

高等学校教学参考用书

大学物理学概念

Daxue Wulixue Gainian

陈嘉鹏 编著



上海科学技术文献出版社

高等学校教学参考书

大学物理学概念

陈嘉鹏 编著

上海科学技术文献出版社

(沪)新登字 301 号

高等学校教学参考用书

大学物理学概念

陈嘉鹏 编著

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路 2 号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

上海市印刷十二厂印刷

*

开本 787×1097 1/32 印张 9.25 字数 224,000

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—3,000

ISBN 7-5439-0672-4/O·21

定价: 15.00 元

《科技新书目》349-278

前 言

所谓概念是“人们在认识过程中,把所感觉到的事物的共同特点抽出来,加以概括,就成为概念”,“它是反映客观事物的一般的、本质的特征。”^[*]物理学概念是指我们对物理现象、物理规律中最本质特征的一种认识。物理学概念包括在物理学的定义、定律、原理、定理之中,正是这些内容构成了物理学的理论基础。要掌握物理学理论首先要从正确地理解、掌握这些物理学概念入手。物理学离不开数学,离不开计算,没有定量的分析计算就无法判别物理学理论的真伪,也就没有物理学的今天。但是数学上的运算必须建立在对物理学概念正确理解的基础之上,否则将会使运算变得毫无意义。学生在学习大学物理课程中存在着的一种明显倾向是重数学运算,轻物理概念,这一现象早就引起了教师们的注意,也正是由于这个原因使我萌发了编写此书的想法。本书所讨论的问题是编者在多年大学物理教学生涯中逐年积累起来的,有的问题直接来源于学生。本书着重讨论物理学概念中的一些似是而非的问题,用比较学方法分析、比较不同物理学概念之间的本质差别,注意从不同角度去叙述、分析物理学概念,指出每一物理学概念的本质特征,以期对物理学概念有一个全面的、正确的理解。

本书可以作为全日制高等学校及函授大学的大学物理课程的教学参考用书,可以帮助学生理解与掌握物理学概念,也可作为从事大学物理教学的青年教师的备课参考资料。

本书在编写过程中始终得到同济大学宋开欣教授的热情鼓

励与支持,并详细审阅了全稿,提出了很多宝贵的修改意见,在此表示深切的谢意!

限于作者的学识水平,书中不当之处在所难免,欢迎读者批评指正。

陈嘉鹏

一九九三年十二月于
上海电力学院

目 录

一、力学	(1)
1. 时间与时刻	(1)
2. 坐标系与参照系	(2)
3. 轨道与轨迹	(2)
4. 矢量模的增量与矢量增量的模	(3)
5. 速度与加速度	(4)
6. 加速与减速	(6)
7. 切向加速度与法向加速度	(6)
8. 弧坐标与自然坐标	(7)
9. 物理概念与数学概念	(9)
10. 运动学和动力学的研究范畴	(12)
11. 牛顿第二定律	(13)
12. 牛顿第一定律与牛顿第二定律	(16)
13. 向心力	(17)
14. 惯性参照系	(18)
15. 质点	(23)
16. 处理物理问题时获得文字解答的重要性	(25)
17. 重力与万有引力	(26)
18. 惯性质量与引力质量	(29)
19. 质心与重心	(33)
20. 动量守恒的条件	(36)
21. 冲量的方向与瞬时力的方向	(38)

22. 平均冲力	(39)
23. 恒力的功	(40)
24. 正压力的功	(42)
25. 势能	(46)
26. 弹簧的弹性势能	(48)
27. 非保守力不能引入势能	(48)
28. 机械能守恒定律和参照系	(49)
29. 角位移矢量性	(50)
30. 刚体角速度和转动中心无关的证明	(55)
31. 定轴转动中的力矩	(56)
32. 动量守恒定律、角动量守恒定律与机械能守恒定律	(57)
33. 角动量方向与角速度方向	(59)
二、振动与波动	(63)
1. 周相	(63)
2. 建立振动微分方程的方法	(64)
3. 谐振系统能量是否恒为 $\frac{1}{2} kA^2$	(67)
4. 速度共振与位移共振	(69)
5. 波线是否总是垂直于波阵面	(72)
6. 机械波的波速	(73)
7. 杨氏弹性模量与倔强系数	(74)
8. 简谐波的能量及能量的传递	(75)
9. 相干波源必须满足的条件	(79)
10. 驻波的特点	(80)
11. 驻波的能量分布与能量传递	(81)
12. 弹性波的半波损失	(86)

13. 多普勒效应.....	(91)
14. 相速度与群速度.....	(95)
三、热学	(98)
1. 理想气体的定义	(98)
2. 温度	(99)
3. 温度与温度计.....	(100)
4. 平衡态.....	(103)
5. 压强公式.....	(105)
6. 在推导压强公式时为什么不考虑分子间的碰撞.....	(107)
7. 分子间的碰撞与两钢球间的碰撞.....	(107)
8. 自由度.....	(108)
9. 理想气体分子与刚性分子.....	(110)
10. 能量均分定理	(110)
11. 分子每一振动自由度的平均能量	(111)
12. 麦克斯韦速率分布函数与平均值	(113)
13. 气体的比热	(116)
14. 泊松方程的适用范围	(118)
15. 卡诺循环是最简单的循环	(119)
16. 可逆过程与不可逆过程	(120)
17. 熵	(122)
18. 熵与热力学几率	(126)
19. 平衡态的气体分子趋于均匀分布	(128)
20. “热寂说”	(130)
21. $T \sim S$ 图与 $p \sim V$ 图	(132)
22. 熵与内能	(134)
四、电磁学	(136)
1. 电场强度.....	(136)

2. 物理问题中的点、线、面与无限大、无限小.....	(137)
3. 矢量函数与标量函数.....	(139)
4. 电量不变性与电荷守恒.....	(140)
5. 高斯定理.....	(141)
6. 电势零点的选择.....	(143)
7. 带电系统能量的储存.....	(145)
8. 空腔导体的电荷分布.....	(145)
9. 导体表面曲率与电荷面密度分布.....	(149)
10. 静电场中的 D 与 E	(151)
11. 电介质分子的位移极化与取向极化	(153)
12. 导体的静电感应与介质的极化	(154)
13. D, E, P 三者的关系	(157)
14. 对金属导电经典电子理论的评价	(158)
15. 稳恒电场与静电场	(159)
16. 静电场与稳恒磁场	(160)
17. B 矢量与 H 矢量的通量	(162)
18. 静电屏蔽与静磁屏蔽	(163)
19. 在感生电场中能否引入电势的概念	(165)
20. 动生电动势和感生电动势	(166)
21. 洛伦兹力不作功为何有动生电动势	(168)
22. 同轴传输线的自感问题	(169)
23. 圆柱形导体内定态电磁波的解	(178)
24. 趋肤效应的定量分析	(185)
25. 良导体与位移电流	(190)
26. 用贝塞耳函数及变型贝塞耳函数描述圆柱形导 体内时谐电磁场的等价性	(191)
27. 直流电路中能量传递的路径	(193)

28. 位移电流的热效应	(195)
29. 电荷与磁荷	(202)
30. 经典电磁理论的适用范围	(203)
五、光学	(205)
1. 光程	(205)
2. 透镜的等光程性	(206)
3. 为什么在光波中只考虑其中 E 的矢量	(207)
4. 惠更斯原理与费涅耳原理	(211)
5. 光波的相干叠加与非相干叠加	(213)
6. 光波的相位突变	(217)
7. 空间相干性与时间相干性	(222)
8. 薄膜厚度和干涉条纹清晰程度的关系	(225)
9. 迈克耳逊干涉仪中补偿玻璃板的作用	(231)
10. 光学仪器的放大率与鉴别率	(233)
11. 自然光与圆偏振光	(234)
12. 部分偏振光与椭圆偏振光	(238)
13. 均匀媒质与各向同性媒质	(240)
14. 各向异性媒质	(241)
15. o 光与 e 光	(242)
16. 主截面、主平面以及有关问题	(244)
17. 各向异性媒质中的射线方向与法线方向	(246)
18. 射线折射率与法线折射率	(248)
19. 双折射的电磁理论	(256)
六、近代物理	(259)
1. 洛仑兹坐标变换为何必须是线性变换	(259)
2. 相对论中的相对性与绝对性	(260)
3. 孪生子佯谬	(263)

4. 长度与空间间隔, 原时与时间间隔.....	(265)
5. 测不准关系式.....	(268)
6. 康普顿效应的正确解释.....	(271)
7. 康普顿效应与光电效应.....	(272)
8. 波函数.....	(273)
9. 为何自由电子不能吸收光子.....	(275)
10. 能带论与导电的微观机制	(276)
11. 电子共有化运动	(277)
12. 克龙尼克-潘纳模型的讨论.....	(278)
参考文献	(281)

一、力 学

1. 时间与时刻

时间与时刻是两个不同的物理概念，时刻在时间坐标轴上用一点来表示，而时间在时间坐标轴上用一线段来表示。 $t = t_1$ 秒，表示 t_1 秒末那个时刻，用 $\Delta t = t_2 - t_1$ 表示 t_1 与 t_2 那两个时刻之间的时间间隔。通常所说的 8 点钟正指的是时刻，而“工作 8 小时”指的是时间。

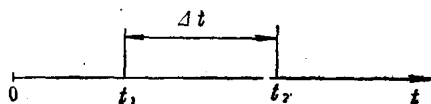


图 1-1

运动方程 $x = x(t)$ 中的 t 指的是时间还是时刻呢？一般地说，式中的 t 应该是指时刻，即在那一时刻，质点在那一位置坐标上。如果选择物体开始运动时作为计时的零点，那末 $t = t_1$ 既表示 t_1 那一时刻，又因为 $\Delta t = t_1 - 0 = t_1$ ，所以 t_1 也可理解为从计时零点开始所用的时间。因而运动方程中的 t ，通常都把它说成是时间，但是要注意的是，在此情况下时间仅仅在数值上等于某一时刻的读数值， Δt 与 t_1 仍是两个不同的概念。时间 Δt 和质点的位移相对应，而时刻 t_1 和质点的位置矢量或位置坐标相对应。

通常所说的某一瞬间指的是时间还是时刻？显然，一瞬间，虽然时间短暂，但它仍然是时间而不是时刻，只有当时间间隔趋近于零时，那时钟表的读数，便是那一时刻的数值。

2. 坐标系与参照系

为了描述运动,必须选择另一个物体作为参考,被选作参考的物体称作参照系。要定量地描述物体的运动,还需建立一个描述运动物体位置的计算系统,即坐标系。一般在参照系上选定一点作坐标系的原点,取过原点并附有标度的线作为坐标轴。为了计算方便,坐标系可以任意选择,常用的有直角坐标系、球面、柱面坐标系,也可以选择其它坐标系。同样一个运动,在不同参照系中将有不同的描述,这就是运动描述的相对性。

在有些问题中,为使问题简单起见,并不画出作为参照系的物体,而只画出固定在参照系上的坐标,此时直接用坐标系来表示参照系,两者合而为一,但尽管如此,坐标系和参照系仍是两个不同的概念。

有时为了便于研究问题,坐标系并不固定在参照系上,而是相对参照系按一定的规律运动,这种坐标称为动坐标,但动坐标本身实质上是另一个参照系,换言之,这个动坐标是被固定在另一个按一定规律运动的参照系上面的。

3. 轨道与轨迹

一个物体由于受到某种约束而被限制在某一固定的曲线上运动,这一曲线称为物体运动的轨道。例如火车只能在铁轨上运动,铁轨所形成的空间曲线便是轨道。轨道的形状、尺寸,显然和参照系的选择无关,在不同参照系中测得的轨道形状、尺寸是相同的,但是在测量时必须对轨道上各点同时进行测量。

轨迹是指物体在运动过程中在某一参照系中留下的空间痕迹。物体的运动规律用运动方程来描述,在运动方程中消去时间变量 t 便可得到轨迹方程。由于运动描述的相对性,对于同一个运动,在不同参照系中有不同的运动方程,因而有不同的轨迹方程。所以轨迹和参照系的选择有关。例如在水平面上作匀

速直线运动的车厢内，竖直上抛一小球，此小球在车厢参照系中留下的痕迹是一条直线，而在地面参照系中留下的痕迹是一条抛物线。

4. 矢量模的增量与矢量增量的模

矢量模的增量 $\Delta|r|$ 与矢量增量的模 $|\Delta r|$ 是不同的。在图 1-2 中画出了矢量 r_1 、 r_2 以及矢量的增量 $\Delta r = r_2 - r_1$ 。矢量 r 增量的模 $|\Delta r|$ 在数值上等于图 1-2 中 AB 两点间的直线距离，而矢量模的增量 $\Delta|r|$ 表示矢量长度的变化量或矢量大小的变化量。其值可以这样来确定：以 O 为圆心，以 OA 为半径画圆弧，交 OB 于 C 点， $\because \overline{OA} = \overline{OC}$ ， $\therefore \Delta|r| = |r_2| - |r_1| = \Delta r = \overline{BC}$ ，从图 1-2 中可知 $\overline{BC} \neq \overline{AB}$ ，即 $\Delta|r| \neq |\Delta r|$ 。所以矢量模的增量不等于矢量增量的模。

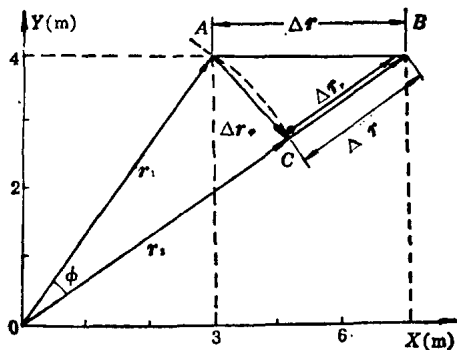


图 1-2

$\Delta|r|$ 不等于 $|\Delta r|$ 从物理意义上也可以这样理解：矢量的变化和标量的变化不同，它不仅有大小的变化，还有方向的变化。从矢量 r_1 变化到矢量 r_2 可以分解为两个过程：第一步令矢量 r_1 的长度不变，仅改变方向，即以 O 为中心， $|r_1|$ 为半径旋转一个角度 ϕ ，此时矢量 r_1 已变化成为矢量 OC 。第二步令矢量

OC 的方向不变,使其长度由原来的 $|OC| = |r_1|$ 变为长度 $|r_2|$ 。
 矢量 r 的增量即位移 Δr 可写为:

$$\Delta r = \Delta r_\theta + \Delta r_r,$$

式中 Δr_θ 反映了矢量 r 的方向变化,而 Δr_r 反映了矢量 r 大小的变化。因为

$$|\Delta r| = |\Delta r_\theta + \Delta r_r|$$

而

$$|\Delta r_r| = \Delta |r|$$

可见 $\Delta |r|$, 即矢量模的增量仅仅是反映了矢量大小的变化,而 $|\Delta r|$ 不仅包括了矢量大小的变化,还包含了矢量方向的变化。

5. 速度与加速度

在运动学里经常会遇到诸如速度很大时加速度是否一定很大,速度为零加速度是否一定为零之类的问题。要解答这一问题首先要研究速度和加速度这两个物理量之间的关系。

速度与加速度之间的微分关系为:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

积分关系为:

$$\int_{v_1}^{v_2} dv = \int_{t_1}^{t_2} a dt \quad (2)$$

由式(1)可知,加速度 a 的方向是当时间 Δt 趋于零时速度增量的极限方向,见图 1-3。加速度方向在一般情况下不同于瞬时速度的方向,即使是在直线运动中,速度方向和加速度方向也并不相同。只有物体初始速度方向和加速度方向一致,并且加



图 1-3

速度矢量方向不变时,两者方向才是一致的。

加速度在数值上等于速度矢量时间变化率的模。以直线运动为例,加速度与速度的关系式为:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

设 $v = \cos t = f_1(t)$, 则 $a = dv/dt = -\sin t = f_2(t)$, 从式(3)可知速度 v 和加速度 a 的关系实质上是一个函数和其导函数之间的相互关系, 从数学中可知函数和函数的导数是根本不同的两个函数。在此例中 $f_1(t)$ 与 $f_2(t)$ 的函数曲线并不相同, 见图 1-4。既然是两个不同的函数, 那末速度很大时加速度可能很大, 也可能很小甚至为零; 反过来, 速度为零时加速度可能为零, 但也可能非常大。

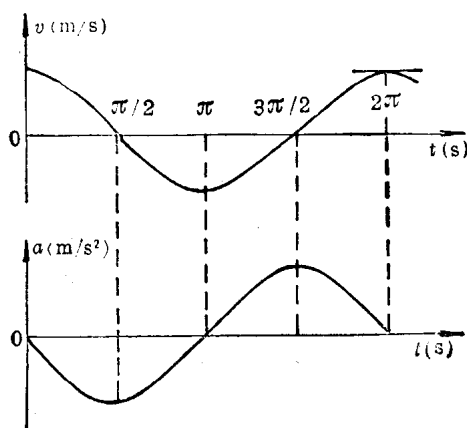


图 1-4

在任意曲线运动中法向加速度为:

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad (4)$$

由式(4)可知,若曲率半径 ρ 一定,速度越大,法向加速度必然越大;若质点的速率一定,则法向加速度还和曲率半径成反比。法向加速度不仅和速度有关还和曲率半径有关,不能笼统地说速度很大,法向加速度一定很大。例如在轨迹的拐点处曲率半径 $\rho \rightarrow \infty$,即使此时速度非常大,但法向加速度为零。所以结论是:加速度只和速度矢量的变化率(包括大小和方向的变化率)相联系,而不是单纯地决定于速度矢量本身的量值。

6. 加速与减速

所谓加速是指质点的速率随时间增加,减速是指质点的速率随时间减少。在直线运动中所谓加速并不是指速度随时间增加,例如当质点沿 x 轴负方向运动时,若其速度的大小随时间增加,是加速,但其速度值是负值,速度的代数值是随时间变小的。

在直线运动中加速度 $a > 0$ 是否一定表示速率增加呢?加速度 a 的符号仅仅表示加速度方向和坐标轴方向之间的关系。若 $a > 0$,表示加速度沿 x 轴正方向; $a < 0$ 表示加速度和 x 轴方向相反。在直线运动中如果速度和加速度方向一致,质点作加速运动;如果速度和加速度方向相反,质点作减速运动。在任意曲线运动中,若加速度矢量和速度矢量成锐角,质点作加速运动;若加速度矢量和速度矢量成钝角,质点作减速运动。

7. 切向加速度与法向加速度

加速度的产生,从运动学观点来看是由于速度矢量的变化,速度矢量的大小或方向的变化都会产生加速度。将加速度矢量沿着自然坐标分解时,正好把产生加速度的这两个因素分割开来,即切向加速度反映了速度大小的变化,而法向加速度反映了速度方向的变化。

法向加速度与切向加速度分别为:

• • •