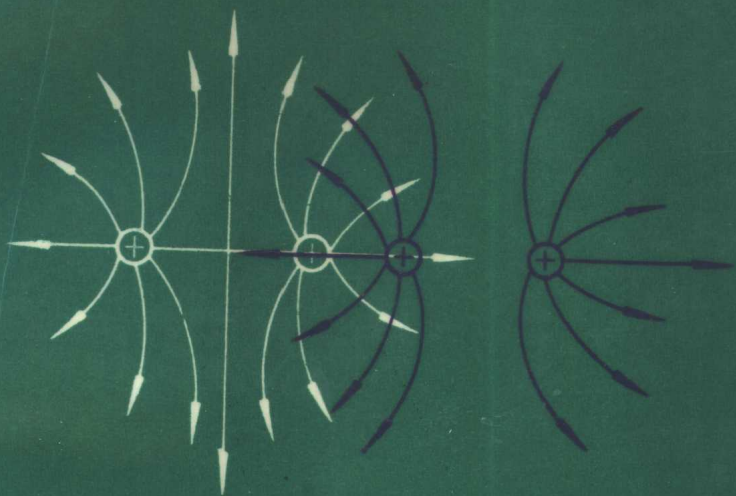


李梅 编



普通物理 错例剖析

机械工业出版社

普通物理错例剖析

李 梅 编



机械工业出版社

本书主要包括：辨错的一般规律，力学、热学、电学、光学等错例剖析。

错例主要取自大学生习题、试题中的常见错误。一般地，先给出题的错解，再作剖析，指出错误所在，最后给出正确答案。错误的剖析，着重概念、思路、方法论。把“怎样辨识题解的正误”专列一章，教给读者辨识正误的一些规律，有观点有例子，便于读者掌握、巩固基础知识，提高辨错能力。这些是本书的特点。

读者对象：大学生（包括电大、函大、夜大等）、大学物理老师。也可供高中生、中学物理老师参考。

普通物理错例剖析

李·梅 编

责任编辑：蓝君华

封面设计：郑景云

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $10^{1/4}$ ·字数 228 千字

1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷

印数 0,001—5,500·定价：2.65元

*

统一书号：7033·7017

前 言

学生做题，教师改题，历来如此。这种作法，致使不少学生在作完一道习题后，没经教师批改就不知解答之正误，更有甚者，做题只对答案负责，殊不知错解也可得正确的答案，（教师自然不会给以“正确”的结论）。为了改变这种状况，提高学生的解题水平，特别是剖析错误能力，我搜集了多年来学生作业、试卷中的常见错误，加以剖析，且把“怎样辨别解答之正误”专列一章，编写成讲义，几经使用，学生反映不错；错例的代表性强。从理论和方法上剖析，指出错误所在。从错误中学习是一种好方法。特别是解答正误辨识规律结合例子阐述，便于掌握、应用。本书在原讲义的基础上作了些充实、修改。这些正是本书的特点。

本书的第一部分是“怎样辨别解答的正误”，第二部分为力学、热学、电学、光学等各章错例剖析。一道例题，一般是先给出常见的错解，再剖析，最后给出正确的解答；也有的将错误的剖析留给读者，以作练习。

本书主要适用于大学生，特别是电大、夜大、函大等大学生，大学物理教师。也可供高中生及中学物理教师参考。

由于水平所限，书中如有缺点或错误，恳请读者指正。

编 者

目 录

第一章 怎样检查解答之正误	1
§ 1 量纲法检查	8
§ 2 从物理规律和物理意义上检查	12
§ 3 怎样取舍根值	43
§ 4 利用数学规律检查	47
第二章 力学	54
§ 1 运动学	54
§ 2 动力学	64
§ 3 动量原理与功能原理	103
§ 4 动量守恒定律与机械能守恒定律	123
§ 5 刚体的转动	151
第三章 热学	176
§ 1 理想气体状态方程	176
§ 2 分子运动论	180
§ 3 热力学定律	186
第四章 电磁学	193
§ 1 库仑力、电场强度、电势	193
§ 2 电容	208
§ 3 稳定电路	223
§ 4 磁场	231
§ 5 磁场对电流、运动电荷的作用力	239
§ 6 电磁感应	255
第五章 机械振动与机械波	276
§ 1 简谐振动	276
§ 2 机械波	292
第六章 光学及其它	300
§ 1 几何光学	300
§ 2 波动光学	314
§ 3 量子光学	316
§ 4 相对论	319

第一章 怎样检查解答之正误

学生解题时，常出现各种各样的错误。但是，错误往往是正确的先导。重视错例剖析，弄清楚错在哪儿，为什么错，进而纠正之。这样就能从错误中吸取教训，正确掌握基本知识和基本技能，提高学习效果。

解题时，常见错误类型有以下几种：

1. 概念不清而致误

每一道习题总要涉及到概念。因此，正确理解概念，是正确解题的先决条件。有的同学常因概念认识不清，导致错误的解答。

(1) 物理模型问题

模型是实际客体中抽象出来的，它抓住了主要的，基本的因素，而将次要的、非基本的略去或作其它简化。所以它是客体的近似。运用模型能解决许多问题，但任何模型都具有局限性，不存在无局限性的模型。忘记了它的局限性就会犯错误。例如，质点是一个模型。当一个物体，它的形状、大小在所研究的问题中可以略去不计时，即可看作质点；或者一个刚体，虽然形状大小不能略去不计，但它是只作平动，没有转动，则也可以看作质点。我们发现，不少同学在转动问题中，常常将某一刚体简化为质点来处理，这不是合理的简化，这带来不少错误。又如，无限长载流直导线也是一个模型，局限性之一是它忽略了导线的粗细，可是不少同学回答不出：为什么距导线越近，磁场越强，最后以致趋近无限

大？如果出一道较为复杂的问题，要自己去分析主次因素来归纳出题设条件下所属的模型，那就有更多的同学束手无策了。

(2) 对物理量掌握不好致误

例如动量，这是一个很重要的物理量，它具有矢量性、相对性、瞬时性、独立性。在解题中，经常可以见到将矢量性的方向忘了；不管相对哪一个参照系，见是速度就乘上质量就是动量；动量变化过程中，动量的瞬时性就反映出来了，可是，在碰撞的短暂过程中动量的变化就易被遗忘，误为动量不变。动能的相对性等也是容易出差错的地方。

位相，在振动与波中占有很重要的位置。它，既表示振动质点所在的位置，又表示其运动方向。由于知道了圆频率和初相后，就可求出任意时刻的位相，因此初相比相更为重要。在已知振幅、初位移和运动方向情况下求初相，容易将初相的正负取错。究其原因，还是对初相的意义掌握不好所致：它不仅反映初位移，而且还要表示运动方向。初相的正负取错，就是没有搞懂初始时刻质点的运动方向，究竟是向左还是向右。

(3) 关于系统的选择

系统就是指研究对象。研究对象不清楚，解题就很容易出差错。

力学中的“系统”如果清楚了，内力外力也就不会混淆。动量定理、功能原理，角动量原理及动量、机械能、角动量守恒定律的应用，就比较容易用对；反之，则易出差错。

热学、电学中也一样，“系统”问题是重要的。

“系统”概念清楚了，就会对“系统”的选择加以比较，合理地巧选系统，会给作题带来许多方便，选得不好会使题

解增加不必要的麻烦，或导致差错。

(4) 不明确或者不画出参考系、坐标系也常常致误

运动是绝对的，但对它的描述总是相对的，总是相对一定的参照物而言的；对不同的参照物，同一物体的运动有不同的描述。研究一道运动规律的题，确定参照系是非常重要的。不少题目，其参照系就是地球，但不是所有题都是如此。有些同学，不管什么题，解题中对参照系一字不提，心目中只有地球参照系。所以，一旦碰到相对位移、相对速度、相对加速度等问题，就容易当成相对地球的位移速度、加速度来处理。如力学部分，几个重要的定律、定理中有几个运动的物理量，都要求相对于同一惯性参照系才能用的，如果题目中给出几个量，但是不都是相对于同一参照系的，就必须先转化为相对于同一参照系，如果预先不统一，则不能不导致错误。有的也不分是否惯性参照系就乱用公式。

为了定量研究物体的运动，总要选取坐标的原点和坐标轴的正方向。很多学生，没有养成解题画坐标的良好习惯。这就容易把正、负搞混，或者把值搞错。例如动量守恒定律在某一个方向应用时，先选一个正方向，则正负很清楚；不画坐标轴方向或取动量的正方向，常常将正、负颠倒。不同的习题有不同的特点，甚至同一习题中不同物体的运动各有特殊性，紧紧抓住特点，巧妙地选取坐标系，能使解题简捷明快。由于对坐标系重视不够，不深入研究坐标系选法的优劣，坐标系选得不好，给解题带来许多不必要的麻烦，增加了致误的机会。

动生电动势 $\varepsilon = Blv$ 这一公式在中学中就作为重点学习过的，可是到大学里，如果问这一公式有什么条件，则很多同学都答不全。不少人就认为这一公式只能在匀强恒稳磁场

中才能应用，如问对于平行无限长载流导线运动的金属棒，切割磁力所产生的动生电动势能否直接应用此公式，此时才知道，只要棒 l 下对应的磁场均匀恒定即可应用；如果进一步问：无限长直导线中如通以交流电，平行导线运动而切割磁力线产生的动生的电动势，能直接应用此式？同学们认识又前进了一步，不恒稳也行。对于 l 的认识也一样。问：这棒与 B 、 v 决定的平面不垂直能直接套用吗？这棒如果不直，而是弯曲的又如何？这时，不少人还要考虑考虑，有的还不明白：不管棒是否垂直于 B 、 v 组成的平面，也不论棒是直是弯，只看其两端连线在垂直 B 、 v 平面上的有效长度，否则，乱套此式不能不出差错。

2. 乱套公式致误

物理学中，没有一个公式是没有条件的。要应用某一公式解题，必须搞清该公式有几个条件，在题设中是否具备了有关的条件。不这样作，当然容易致误。例如弹性势能 E 与形变量 x 平方成正比，比例系数即为倔强系数，其公式为 $E = \frac{1}{2}Kx^2$ ，有的同学说，势能零点是可以任意选取的，故应用此公式时，零点可以选在弹簧自然状态，也可另选。势能零点，在原则上可以任意选取，但是，在推导 $E = \frac{1}{2}Kx^2$ 这公式时已明确了零点，这就是弹簧自然状态，否则弹性势能的表示式就不是这样。又如，有的同学用安培环路定理来求一段载流直导线周围的磁场，殊不知这个定理只适用闭合电路。那么，无限长载流直导线的磁场为什么就可以用安培环路定理来求呢？因为无限长载流直导线可以看作是经过无穷远而闭合的。

3. 析题能力差致误

(1) 综合题

综合题是一类既重要又较困难的习题。它可以分为两类：第一、同一种运动形式中的综合，要用二个或二个以上的定律、定理等才能得解的；第二，是不同种运动形式的综合，如电—力、电—热、热—力、电—光、力—光、热—光等的综合，也有多于两种不同运动形式的综合。

解综合题难在哪儿？难在“综合”。要是能分析，能把一道综合题拆成几道相关的简单题，就不难了。拆题不是一件容易的事，分析时往往丢三拉四。例如电—力综合题，应该能够看出：从力学角度看可拆出什么题，从电学角度去看又能拆出什么题，这两部分题是通过什么渠道结合在一起——通过力的渠道还是通过能的渠道，或两者兼俱？解电—力综合题的基点应放在力学上。同学对力学又较熟悉，故往往容易把电的内容忘了。

(2) 迭加原理

迭加原理在力学、电学等各领域都具有重要意义。用它指导来解有些题，把复杂的题拆成几道小题，将小题的结果相加，即得复杂题的答案。可是，有的同学对此掌握不好。例如，有的求感应电动势习题，是感生与动生电动势的迭加，可是不少同学看不出，而只求了动生电动势；又如一棒作在垂直磁场平面运动，边转动边平动，其时的动生电动势也是两部分的迭加：转动产生的与平动产生的电动势之和，可是有的同学只考虑其一。

4. 运用数学工具能力差而致误

算题总要用到数学工具。数学工具掌握得好坏，对于习题作得对，还是不对，影响颇大：掌握得好，即使解題明

快，否则将是麻烦且易错。兹举几例。

(1) 线性关系

一个物理量与另一个变量如果是线性关系（如弹性力 F 与形变量 x 成线性关系），这时可用平均值代替变量，把变化的问题变为不变的问题来简单处理。如要计算弹性力做功，本来要用积分计算，现在可用平均力来代表，使问题大为简化。这一技巧，用得不少。可是，有的同学在做不平行的平板电容器之电容时，把厚度取平均值代入平行板电容器电容的公式，这种简化就错了，因为厚度对电容的影响不是线性关系。还有，我们说一个量与另一个量成线性关系时，即说明其它量是不变的，否则就不能说成线性关系。可是，有不少同学把平均自由程 $\bar{\lambda}$ 和温度 T 的下列关系

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}$$

说成线性关系，这不对！因为温度 T 与压强之间还有关系、要说 $\bar{\lambda} \propto T$ ，必须有一个先决条件即把其他量都固定下来。

(2) 微积分的应用

这是比较普遍因此是比较严重的问题。在力学中，特别是电学中用得很多，问题就更为突出。即是高等数学考得不错的，也不一定在物理中运用这一工具的能力就强。这是什么原因？因为这两者之间存在一个不小的阶梯。

利用积分解物理习题，一般分四步：建立积分元、选定积分限、统一积分变量、积分。在学习高等数学时，前三步学得很少。因此，应用积分时，这三步就是容易出问题的地方，特别是找不到被积函数的形式与积分限的和坐标选择的关系，易致错误。

积分元的建立，根据物理公式应该说是并不大的。可是，

在有的问题中，积分元建立得好，就是单积分问题，选得不好，会成为重积分，这即增加了出差错的机会。积分限的决定，应该是相对于同一原点，可是有的同学上限和下限的值采用了不同的原点；统一积分变量时，从原则上看，不管变量在积分号内与否，都可作统一变量。可是实际作时简繁差距很大。不会巧选统一变量。统一变量时，还常常见到把 $\sin \theta$ 与 $\cos \theta$ 搞混。

对于用积分方法解微分方程时，把变量分离这一简单而又基本的作法也应用得不理想。

(3) 数学归纳法的应用

在物理习题中，如需要应用归纳推理和数学归纳法的话，则此等题即属于同学感到有些难的习题。数学归纳法难在哪儿？不是在物理公式的列出，而是数学问题。数学归纳法分基始步和归纳步。基始步是归纳假设的基础，同学的问题大多在归纳步上，不会归纳假设，就凭猜测，猜就容易出差错。

5. 考虑不周导致解答不全

现举几例：

(1) 三角函数具有周期性。有的题未明确只求其一解时，忘记了周期性。

(2) 有的题存在两种或多种可能性，只就其一或其二作出解答；

(3) 根的选取中易将负根作为不合理的舍弃。其实，负根不一定是没有意义的，正根也不一定是都合理的。

(4) 求一个矢量，容易只求大小，而不指明方向。

那么，解答中的错误怎样发现呢？

一道习题之解答，是正确的还是错误的，其判断，有时

很明显，有时则得化点力气，而有时明知答案不对，但要寻找错误所在，确实要化费不少功夫；有时两种不同方法解的结果是一样的，从答案上说都是对的，但其一解法不对，要找不对在哪儿，也不是十分容易的。

解题中存在各种各样的错误，不存在一个划一的一查即能查出的规律。那么，检查解答的正误是否还存在一定的规律可以作为准绳的呢？虽然检查比较复杂、比较困难，应该说检查还是有一定的规律的。

检查解答一般由三方面着手：1) 量纲检查；2) 从物理意义上检查；3) 从数学规律检查。现分述于后。

§ 1 量纲法检查

一、什么叫量纲和量纲公式？

任一导出量的单位都是由三个基本量组成的，其间的关系是：一导出量的单位总可以表示为三个基本单位的一定的乘方形式：

$$[A] = L^p M^q T^r$$

例如：速度的单位与长度、时间、质量三个单位单位之间的关系为 $[v] = L^1 M^0 T^{-1}$ ；加速度 $[a] = L^1 M^0 T^{-2}$ ；力 $[F] = L^1 M^1 T^{-2}$ 。等等。在上述表示式中，指数 p 、 q 、 r 就称为导出量的单位对有关基本单位的量纲，上式称为该导出单位的量纲公式。

二、齐次定理：

在物理学里，一个定律、一个公式，都保持了等式两边有相同的量纲；在比较复杂的问题中，一个方程往往包含许多项，这方程中每一项的量纲都必须相同。总之，一个物理方程，不管是简单还是复杂，等式两边应具有相同的量纲，

这就称为齐次定理。

因此，我们可以利用比较量纲的方法来检查方程之正误：将等式两侧的各项分别求量纲公式，如各项的量纲都相同，则证明这等式在量纲上（也只能在量纲上）是没有错误的；但如果各项的量纲有差别，则肯定这等式有错误。还应指出：量纲部分只可能组成代数函数，如在 $\sin x$ 、 $\lg x$ 、 e^x 等中出现量纲就是错误的了。

用量纲方法检查等式，只能保证在量纲问题上有没有错误。这是它的局限性。例如，力矩和功就具有相同的量纲，但用量纲法就区别不出，我们应该记住。还有，公式中的数字系数是否正确，也不能用量纲检查。

现举几个简单的例子来说明。

【例 1】匀变速直线运动方程是：

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

在这方程中，等号右侧有三项，每一项的量纲分别为：

x_0 是初位移，量纲为 $[L]$ ；

$v_0 t$ 的量纲为 $[v_0 t] = [LT^{-1}][T] = [L]$ ；

at^2 的量纲为 $[at^2] = [LT^{-2}][T^2] = [L]$ 。

三项中的每一项量纲均为 $[L]$ ，与等号左侧的量纲相同。因此，这等式在量纲上保证没有问题。

【例 2】现有一个方程： $F = \frac{3}{5} \rho v^2$ （式中 F ——力， ρ ——密度， v ——速度）。这个方程对吗？ $\frac{3}{5}$ 是一个纯数，无量纲，因此用量纲分析不出它的正误。让我们检查一下 ρv^2 ：

$$\therefore [\rho] = [M][L]^{-3}, [v^2] = [L]^2[T]^{-2}$$

$$\begin{aligned}\therefore [\rho v^2] &= [M][L]^{-3}[L]^2[T]^{-2} \\ &= [M][L]^{-1}[T]^{-2}\end{aligned}$$

已知 力的量纲 $[F] = [M][L][T]^{-2}$ 。因此所得的方程是错的。其实, $\frac{1}{2}\rho v^2$ 具有压强的量纲。

【例 3】如解得某题的文字表示式为

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{E}{mc\sqrt{gl}}$$

式中 E ——能量; m ——质量; c ——光速; g ——重力加速度; l ——长度; α ——角度。

现对上式进行量纲分析:

$$\left[\sin \frac{\alpha}{2} \right] = \frac{[M][L][T]^{-2} \cdot [L]}{[M][L][T]^{-1} \sqrt{[L][T]^{-2} \cdot [L]}} = 1$$

这表明正弦函数是无量纲的,也正是我们所期望的。

【例 4】在倾角 $\theta = 60^\circ$ 的光滑斜面上,一质量为 $M = 0.99\text{kg}$ 的木质小球,系于一倔强系数 $K = 10\text{N/m}$ 的弹簧的一端,弹簧的另一端固定(图1-1-1),现有一质量 $m = 0.01\text{kg}$ 的子弹以 $v = 200\text{m/s}$ 的速率水平射入小球内、试求小球沿斜面上滑的最大距离 L_m 。

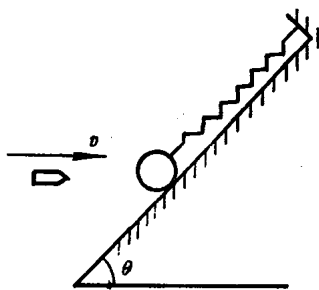


图 1-1-1

【解】子弹射入小球为完全非弹性碰撞过程,把小球和

子弹作为研究对象,在斜面方向上动量守恒(重力、弹力、支持力对动量的影响是什么?请思考),设碰撞后子弹和小球沿斜面向上的速度为 V ,且取沿斜面向上为正向,则

$$(M+m)V = mv\cos\theta \quad (1)$$

代入数据可以解得

$$V = \frac{mv\cos\theta}{(M+m)} = \frac{0.01 \times 200}{0.99+0.01} \cos 60^\circ = 1 \text{ (m/s)}$$

碰撞后,小球和子弹沿斜面作简谐振动。因子弹的质量比木球的质量小100倍左右,所以平衡位置可以认为就是小球原来静止的地方。这样,小球沿斜面上滑的最大距离 L_m 就是它作简谐振动的振幅。故有

$$\frac{1}{2}KL_m^2 = \frac{1}{2}(m+M)V^2 \quad (2)$$

$$L_m = \sqrt{\frac{M+m}{K}} \cdot V = \sqrt{\frac{0.99+0.01}{10}} \times 1 = 0.316 \text{ (m)}$$

【检验】 式(1)中 $\cos\theta$ 是无量纲的,故很明显,等号两边具有相同的量纲。

式(2):等号左边的量纲是 $[M^1T^{-2} \cdot L^2]$ 等号右边的量纲也是 $[M^1L^2T^{-2}]$ 。

所以从量纲上,式(1)、(2)是没有问题的。

【思考】 重力势能的变化应否在式(2)中出现?为什么?

【例5】 两个半径均为 R 的球,球心间距 $O_1O_2 = d$ 。重迭部分挖空,将剩余部分各带体密度为 $+\rho$ 、 $-\rho$ 的电荷。求 P 点的场强(图1-1-2)。

【解】 带体密度为 $+\rho$ 的球 O_2 ,在 P 点产生的场强

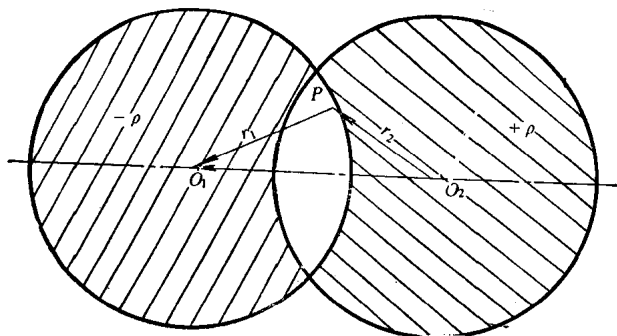


图 1-1-2

$$\vec{E}_2 = \frac{\rho \vec{r}_2}{\epsilon} \quad (\text{方向从 } O_2 \text{ 指向 } P)$$

带 $-\rho$ 的球 O_1 在 P 点产生的场强为

$$\vec{E}_1 = \frac{-\rho \vec{r}_1}{\epsilon} \quad (\text{方向从 } P \text{ 指向 } O_1)$$

根据场的迭加原理, P 点合场强为

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \frac{\rho}{\epsilon} (\vec{r}_2 - \vec{r}_1) = \frac{\rho}{\epsilon} \overrightarrow{O_2 O_1} \quad (\text{从 } O_2 \rightarrow O_1)$$

【思考】 请用量纲法判别此答案的正误。

§ 2 从物理规律和物理意义上检查

一、首先检查所建立的方程是否符合题意

透彻理解和分析清楚题目所描述的物理过程, 是解题的关键。因为只有通过物理过程的分析, 才能发现物理变化遵循什么物理定律、定理及什么物理概念, 才能建立题目的实际与理论之间的联系, 从而产生解题的思路、方法。只有当所理解的物理过程和真实的物理过程一致时, 则解题的思路和方法才是正确的。