磁光效应	123
小结	125
习题	127
第十一章 狭义相对论	132
§ 11.1 经典力学时空观	133
§ 11.2 迈克耳孙 - 莫雷实验	134
一、绝对参考系的探寻	134
二、迈克耳孙 - 莫雷实验	134
§ 11.3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	136
一、狭义相对论的基本原理	136
二、洛伦兹变换	137
§ 11.4 狭义相对论的时空观	140
一、同时的相对性	140
二、运动的时钟变慢	141
三、运动的杆缩短	142
* § 11.5 相对论的速度变换	146
§ 11.6 相对论质点动力学方程	148
一、质量和速度的关系	148
二、相对论动力学基本方程	149
§ 11.7 相对论的能量	150
一、相对论能量	150
二、能量和动量的关系	152
三、非相对论极限与极端相对论极限	152

小结.....	153
习题.....	154
第十二章 光的量子性与激光	156
§ 12.1 热辐射和普朗克能量子学说	156
一、热辐射和黑体	156
二、黑体辐射实验	158
三、黑体辐射规律的解释和普朗克能量子学说	160
§ 12.2 光电效应和爱因斯坦光子学说	161
一、光电效应的实验规律	162
二、光的波动说的困难	163
三、爱因斯坦的光子学说	163
四、光电效应的应用	165
§ 12.3 康普顿效应	166
§ 12.4 原子光谱和玻尔原子理论	169
一、氢原子光谱的规律	169
二、玻尔的原子理论	170
三、玻尔理论的成功与局限	173
§ 12.5 实物粒子的波动性	175
一、德布罗意波	175
二、电子衍射实验	176
三、实物粒子的波粒二象性	178
§ 12.6 不确定关系	179
§ 12.7 光与物质作用的基本过程	182
一、三种作用过程	182
二、三种作用过程的相互关系	185
§ 12.8 激光形成原理	187
一、粒子数反转原理	188
二、激光工作物质	189
三、光学谐振腔	191
§ 12.9 激光的模式与性质	194
一、激光的单色性和纵模	194
二、激光的相干性和横模	197
§ 12.10 激光器 激光应用	200
一、红宝石激光器	200
* 二、激光的应用	202

小结.....	206
习题.....	207
第十三章 量子力学基础	210
§ 13.1 波函数及其统计解释	210
一、状态用波函数描写	210
二、波函数的统计解释	211
§ 13.2 态叠加原理	214
§ 13.3 薛定谔方程	216
一、薛定谔方程的建立	216
二、算符化规则	217
三、薛定谔方程的特点	218
四、多粒子体系	218
§ 13.4 概率流密度和粒子数守恒定律	219
§ 13.5 定态薛定谔方程	221
§ 13.6 一维无限深势阱	222
* § 13.7 势垒穿透和隧道效应	225
* § 13.8 线性谐振子	228
§ 13.9 量子力学用算符表示力学量	232
一、算符与力学量对应关系	232
* 二、厄米算符	232
* 三、角动量算符和角动量平方算符	233
* § 13.10 氢原子	235
一、氢原子中电子的薛定谔方程	235
二、氢原子的量子力学结果	236
§ 13.11 电子的自旋	241
一、施特恩 - 格拉赫实验	241
二、电子的自旋	243
小结.....	244
习题.....	245
第十四章 统计物理学基础	248
§ 14.1 热学的基本概念与理想气体状态方程	249
一、宏观量与微观量	249
二、统计平均值与平衡态	249
三、热力学第零定律	250
四、理想气体的状态方程	251

§ 14.2	气体分子的热运动 麦克斯韦气体分子速率分布定律	253
一、	气体分子热运动的基本特征	253
二、	大量分子热运动服从统计规律	253
三、	麦克斯韦气体分子速率分布定律	253
§ 14.3	压强公式 压强的统计意义	258
一、	压强公式	259
二、	压强的统计意义	260
§ 14.4	气体分子平均平动动能与温度的关系	261
§ 14.5	能量按自由度均分原理 理想气体的内能	262
一、	自由度	262
二、	能量按自由度均分原理	263
三、	理想气体内能	264
* § 14.6	分子碰撞 平均自由程	264
* § 14.7	气体内的迁移现象及基本定律	267
一、	粘滞现象(内摩擦现象)	268
二、	热传导现象	268
三、	扩散现象	269
四、	内迁移现象的微观解释	270
§ 14.8	量子统计的基本概念	271
一、	粒子运动状态的经典描述和量子描述	271
二、	系统微观运动状态的描述	275
三、	三种系统及其微观状态数	276
四、	等概率原理	279
* § 14.9	麦克斯韦 - 玻尔兹曼统计分布律	279
一、	最概然分布 - 玻尔兹曼分布	279
二、	麦克斯韦速度分布律	281
三、	麦克斯韦速率分布定律	282
四、	玻色系统和费米系统的最概然分布	282
§ 14.10	固体热容的量子理论	283
小结	284
习题	287
第十五章	热力学基础	289
§ 15.1	内能 热量和功	289
一、	内能	289
二、	热量	290

三、功	291
§ 15.2 热力学第一定律	293
§ 15.3 热力学第一定律对理想气体的等值过程的应用	294
一、等体过程	294
二、等压过程	296
三、等温过程	297
§ 15.4 气体的摩尔热容	299
一、气体的摩尔定容热容	299
二、气体的摩尔定压热容	300
§ 15.5 绝热过程	302
一、绝热过程中的功	303
二、绝热方程	303
三、绝热线	304
§ 15.6 循环过程 卡诺循环	305
一、循环过程	305
二、卡诺循环	307
§ 15.7 热力学第二定律	312
一、热力学第二定律的表述	312
二、热力学第二定律两种表述的等价性	313
三、可逆过程和不可逆过程	314
四、热力学第二定律的实质	316
五、卡诺定理	317
§ 15.8 熵和热力学第二定律的数学表达式	317
一、熵	318
二、熵增加原理	320
三、热力学的基本方程	322
小结	323
习题	325
主要参考书目	329

第七章 机械振动

在自然界中,振动是物体常见的一种运动形式,如钟摆的运动,音叉的运动和气缸活塞的运动等.物体在一定位置附近做往返运动,称为机械振动.除机械振动外,在自然界中还存在着各种各样的振动,如电磁振动、分子和原子的振动等.广义地说:凡描述运动状态的物理量,在某一量值附近做周期性的变化都可以称为振动.虽然这些振动本质上各不相同,但其基本概念和基本规律与机械振动却是相同的.所以对机械振动规律的研究有助于了解其它形式振动的规律.

简谐运动是最简单、最基本的振动.一切复杂的振动都可由两个或多个简谐运动的合成而得到.我们先来研究简谐运动.

§ 7.1 简谐运动

一、弹簧振子

在一个光滑的水平桌面上,有一个一端被固定的轻弹簧,另一端系一物体(视为质点),这样的系统称为弹簧振子.当弹簧处于自然状态时,物体在水平方向不受力的作用,此时物体处于 O 点, O 点叫做平衡位置,在此位置,物体所受合外力为零.如果沿水平方向,向右拉动物体一段距离,这时物体受到方向指向 O 的弹力作用.将物体释放后,物体就在弹力和惯性的作用下,围绕 O 点做往返的振动.弹簧振子的振动是典型的简谐运动.

二、简谐运动的基本特征

为了描述弹簧振子的简谐运动,取平衡位置 O 为坐标原点,取过 O 的水平线为 x 轴,如图 7-1 所示.设在任意时刻 t ,物体的位移为 x ,则由胡克定律可知,它所受的弹性力 F 为

$$F = - kx \quad (7-1)$$

式中 k 为轻弹簧的劲度系数,负号表示弹力与位移方向相反.若物体的质量为

简谐运动又称简谐振动.

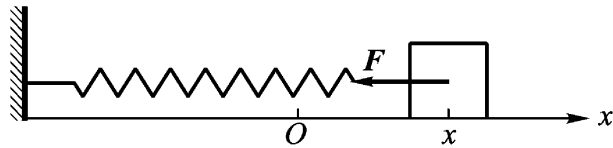


图 7 - 1 弹簧振子的简谐运动

m , 根据牛顿第二定律, 物体的运动方程可表示为

$$F = ma = m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (7 - 2)$$

将式(7 - 1)代入式(7 - 2)中, 得

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx$$

可将上式改写成

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x \quad (7 - 3)$$

式(7 - 3)是小球的运动方程, 式中

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (7 - 4)$$

ω 是系统自身所决定的常量. 式(7 - 3)反映了谐振动物体加速度的基本特征: 即加速度的大小与位移大小成正比, 加速度的方向与位移方向相反. 具有这种性质的力称为线性恢复力. 利用式(7 - 3), 可以进一步将振动的概念扩展: 任何物理量 y 若满足方程式

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

且 ω 是系统自身所决定的常量, 则该物理量在作简谐运动.

式(7 - 3)的解为

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (7 - 5)$$

式中 A 和 ϕ 都是积分常数, 其物理意义将在以后讨论. 由式(7 - 5)我们又可以说: 做简谐运动的物体, 其位移一定是时间的余弦(或正弦)函数. 式(7 - 5)常称为简谐运动的运动方程.

三、简谐运动的速度与加速度

将式(7 - 5)两边对时间求一阶导数, 可以得到物体的振动速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -A \omega \sin(\omega t + \phi) = A \omega \cos \left(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2} \right) \quad (7 - 6)$$

将上式两边再对时间求一阶导数, 可以得到物体振动的加速度

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \\ = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \quad (7-7)$$

将 $x = A \cos(\omega t + \phi)$ 代入上式,可以看出式(7-7)和式(7-3)是完全相同的.这说明,物体在线性恢复力的作用下就一定作简谐运动和简谐运动的解一定是时间的余弦函数这两种表述是完全等价的,其中任何一条都可作为物体是否作简谐运动的依据.

图 7-2 分别画出了简谐运动的位移、速度、加速度和时间的函数关系曲线.图中 $x-t$ 曲线称为振动曲线(取 $\phi = 0$).

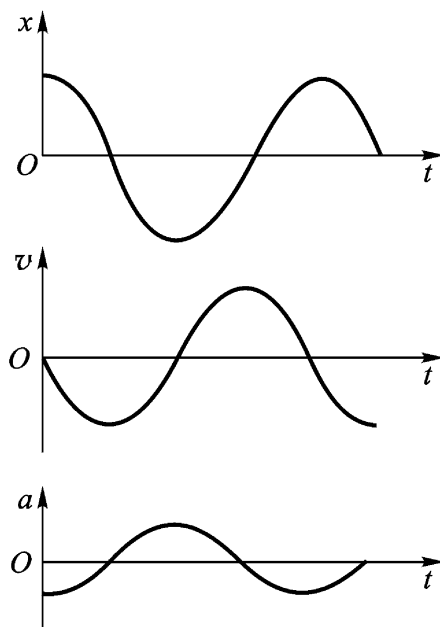


图 7-2

四、描述简谐运动的物理量

下面通过振动方程 $x = A \cos(\omega t + \phi)$ 说明描述简谐运动物理量的意义.

1. 振幅 A

A 表示物体离开平衡位置的最大距离,给出了运动范围的幅度,称为振幅.同时将 ωA 称为速度振幅, $\omega^2 A$ 称为加速度振幅.

2. 周期 T

物体作一次完全振动所需的时间称为振动周期,用 T 表示,单位是秒(s).根据定义,则有

$$x = A \cos(\omega t + \phi) = A \cos[\omega(t + T) + \phi] \\ = A \cos(\omega t + \phi + 2\pi)$$

已知余弦函数的周期是 2π ,有

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

将式(7 - 4)代入上式后,得

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7 - 8)$$

式(7 - 8)表明,简谐运动的周期是决定于系统自身的常量,又称为固有周期。

3. 频率 和角频率

物体在单位时间内所完成振动的次数,称为振动频率,用 ν 表示。振动物体在 2 秒内所完成振动的次数,称为角频率,就是式(7 - 4)中的 ω 。由定义可知,频率 ν ,角频率 ω 和周期 T 三者的关系为

$$\omega = \frac{1}{T} = 2\pi \nu \quad (7 - 9)$$

$$\omega = 2\pi \nu = \frac{2\pi}{T} \quad (7 - 10)$$

在国际单位制中,频率和角频率的单位分别是赫兹(Hz)和弧度每秒($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)。由于频率 ν 也是决定于系统自身的常量,常称为固有频率。

4. 相位和初相位

式(7 - 5)中的 $(\omega t + \phi_0)$ 称为简谐运动的相位,单位是弧度(rad)。在振幅一定,角频率已知的情况下,相位决定任意时刻物体的运动状态(位置和速度),由振动方程和速度方程可清楚地看出这一点。

$t=0$ 时刻的相位 ϕ_0 称为初相位。在 A 、 ω 一定时,初相 ϕ_0 决定振动物体的初始状态(初位置和初速度)。在式(7 - 5)和式(7 - 6)两式中,令 $t=0$,可得

$$x_0 = A \cos \phi_0 \quad (7 - 11)$$

$$v_0 = -A \omega \sin \phi_0$$

由上二式可得到

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}} \quad (7 - 12)$$

$$\tan \phi_0 = -\frac{v_0}{\omega x_0}$$

由式(7 - 12)可见,振幅 A 和初相位 ϕ_0 是由振动系统初始状态决定的两个描述简谐运动的特征量。

5. 相位差

设有两个作简谐运动的物体,其振动表达式分别为

$$x_1 = A_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1)$$

$$x_2 = A_2 \cos(\omega_2 t + \phi_2)$$

两者的相位差为

$$\Delta\phi = (\omega_2 t + \phi_2) - (\omega_1 t + \phi_1)$$

$$= (\omega_2 - \omega_1)t + \phi_2 - \phi_1$$

若 $\omega_2 = \omega_1$, 即两者是同频率的简谐运动, 则

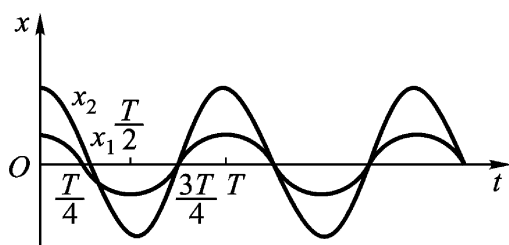
$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 \quad (7-13)$$

即同频率两个简谐运动, 其相位差等于它们的初相位差。

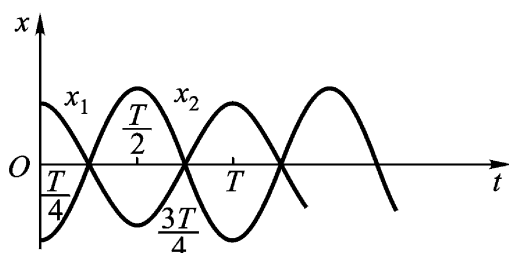
用相位差可以方便地比较两个作简谐运动的物体“步调”差异的情况。特别重要的有下列几种情况:

(1) 如果 $\Delta\phi = 0$ (或者 2π 的整数倍), 称两个简谐运动同相。此时, 两个简谐运动“步调”完全一致。如同时过平衡位置, 同时达正方向最大位移处等。此情况如图 7-3(a) 所示。

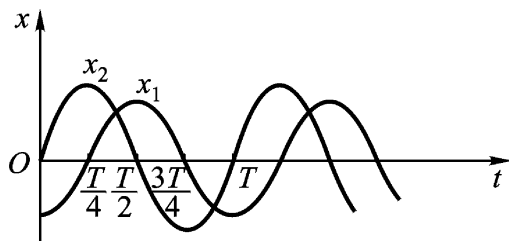
(2) 如果 $\Delta\phi = \pi$ (或者 π 的奇数倍), 称两个简谐运动反相。此时, 两个简谐运动的“步调”完全相反。如它们同时沿 x 轴正向和负向过平衡位置, 同时到达正方向最大位移处和负方向最大位移处等。此情况如图 7-3(b) 所示。



(a) 同相



(b) 反相



(c) x_2 超前 x_1

图 7-3 两个简谐运动的相位比较

(3) 如果 $\Delta\phi > 0$, 称 x_2 的相位超前 x_1 的相位; 或者说 x_1 的相位落后 x_2 的相位。此情况如图 7-3(c) 所示。从图上可看出, x_2 的相位比 x_1 的相位超前 $\Delta\phi$ 。从图 7-2 也可看出, 速度的相位超前位移的相位 $\frac{\pi}{2}$, 加速度的相位超前速

度的相位 2, 在振动、波动和电工学的理论中, 相位的概念是非常重要的一个概念 .

五、简谐运动的矢量表示法

前面对简谐运动的讨论完全是从数学上进行的, 称为解析法 . 为了更直观地认识简谐运动, 下面介绍简谐运动的矢量表示法——旋转矢量法 .

如图 7 - 4, 在纸面内取坐标轴 Ox , 由原点 O 作矢量 \mathbf{A} , 其大小等于给定简谐运动的振幅 A , \mathbf{A} 在图面内绕 O 点以角速度 ω 沿逆时针方向匀速转动, 矢量 \mathbf{A} 就称为旋转矢量 . $t=0$ 时 \mathbf{A} 与 Ox 轴的夹角 φ 就是简谐运动的初相位 . 经过时间 t 后, \mathbf{A} 矢量转过角度 ωt , 此时 \mathbf{A} 与 Ox 轴的夹角为 $(\omega t + \varphi)$. 矢量 \mathbf{A} 的端点 M 这时在 Ox 轴上的投影 P 点的位置是

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

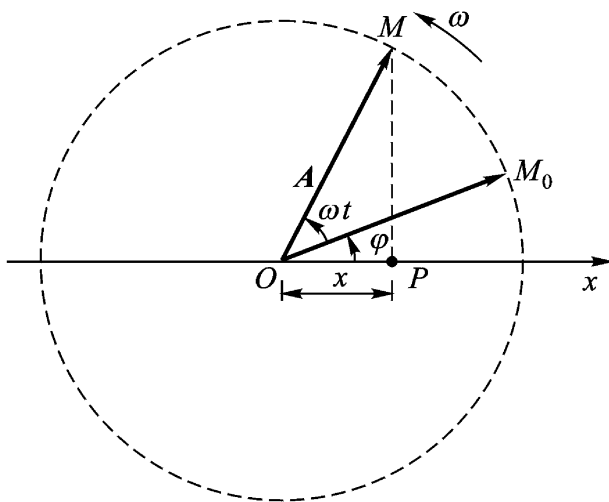


图 7 - 4 简谐运动的矢量图表示法

这同简谐运动表达式 (7 - 5) 完全相同 . 因此, 矢量 \mathbf{A} 做匀速转动过程中其端点 M 在 Ox 轴上的投影点 P 的运动就可代表简谐运动 . 矢量 \mathbf{A} 旋转一圈, 投影点 P 在 Ox 轴做一次完全振动, 其转动的角速度就等于振动的角频率 .

这种方法用简单、直观的方式描述简谐运动, 某些情况下比用解析法能更方便地求得振动的相位与初相位 .

例 7 - 1 一水平弹簧振子做简谐运动, 振幅 $A = 4 \times 10^{-2}$ m, 周期 $T = 2$ s, $t = 0$ 时振子位于: (1) $x_0 = 2 \times 10^{-2}$ m 处, 且向负方向运动; (2) $x_0 = -2 \times 10^{-2}$ m 处, 且向正方向运动 . 分别写出这两种情况下的振动方程 .

解 振动方程 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$

速度 $v = -A \sin(\omega t + \varphi)$

已知 $A = 4 \times 10^{-2}$ m, $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$ rad·s⁻¹, 若求出 φ , 就可写出振动方程 .