

怎样解题

——中学物理解题思路和方法

安徽教育出版社

怎样解题

中学物理

解题思路和方法

何国平　编著

安徽教育出版社

责任编辑：王宏金

怎样解题
——中学物理解题思路和方法
何国平　编著
安徽教育出版社出版
（合肥市跃进路1号）
安徽省新华书店发行　　六安新华印刷厂印刷
*
开本：787×1092　1/32　印张：9.25　字数：200,000
1987年9月第1版　　1987年9月第1次印刷
印数：47,000
统一书号：7276.699　　定价：1.60元
ISBN7—5336—0068—1/G·699

前　言

解题是中学生学习物理学的重要手段之一，它能集中反映学生对物理基础的掌握程度和解决问题的能力。或者说，只有准确地把握住物理基本概念、基础知识的内涵和外延，才能正确解题。

笔者在长期的中学教学实践中，注意积累有关中学物理解题方法、思路、技巧等方面的知识，并系统地总结、整理成资料。现将这些资料汇编成书，奉献给广大中学生，希望对同学们学习物理有所帮助。

本书兼顾高中物理的两种教学要求，遵循学生的认识规律，启迪学生的解题思维。本书还就中学物理题的各种题型，进行分类剖析，总结各自的解题特点。

本书在编写过程中，得到许多同志的帮助，汪昭义、邵亨凤、姚静规等同志还对书稿提出了宝贵的意见，在此致谢。

作　者

1987年2月

目 录

第一章 物理解题中的科学思维方法

第一节 比较与鉴别的方法……〔 1 〕
1.形同、质异的比较……(2)
2.形异、质同的比较……(6)
3.多种解法的比较……(9)
4.综合性比较……(13)
第二节 分析和综合的方法……〔 15 〕
1.分析解题法……(16)
2.综合解题法……(19)
3.先分析后综合解题法……(25)
第三节 归纳和演绎的方法……〔 29 〕
1.归纳法解题……(30)
2.演绎法解题……(39)
第四节 形象思维和抽象思维的方法……〔 44 〕
1.等效方法……(45)
2.理想化方法……(52)

第二章 物理解题的环节和规律

第一节 读审……〔 60 〕

1.读题明意……（ 61 ）
2.审清条件……（ 66 ）
第二节　构思……〔 75 〕
1.分层解析……（ 75 ）
2.展开思路……（ 85 ）
第三节　解答……〔 91 〕
1.精选解法……（ 91 ）
2.规范解题……（ 101 ）
第四节　验讨……〔 107 〕
1.检验结果……（ 107 ）
2.解后讨论……（ 116 ）

第三章　解题思路的形成和拓宽

第一节　解题思路是解题的中心……〔 124 〕
1.解题过程是思维的过程……（ 125 ）
2.思路混乱必然导致错解……（ 130 ）
3.注意加强解题思路的训练……（ 135 ）
第二节　形成解题思路的途径……〔 139 〕
1.再生性思路途径……（ 141 ）
2.逻辑性思路途径……（ 145 ）
3.探索性思路途径……（ 151 ）
第三节　拓宽解题思路的方法……〔 156 〕
1.一题多思……（ 157 ）
2.一题多变……（ 161 ）
3.多题一解……（ 165 ）
4.一题多议……（ 169 ）

第四章　解题关键和突破口

第一节　揭示解题关键的技巧……〔174〕
1.物理技巧……（174）
2.数学技巧……（187）
第二节　怎样找到解题关键的突破口……〔203〕
1.科学思维为寻找突破口导向……（203）
2.题中关键词句暗示着突破口……（207）
3.题中过程关联量是寻找突破口的航标…（211）

第五章　中学物理问题分类例析

第一节　标准化题……〔216〕
1.物理标准化的题型……（217）
2.选择题的求解……（230）
第二节　综合题……〔240〕
1.综合题的特点……（241）
2.综合题的解题关键……（245）
第三节　实验题……〔258〕
1.实验题的类型……（259）
2.实验题的解题特点……（270）

第一章

物理解题中的科学思维方法

思维有使感性认识上升到理性认识的作用，它可帮助人们预见事物的进程和结果。可以说，没有科学的思维就没有科学技术的现在和未来。

在中学物理中，科学的思维不仅在建立物理概念、掌握物理规律方面起着重要作用，而且在解答物理习题中，也起着重要的引导作用。

物理解题中运用最多的科学思维方法有：比较与鉴别、分析与综合、归纳与演绎、形象与抽象等。如果在解题时能灵活运用这些科学思维方法，既会使你的解题思路准确清晰，又可灵活运用所学知识选取最佳解题方法，使学习效率得以提高。

第一节　比较与鉴别的方法

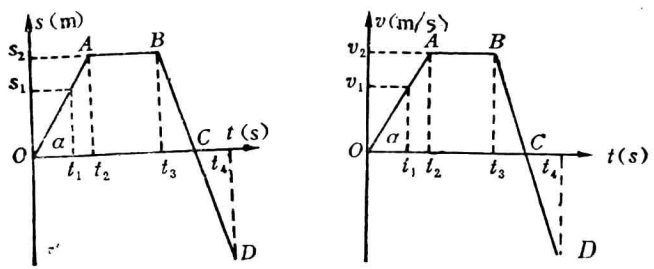
所谓比较，是确定事物同异关系的思维过程和方法；所谓鉴别，是通过比较识别事物的共同点和差异点。人们认识事物往往是根据一定的标准，把与此有联系的事物加以对照

比较，从而区别它们的本质特征。因此，要鉴别就得比较，有比较才能鉴别。

比较和鉴别的方法是中学物理中经常应用的一种科学思维方法，在解答物理习题时广泛运用。比较和鉴别，通常是进行事物特征的比较，即比较其物理概念和物理规律的不同特点，比较题目所给物理条件的差异，比较题目阐述物理过程在不同阶段的特殊性等等。通过这些比较，进而确定正确的解题思路。归纳起来，比较与鉴别的科学思维在解题运用中，有下列几个方面。

一、形同、质异的比较

这类比较是将两个或几个貌似相同或相近而物理过程却根本不同的问题进行比较，在比较中揭示它们的共性和特征，消除和澄清易混淆的模糊概念。例如，速度图线和位移图线是易混淆的两个问题。从物理概念和数学表达形式上加以比较，即可从相近的两图线中鉴别出它们不同的物理过程，找出两种图线的本质区别，然后根据题意回答问题。



（甲）　　（乙）

图 1—1

图1—1（甲）、（乙）分别表示位移图线和速度图线，这两种图线放在一起比较、对照，即可找出两者形同质异的区别。

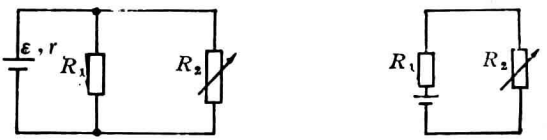
位移图线与速度图线比较表

相应问题	位移图线	速度图线
1.图线表达的含义是什么？	位移与时间的关系	速度与时间的关系
2.图线的斜率指的是什么？	$\mathrm{tg}\alpha=\frac{s_2-s_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$ $=v$（速度）	$\mathrm{tg}\alpha=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ $=a$（加速度）
3.OA线段表示什么？	物体作匀速直线运动	物体作匀加速直线运动
4.AB线段表示什么？	物体处于静止（$v=0$）	物体作匀速直线运动（$a=0$）
5.BC线段表示什么？	物体作反方向匀速直线运动（回头）	物体作匀减速直线运动（物体运动方向未变）
6.C点表示什么？	物体回到出发点（仍在前进）	物体已停下来（$v=0$）
7.CD线段表示什么？	物体继续反方向匀速直线前进	物体反方向作匀加速直线运动
8.t_3和t_4秒末运动的特点	t_3、t_4秒末，物体离原点O等距离，但位移方向相反	t_3和t_4秒末物体速度大小相等、方向相反，t_3和t_4秒内位移相等

上表抓住了s—t图和v—t图的根本特征，进行比较，直观明了。象这类涉及的概念相近而实质不同的习题，在中学物理中为数不少，如磁偏转和电偏转、动能和动量、电势差和电动势等等。解题分析时必须注意区别，以免导致解题和

错误。

如图1—2（甲）所示电路，R_1为定值电阻，R_2为可变电阻，电源电动势和内阻分别为ε、r。问R_2为何值时，R_2上消耗的功率最大？最大功率为多少？



（甲）　　（乙）

图1—2

解答这道题时会使我们联想起，若R_1、R_2串联（如图1—2乙所示），当求该电路R_2上最大功率消耗时，可把R_1看成是电源内电阻的一部分，利用电源最大输出功率条件和电源最大输出功率的结论来求解。参照(乙)图，将(甲)图中R_1看作电源内阻的一部分，当$R_2=\dfrac{R_1 r}{R_1+r}$时，R_2上消耗功率最大，且最大功率为

$$P_m=\frac{\varepsilon^2}{4r_{内}}=\frac{\varepsilon^2}{4R_2}=\frac{\varepsilon^2(R_1+r)}{4R_1\cdot r}。$$

P_m的值对吗？错了。错在没有比较出（甲）、（乙）两图质异所在，即（甲）图的等效电源的电动势不再是ε，而应该是当R_2开路时，R_1两端的电压

$$\varepsilon'=\frac{\varepsilon}{R_1+r}\cdot R_1\ 。$$

当 $R_2=\dfrac{R_1\cdot r}{R_1+r}$时，

R_2上消耗的最大功率为

$$P_m=\frac{\varepsilon'^2}{4R_2}=\frac{\varepsilon^2R_1}{4(R_1+r)r}.$$

例1 一根不可伸长的轻质绳，长为$2l$，将它的一端固定于A，另一端固定于B（如图1—3所示），$AB=l$。一质量为m的光滑圆环套在绳上，并以A为圆心，沿水平轨道作匀速圆周运动，求：

（1）绳所受张力？

（2）圆环运动的线速度？

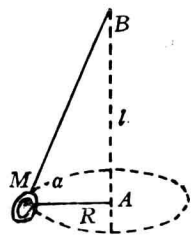


图1—3

分析 初学者常列下列方程

$$\begin{cases}T_1\cdot\sin\alpha=mg\\T_1\cdot\cos\alpha+T_2=mv^2/R\end{cases}$$

式中T_1为MB段绳子张力，T_2为MA段绳子张力。结果两个方程组，三个未知量：T_1、T_2和v，无法寻找第三个方程，思路阻塞。

原因何在呢？在于将圆环当圆球。若是圆球，绳MA和MB则为两段单独系绳，而光滑圆环，却是一根细绳(即MB与MA是整体)，于是张力$T_1=T_2=T$。如果不认真比较，难以鉴别出各自的特点，一旦点破圆环作圆周运动时绳子张力的特点，解题就轻而易举了。这样，前面的方程组可简单列为

$$\begin{cases}T\sin\alpha=mg\\T\cos\alpha+T=mv^2/R\end{cases}$$

由几何知识可得

$$R^2+l^2=(2l-R)^2$$

解得 $R=3l/4$

又 $\sin\alpha=\dfrac{l}{2l-3l/4}=\dfrac{l}{5l/4}=\dfrac{4}{5}$

$$\cos\alpha=\frac{3l/4}{5l/4}=\frac{3}{5}$$

所以绳子张力

$$T=\frac{mg}{\sin\alpha}=\frac{mg}{4/5}=\frac{5}{4}mg$$

圆环运动线速度

$$v=\sqrt{\frac{T(\cos\alpha+1)R}{m}}$$

$$=\sqrt{\frac{\frac{5}{4}mg(\frac{3}{5}+1)\cdot\frac{3}{4}l}{m}}$$

$$=\sqrt{1.5gl}\ 。$$

可见，通过形同、质异的比较，既澄清了一些模糊概念，又进一步理解了题意，根据题目所给已知条件，鉴别出题设所符合的物理过程，从而可选取解题方法。

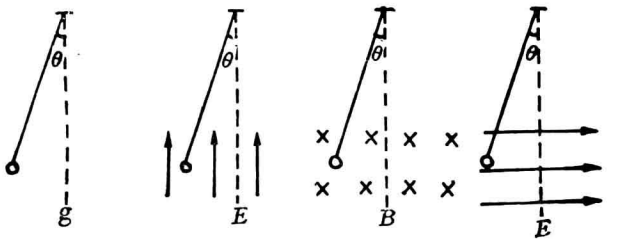
二、形异、质同的比较

这类比较是貌似不同，即物理条件不同，而其物理规律却相同的问题。解题中，要运用有关的物理知识透过现象看本质，寻找相同的处理方法。

例 2 摆长相等的四个铜球单摆，带电量均为$-q$，分别在重力场以及附加场强为E的电场或磁感应强度为B的磁场中摆动，若摆角很小，分别求其振动周期（如图 1—4 所示）。

分析 四个铜球单摆分别在不同情况下摆动，因而回复

力各不相同。但它们的实质点都是单摆振动，因此都可用周期公式$T=2\pi\sqrt{L/g}$来描述。图（甲）是最基本情况，可以直接套用公式，即$T_{甲}=T$。



（甲）　（乙）　（丙）　（丁）

图 1—4

对于后面三种情况，只要根据所给不同条件，分析其加速度如何变化，问题就解决了。对于图（乙）

$$g'=g+a=g+\frac{qE}{m}$$

$$\therefore\quad T_{乙}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g+qE/m}}$$

图（丙）中，摆球受洛仑兹力，其方向始终与运动方向垂直，不影响振动周期，因此

$$T_{丙}=T_{甲}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

图（丁）中，摆球受一水平方向的电场力，此时，$g'=\sqrt{g^2+a^2}=\sqrt{g^2+(qE/m)^2}$，因而

$$T_{丁}=2\pi\sqrt{\frac{L}{[g^2+(qE/m)^2]^{1/2}}}$$

将此题再延伸下去，单摆还可放在处于重力场的加速系统中，或匀质液体中。这些情况的处理方法都是相同的。

这类物理条件不同而物理规律相同的问题，在中学物理中是屡见不鲜的，我们在比较中，应着重于灵活运用和巩固基本概念，找出此类问题的解答方法。

比如，带电粒子以某一初速度垂直场强方向射入均匀电场的运动，与物体在重力场中的平抛运动相类似，俗称类似平抛运动。在解答此类问题时，便可采用平抛运动的计算方法来处理。

例3 如图1—5所示，一个密度为$\rho_{木}=0.5\times10^{3}$千克/米^{3}的木球，从斜面顶端由静止无摩擦地沿斜面下滑，至斜面中点O时，开始进入水中。设水对球除浮力外无其它阻力，试问木球进入水后能否碰到池底？

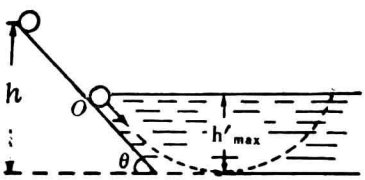


图1—5

分析 解题的关键在于弄清球进入水后的运动状况。根据受力分析可知，木球进入水后，在合力作用下得到的加速度为

$$a=\frac{F_{合}}{m}=\frac{F_{浮}-G}{m}=\frac{\rho_{水}\cdot gm/\rho_{木}-mg}{m}=g$$

其方向是竖直向上的，另外，球入水时的速度

$$v=\sqrt{2gh/2}=\sqrt{gh}$$

方向与水面成θ角。

与斜抛运动比较，木球作的是类似斜抛的曲线运动，于是，可将木球能否碰及池底的问题，归结为求斜抛运动物体的最大高度的问题，使问题化难为易。这里加速度方向竖直

向上，最大深度即是斜抛最大高度。利用斜抛运动规律可列出函数式，即

$$h'_{max}=\frac{v^2\sin^2\theta}{2g}=\frac{(\sqrt{gh})^2}{2g}\cdot\sin^2\theta=\frac{h}{2}\sin^2\theta$$

木球能否碰及池底，关键要看h'_{max}是否等于或大于$h/2$，而表达式中h'_{max}由$\sin^2\theta$决定，当$\theta=90°$时 $h'_{max}=\frac{h}{2}$；但由题目得知$\theta<90°$，所以$\sin\theta<1$，$\sin^2\theta<1$。

因此，$h'_{max}<h/2$，木球不会碰到池底。

三、多种解法的比较

一道题目往往有多种解法，解题中将几种方法进行比较和鉴别，不仅有助于巩固基础知识，掌握基本解法，而且可以鉴别出最优的解法，获取解题规律。如下例：

一个物体从高10米的A点沿斜面滑下，经ABC到C点停止，如图1—6所示。若DC长为50米，试求物体和路面的摩擦系数（不考虑物体到达B点碰撞时能量的损耗；ABC段路面均为同一种材料）。

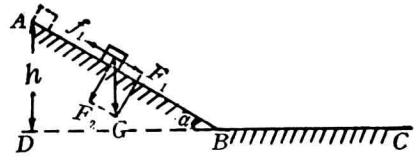


图1—6

一般说来，力学问题都有三种基本解题方法：一种是运用牛顿运动定律和运动学规律；另一种是运用动能定理或能量守恒定律；还有一种是运用动量定理或动量守恒定律。那么这道题用什么方法来解较为简便呢？我们通过几种渠道来比较。

首先，从牛顿运动定律和运动学规律来考虑。

设 $DB=l$，$DC=s$，

则 $AB=\sqrt{h^2+l^2}$

又 $\sin\alpha=\dfrac{h}{\sqrt{h^2+l^2}}$

$\cos\alpha=\dfrac{l}{\sqrt{h^2+l^2}}$

物体在AB段的受力情况分析如图 1—6。设运动的加速度为a_1，根据牛顿第二定律

$$F_1-f_1=ma_1$$

即 $mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha=ma_1$

$$a_1=g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha$$

物体抵达底端B时的即时速度为v_B，则

$$v_B^2=2a_1\cdot\sqrt{h^2+l^2}$$

$$=2\left(g\frac{h}{\sqrt{h^2+l^2}}-\mu g\frac{l}{\sqrt{h^2+l^2}}\right)\cdot\sqrt{h^2+l^2}$$

$$=2g(h-\mu l) \qquad (1)$$

物体在BC段作匀减速运动，其加速度为a_2，$v_t=0$，所以

$$-v_B{}^2=2a_2(s-l)$$

又 $f_2=-\mu mg=ma_2$

得 $a_2=-\mu g$（负号表明加速度方向与运动方向相反）

于是 $v_B{}^2=-2\cdot(-\mu g)(s-l)$

$$=2\mu g(s-l) \qquad (2)$$

由(1)、(2)两式得

$$2g(h-\mu l)=2\mu g(s-l)$$

$$\therefore\quad \mu=\frac{h}{s}=\frac{10}{50}=0.2$$

再从功能关系考虑。

物体克服阻力做功等于机械能减少，即

$$W_{阻}=E_1-E_2=mgh \qquad (3)$$

又 $W_{阻}=f_1\cdot AB+f_2\cdot BC$

$$=\mu mg\frac{l}{\sqrt{h^2+l^2}}\cdot\sqrt{h^2+l^2}+\mu mg(s-l) \qquad (4)$$

由(3)、(4)两式得

$$mgh=\mu mgl+\mu mg(s-l)$$

$$\therefore\quad \mu=\frac{h}{s}=\frac{10}{50}=0.2$$

最后，从动能定理考虑。

可列方程 $F_1\cdot AB-f_1\cdot AB-f_2\cdot BC=0$

即 $mg\sin\alpha\cdot AB-\mu mg\cos\alpha\cdot AB-\mu mg\cdot BC=0$

化简为 $h-\mu l-\mu(s-l)=0$

得 $\mu=\frac{h}{s}=\frac{10}{50}=0.2$

比较三种解法，不难看出，一种优于一种，第三种解法是最优解法。能否就此得出结论：应用能量守恒定律（或功能关系）、动能定理解题总是比应用运动定律解题简便呢?不能。我们把这道题稍加变动再来讨论。

如图1—7所示，物体从A开始下滑，到第二秒末的速度是5米/秒。如果斜面高h是斜面长l'的一半，求物体与斜面间的摩擦系数。

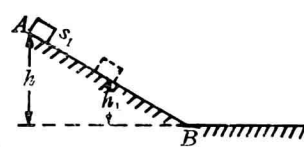


图 1—7

先用能量守恒定律（或功能关系）来解。

设第二秒末物体的高度为h_1，下滑距离为s_1，斜面倾角为α，则根据功能关系

$$mgh=mgh_1+\frac{1}{2}mv^2+fs_1 \qquad (1)$$

$$\sin\alpha=\frac{h}{l'}=\frac{1}{2},\ \therefore\ \alpha=30^\circ$$

由(1)式得

$$mgl'\sin\alpha=mg(l'-s_1)\sin\alpha+\frac{1}{2}mv^2+\mu mg\cos\alpha\cdot s_1$$

又∵ $s_1=\frac{1}{2}vt$

$$\therefore\ mgl'\sin\alpha=mgl'\sin\alpha-mg\cdot\frac{1}{2}vt\sin\alpha+\frac{1}{2}mv^2+\mu mg\cos\alpha\cdot\frac{1}{2}vt$$

$$\therefore\ (g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha)\cdot\frac{1}{2}vt=\frac{1}{2}v^2$$

化简得 $g\sin\alpha\cdot t-\mu g\cos\alpha\cdot t=v$

则 $$\mu=\frac{g\sin\alpha-v/t}{g\cos\alpha}=\frac{10\times1/2-5/2}{10\times\sqrt{3}/2}=0.29$$

再用运动定律来解。

根据牛顿第二定律可列方程

$$mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha=ma \qquad (1)$$

式中 $a=v/t$ (2)

将(2)式代入(1)式并化简得

$$\mu=\frac{g\sin\alpha-v/t}{g\cos\alpha}=\frac{10\times1/2-5/2}{10\times\sqrt{3}/2}=0.29$$

显而易见，该题采用运动定律来解比较方便。因此，我们不能轻易认为应用能量定律(或功能关系)、动能定理解题总

是比较简便。许多力学题解答结果表明，当物体运动轨迹是一条直线时，应用运动定律解题，并不一定比用能量守恒定律（或功能关系）解题繁。如果物体运动轨迹是一条折线，尤其是当轨迹为一条曲线时，应用能量守恒定律比较简便。其原因是它只与物体运动的初、末位置的机械能有关，与物体运动的中间状态关系不大，这就使运算过程大为简化。

例如“把地面上放置的一根长为L米，质量为m千克，粗细均匀的钢棒，一头触地，另一头竖起，则需对它作多少功？”很明显，使铁棒竖起做功的力是不断变化的，若采用运动定律解题，在中学阶段很难求解。但采用能量守恒定律则容易求解。

四、综合性比较

选择题是最主要的标准化题型之一。它的特点是需要进行全面的、综合性的比较，比较概念，比较物理现象及物理规律，然后才能作出正确的选择和判断。

例 4 水平匀速飞行的飞机上，先后（每隔 1 秒种）释放三个物体A、B和C，不计空气阻力，在物体落地之前，它们在空中的位置是

(1) A在B的前方，B在C的前方；

(2) A在B的后方，B在C的后方；

(3) A、B和C都在飞机的正下方，且在三秒内、竖直方向，它们下降的高度$h_A : h_B : h_C = 9 : 4 : 1$；

(4) A、B和C在空中排列成抛物线。

分析 这道选择题所叙述的物理过程是从飞机上释放物体，要比较释放物A、B、C的共同点和不同点。由于飞机是匀速飞行，空气阻力又不考虑，故释放物的共同点是都作平抛运动；由于它们的水平速度都相同（飞机的速度），这意味着落地前，它们都在飞机的正下方。因此，选择答案(3)可能正确。

另外，释放物A、B、C在竖直方向上都作自由落体运动，只是开始下落的时间不同。根据自由落体公式$h=\frac{1}{2}gt^2$可知落下的高度$h\propto t^2$，即$h_A:h_B:h_C=9:4:1$；经过这样比较，自然得出答案(3)是正确的。

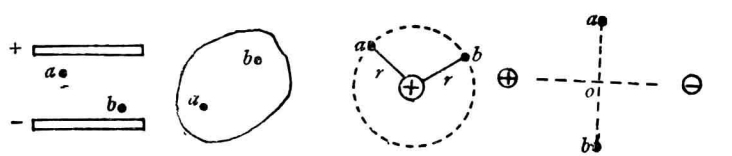
例5 指出如图1—8所示的哪些情况中，a、b两点的电势相等，a、b两点的电场强度矢量也相等。

(1) 平行板电容器带电时，极板间除边缘附近外的任意两点a、b；

(2) 静电场中达到静电平衡的导体内部任意两点a、b；

(3) 离点电荷等距的任意两点a、b；

(4) 两个等量异号的点电荷，在其连线的中垂线上，与连线中点o等距的两点a、b。



(1) (2) (3) (4)

图1—8

分析 该题用四个图形展现了三种电场和一个电场中的

静电平衡了的导体。这是一道综合性选择题，涉及的基本概念有：电势、电场强度矢量、匀强电场、点电荷电场、两异种电荷形成的叠加电场，以及电场中的导体等。在吃透上述基本概念的基础上，对四种情况进行综合比较，才可得出正确的结论。

此题的具体解答，留给读者自己完成，这里不再赘述。

第二节　分析和综合的方法

所谓分析，就是把复杂的事物分解为若干个别的组成部分来研究，在中学物理中就是把复杂的物理现象或物理过程分解成一系列简单的现象或过程，再对这些现象或过程进行研究，从中找出影响它们的主要因素和次要因素，为认识和解答复杂物理现象或过程准备必要的条件。

与分析相反，综合是把被研究的相互有联系的几个个别物理现象或物理过程，联贯起来考虑，从而对事物的整体，有一个全面的、完整的、本质性的认识。

分析与综合，贯穿在整个认识过程中，它们彼此相反而又相互联系。没有分析就无法综合，就不可能对事物的整体有完整而又正确的认识。相反，只有分析没有综合，认识只是孤立的，甚至是片面的。因此，分析中要综合，综合中又离不开分析，这种关系贯穿在认识事物的整个过程，是物理学习和解答物理习题的一种重要而又基本的思维方法。

一、分析解题法

用分析为主的思维方法去解题，叫分析解题法，简称分析法。解题时，从题目的所求量（未知量）开始，写出题目所给的最后一问的直接解答公式，即所谓原始公式；在解答公式等号的右侧，有可能出现一个或几个新的未知量，这就又需要列出求解这些新未知量的直接解答公式。复杂的综合题，有可能还要再推演下去，直到解答公式等号的右侧完全没有未知量为止。

这种解题方法是由未知追逐到已知。每求一个未知量，需对局部的物理过程进行一次分析，根据相应的物理规律，选择适当的物理公式，逐个计算出公式等号右侧的未知量。由于选用的原始公式之间存在着紧密的联系，锁链于整个物理过程之上，因此，分析的过程也包含综合的过程。

例 6 一物体在倾角$\theta=45°$的斜面上，以初速度$v_0=10$米/秒沿斜面上滑，物体跟斜面间的摩擦系数$\mu=0.2$，求物体返回出发点时的速度多大？（如图 1—9 所示）

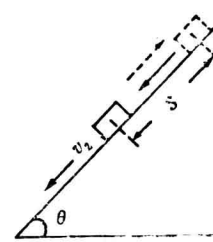


图 1—9

分析 首先，根据题意，列出求最后提问的计算公式

$$v_2=\sqrt{2a_2s_2} \qquad (1)$$

式中a_2是物体返回运动中的加速度，s_2为从最高点返回原出发点的距离，公式等号右侧都是未知量，于是，再列公式求其值。

根据牛顿第二定律

$$a_2=\frac{F_1-f}{m}=\frac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}$$

$$=g\sin\theta-\mu g\cos\theta \qquad (2)$$

(1)式中s_2等于物体上行的最大距离s_1,则

$$v_0^2=2a_1s_1=2a_1s_2 \qquad (3)$$

(3)式中$a_1=\frac{F_1+f}{m}=\frac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{m}$

$$=g\sin\theta+\mu g\cos\theta$$

于是 $s_2=s_1=\frac{v_0^2}{2a_1}=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$

至此，(1)式等号的右侧已没有未知量，分析过程结束。上述每一步都是从计算公式(1)拓开的，因此最后提问就是求解的前提。

具体解题时，是否把上述分析过程全写在卷面上呢？不必。分析过程可在草稿纸上进行，具体演算有两种方式：

(1) 从最后一步解答公式开始，逆着分析的顺序进行数值运算。则：

物体上行的最大距离

$$s_1=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$$

$$=\frac{10^2}{2\times10\times(\sin45^\circ+0.2\cos45^\circ)}=\frac{25\sqrt{2}}{6}(米)$$

s_1和下滑到起始点的距离s_2相等，$s_2=s_1=\frac{25\sqrt{2}}{6}$米

下滑运动的加速度

$$a_2=\frac{F_1-f}{m}=\frac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}$$

$$=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$$

$$=10\times\frac{\sqrt{2}}{2}-0.2\times10\times\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$=4\sqrt{2}\text{(米/秒}^2\text{)}$$

返回原处的速度

$$v=\sqrt{2a_2s_2}=\sqrt{2\times4\sqrt{2}\times25\sqrt{2}/6}$$

$$=8.2\text{(米/秒)}$$

(2) 也从最后一步解答公式开始，逆分析过程，用文字符号由后式逐步向前式代入，最后得一总公式，该总公式等号右侧仅含已知量的文字符号，然后再代入相对应的数值进行运算，即可得出最后结果。具体过程如下：

物体上滑加速度

$$a_1=\frac{F_1+f}{m}=\frac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{m}$$

$$=g\sin\theta+\mu g\cos\theta$$

物体下滑距离s_2和上滑距离s_1相等，即$s_1=s_2=s$

$$s=\frac{v_0^2}{2a_1}=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$$

物体下滑加速度

$$a_2=\frac{F_1-f}{m}=\frac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$$

物体下滑至始点的速度

$$v_2=\sqrt{2a_2s}$$

$$=\sqrt{2g(\sin\theta-\mu\cos\theta)\cdot v_0^2/2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$$

$$=\sqrt{\frac{\sin\theta-\mu\cos\theta}{\sin\theta+\mu\cos\theta}}\cdot v_0$$

$$=\sqrt{\frac{\sqrt{2}/2-0.2\sqrt{2}/2}{\sqrt{2}/2+0.2\sqrt{2}/2}}\times10=8.2\text{(米/秒)}$$

一般说来后一种演算方式较简便，因为在得出总公式后再代入数值，一些数据可以约去，一些项可以消掉，免除了一些不必要的演算，可以收到演算简便、答案精确的效果。如果计算公式繁杂庞大，过于臃肿，采用此法则运算过程会显得复杂、易错。这类情况，则应采用前一种演算方式。

二、综合解题法

综合解题法主要是用综合的思维方法解题。与分析解题法相反，综合解题法解题时，不是从直接回答题目的所求量出发，而是从已知量开始，先找出某些已知量间的关系进行运算，再寻求所求量与已知量间的关系式。对于简单的习题，可直接从写出已知量与未知量关系式入手。我们不妨把例题 6 用综合法再次解答如下：

物体下滑的加速度

$$a_2=\frac{F_1-f}{m}=\frac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}$$

$$=g\sin\theta-\mu g\cos\theta \qquad (1)$$

物体上滑距离等于下滑至原处的距离，即

$$s=v_0^2/2a_1 \qquad (2)$$

上滑加速度

$$a_1=\frac{F_1+f}{m}=\frac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{m}$$

$$=g\sin\theta+\mu g\cos\theta \qquad (3)$$

物体下滑至原处的速度

$$v_2=\sqrt{2a_2s} \qquad (4)$$

至此，已知量和所求量的关系已经明朗，剩下只是具体演算。具体演算也有两种方式：其一，按(1)、(2)、(3)、(4)式顺序，逐式求解；其二，将(3)式代入(2)式，其结果代入(4)式，同时也将(1)式代入(4)式，得到一个最后求解的总公式，即

$$v_2=\sqrt{\frac{\sin\theta-\mu\cos\theta}{\sin\theta+\mu\cos\theta}}\cdot v_0$$

再将各已知量代入上述总公式，即是所求答案。

以上可见，分析解题法是从含有未知量的基本公式出发，拓开思路，逐步展开的，其演算过程与分析的过程相反。而综合解题法，则是从已知量开始，根据题意将它们分成几个物理过程，并选用相应公式，再综合在一起，求得最终结果。其演算过程与分析法演算过程一致。这两种解题方法恰好是互逆的。

必须强调的是，分析法和综合法并不是两种互不联系的方法。不能将它们截然分开。分析法是在对事物有整体认识的基础上进行的，包含了综合的因素。综合法要有分析为前提，综合中包含了分析的因素。

实际解题时，究竟采用哪种方法，需要因题而异。有些题采用哪种都可以，且难易程度也大致相当；有些题采用综合法较容易，而采用分析法就感到困难。例如：

有一电池，当外电路的电阻是2.9欧姆时，量得电流强度是0.5安培；当外电路的电阻是1.4欧姆时，量得路端电压是1.4伏特，求电池的电动势。

如果用分析法，可由全电路欧姆定律得

$$\varepsilon=I_1(R_1+r)$$

即　$\varepsilon=0.5\times2.9+0.5r$　　(1)

此式等号右侧中内阻r是未知量。遵照分析法的程序，应继续列出求r的解答式。根据题给的第二种情况，由全电路欧姆定律又得

$$\varepsilon=U+\frac{U}{R_2}\cdot r$$

$$=1.4+\frac{1.4}{1.4}\cdot r=1.4+r$$

移项整理得　$r=\varepsilon-1.4$　　(2)

等式的右侧又出现初始公式中所要求的未知量ε，ε和r互相包含，很难找到用已知量表达的可解形式。分析法已经无法进行下去。改用综合法，只需将(1)、(2)式联立成方程组求解。

由(1)式得　　$r=\frac{\varepsilon}{0.5}-2.9$　　(3)

(3)式=(2)式　　$\varepsilon-1.4=\frac{\varepsilon}{0.5}-2.9$

解得　　$\varepsilon=1.5$(伏)

再举一个必须采用综合法求解的例子。

如图1—10所示，一电子束以$v=3\times10^7$米/秒的速度，从两带电平行板中央水平进入电场，若极板间距$d=1$厘米，板长$s=4$厘米，当两极板间电势差增大到$U=320$伏时，这束电子刚好打到其中一块板的端点，如果带电平行板置于真空中，求电子的荷质比。

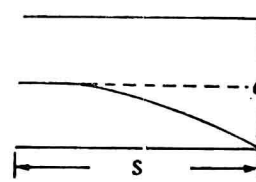


图1—10

如果该题用分析法求解，首先，荷质比的表达公式就列

不出，因此必须采用综合法，即

$$E=U/d \tag{1}$$

$$F=eE \tag{2}$$

又 $$F=m_e a \tag{3}$$

由(1)、(2)、(3)式得

$$\frac{e}{m_e}=\frac{da}{U} \tag{4}$$

又因为电子运动类似平抛运动，于是

$$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2 \tag{5}$$

$$s=v\cdot t \tag{6}$$

由(4)、(5)、(6)式得

$$\frac{e}{m_e}=\frac{da}{U}=\frac{v^2d^2}{Us^2}$$

$$=\frac{(3\times10^7)^2\times(0.01)^2}{320\times(0.04)^2}=1.76\times10^{11}(\text{库仑/千克})$$

通常综合法要比分析法简便得多，较简单的题自不必说，就是比较复杂的题目，对于物理知识掌握得比较牢固，综合运用知识的能力较强的同学来说，采用综合法也显得简捷。因此，中学物理教材或参考书中，解题方法多采用综合法。不过，分析法虽然解题比较麻烦，但对初学者，或运用知识不太灵活的同学来说，仍然应注意采用，尤其对那些复杂的题目，条件多，过程又复杂，运用综合法解题，他们往往不知从何下手。而分析法，从直接回答题问着手，定向思维，逐步上溯，由一个公式引出另一个公式，直到找出待求的未知量和全部已知量的关系为止，不仅具有较强的逻辑性，而且还会使解题少走弯路。下面这道用分析法解答的较复杂的

习题，足以说明上述观点。

例7 一个质量$m=0.016$千克、长$L=0.5$米、宽$d=0.1$米、电阻$R=0.1$欧姆的闭合矩形线圈，从$h_1=5$米高处由静止开始自由落下（如图1—11所示），然后进入一个匀强磁场。线圈下边刚进入磁场时，由于磁力的作用，线圈正好做匀速运动继续下落（g取10米/秒^2）。

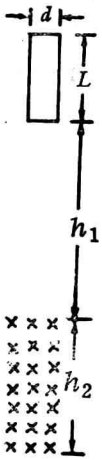


图1—11

（1）求磁场的磁感应强度B。

（2）如果磁场区域的高度$h_2=1.55$米，求闭合线圈的下边通过磁场所经历的时间t。

分析 这是一道综合性较强的习题，闭合线圈下边进入磁场切割磁力线，产生电动势，由于是闭合线圈，故有电流产生，磁场对该边产生向上的作用力：

$$F=nBId。$$

（1）由于闭合线圈的下边刚进入磁场时，线圈作匀速运动，故线圈在磁场中受到的安培力与线圈所受重力平衡，即

$$nBId=mg$$

或
$$B=\frac{mg}{nId} \qquad (1)$$

式中右侧只有感生电流I是未知量，根据欧姆定律

$$I=\frac{\varepsilon}{R} \qquad (2)$$

感生电动势ε又是未知量，再根据电磁感应现象的规律得

$$\varepsilon = nBdv \qquad (3)$$

v 仍是未知量，它是线圈刚落入磁场时的即时速度，由自由落体运动规律得

$$v^2 = 2gh_1 \qquad (4)$$

到此(4)式右侧各项都是已知量，具体运算可以从此式开始代入数值，并依次往前逐一计算，最后求出磁感应强度B。

当然也可以从(4)式开始，逐式以文字符号代入前式，最后得出关于磁感应强度的总表达式，再代入已知具体数值进行一次性运算，求出所求未知量B，即

$$B = \pm \frac{1}{d}\sqrt{mR(g/2h_1)^{1/2}}$$

$$= \pm \frac{1}{0.1}\sqrt{0.016 \times 0.1 \times (10/2 \times 5)^{1/2}}$$

$$= \pm 0.4\ (\text{特斯拉})$$

式中的正负号，表示磁感应强度B的方向既可垂直指向纸内，也可垂直指向纸外。

下面再来分析第二小题。

(2) 设线圈下边开始落入磁场到上边开始进入磁场所经历的时间为t_1，从线圈上边没入磁场到下边穿出磁场所经历的时间为t_2，则线圈下边在整个磁场中所经历的时间

$$t = t_1 + t_2$$

t_1的计算可根据匀速直线运动而得，即

$$t_1 = L/v \qquad (1)$$

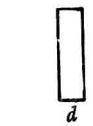
式中v为线圈自由下落h_1后的末速度，也即它进入磁场时的初速度，

$$v = \sqrt{2gh_1} \qquad (2)$$

将(2)式代入(1)式得

$$t_1=\frac{L}{\sqrt{2gh_1}}=\frac{0.5}{\sqrt{2\times10\times5}}=0.05(\text{秒})$$

t_2的计算，在分析了整个线圈进入磁场后的运动情况后，可把它视为竖直下抛运动的时间(如图1—12所示)。



$$\therefore\quad h_2-L=vt_2+\frac{1}{2}gt_2^2\quad(3)$$

$$\frac{1}{2}gt_2^2+vt_2-(h_2-L)=0$$

将(2)式代入(3)式并代入已知数值运算解得

$$t_2=0.1(\text{秒})$$

所以 $t=t_1+t_2$

$$=0.05+0.1=0.15(\text{秒})$$

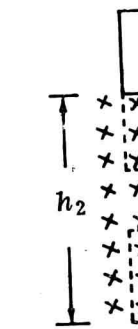


图1—12

综上所述，分析解题法和综合解题法，在中学物理的解题中都是同等重要的，都应熟练掌握。至于采用何种方法为好，要因人、因题而异才对。

三、先分析后综合解题法

中学物理中，有许多综合题所描叙的物理过程比较复杂，已知量和未知量之间需要通过几个规律和公式才能联系起来，而不可能将它们间的联系一眼望穿。因此，经常需要将复杂的物理过程按其性质划分成几个阶段，先分析各个阶段的物理规律，后找出各阶段间的联系，并把它们进行综合后

串起来，对整个物理过程有一全面的认识。

在解题中，分析和综合要有机地结合、交叉，灵活地使用，才可得到简便易行的解题方法。

例 8 一火箭喷气发动机间歇地喷射气体。每次喷出气体的质量为$m=200$克，气体离开发动机喷气孔时相对于地面的速度$v=1000$米/秒。第三批和第N批气体喷出后，火箭的速度各是多少？如果火箭发动机每 1 秒钟内喷发20次，那么在第一秒末，火箭的速度又为多大？火箭的最初质量$M=300$千克，初速度等于零，飞行中所受空气阻力和重力都不计。

解 题给的物理过程是一种反冲运动，由于不计阻力和重力，所以火箭在飞行中动量守恒。

设第一次喷发后，火箭的速度值为v_1；第二次喷发后，火箭的速度值为v_2；第三次喷发后，火箭的速度大小为v_3；第N次喷发后的速度大小为v_N。火箭初速度为零。根据动量守恒定律可得

第一次喷发后

$$(M-m)v_1-mv=0$$

$$\therefore\quad v_1=\frac{mv}{M-m};$$

第二次喷发后

$$(M-m)v_1=(M-2m)v_2-mv$$

$$\therefore\quad v_2=\frac{2mv}{M-2m};$$

第三次喷发后

$$(M-2m)v_2=(M-3m)v_3-mv$$

$$\therefore\quad v_3=\frac{3mv}{M-3m};$$

代入数据，则

$$v_3=\frac{3\times 0.2\times 1000}{300-3\times 0.2}=2(\text{米/秒})$$

以此类推第N次喷发后

$$[M-(N-1)m]v_N=(M-Nm)v_N-mv$$

$$\therefore\quad v_N=\frac{Nmv}{M-Nm}$$

第一秒末火箭的速度，就是当第20次喷发后火箭的速度，此时$N=20$，将其代入v_N中，得第一秒末火箭的速度

$$v_{20}=\frac{Nmv}{M-Nm}=\frac{20\times 0.2\times 1000}{300-20\times 0.2}$$

$$=13.5\text{（米/秒）}$$

例9 如图1—13所示，在磁感应强度为0.7特斯拉的匀强磁场中，竖直放着宽为0.4米的光滑平行导电轨道AE和BF。质量为0.02千克、电阻为0.5欧姆的导体AB放在轨道上端，且与轨道接触。当距AB为0.4米、电阻也为0.5欧姆的另一条导体CD，在0.1秒内迅速滑到$A'B'$处，$A'B'$为AB导体的支承点。假设当CD滑至$A'B'$后，AB导体立即上跳，即设AB导体获得起跳动量的时间为0.1秒。试问：

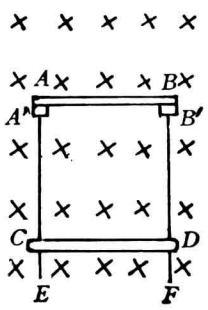


图1—13

(1) 导体AB能上跳的最大高度？

(2) 导体AB从起跳到抵达最高点的平均感生电动势是多少？

分析与解 这道题是由电磁学和力学两部分知识综合而

成，整个物理过程可以分成四个阶段。第一阶段，导体CD向上滑动，产生感生电流；第二阶段，通电导体AB在磁场中受到磁场力的作用，这个力是瞬时力（即冲力），使导体AB的动量发生变化；第三阶段，导体AB跳起，脱离导电轨道，作竖直上抛运动；第四阶段，导体AB在上抛过程中切割磁力线产生感生电动势。四个阶段之间有着紧密的联系，联系的纽带是“力”。

导体CD向上滑动，产生感生电动势

$$\varepsilon=\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=\frac{Bl^2}{\Delta t}$$

回路中感生电流

$$I=\frac{\varepsilon}{2R}=\frac{Bl^2}{2R\Delta t}$$

此时AB也通有电流I，在磁场中受磁场力

$$F_{磁}=BIl=\frac{B^2l^3}{2R\Delta t}$$

在$F_{合}$的作用下，使AB导体得以上抛的初速度

$$F_{合}\cdot\Delta t=mv-mv_0\quad(\because v_0=0)$$

$$\therefore\quad F_{合}\cdot\Delta t=(F_{磁}-G)\Delta t=mv$$

则
$$v=\frac{(F_{磁}-G)\Delta t}{m}=\frac{[(B^2l^3/2R\Delta t)-mg]\Delta t}{m}$$

$$=\frac{B^2l^3-2R\Delta tmg}{2Rm}$$

AB导体以v竖直上抛，其动能完全转化为势能，即

$$\frac{1}{2}mv^2=mgh$$

$$\therefore \quad h=\frac{v^2}{2g}=\frac{(B^2l^3-2R\Delta tmg)^2}{8R^2m^2g}$$

$$=\frac{(0.7^2\times0.4^3-2\times0.5\times0.1\times0.02\times9.8)^2}{8\times0.5^2\times0.02^2\times9.8}$$

$$=0.018\text{（米）}$$

导体AB切割磁力线产生平均感生电动势

$$\overline{\varepsilon}=Bl\overline{v}$$

$$=\frac{1}{2}Bl\sqrt{2gh}$$

$$=\frac{1}{2}\times0.7\times0.4\sqrt{2\times9.8\times0.018}$$

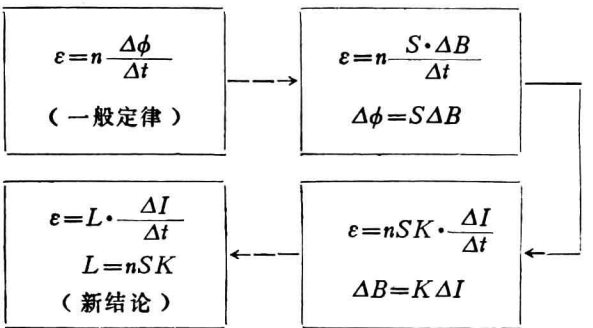
$$=0.082\text{(伏)}。$$

第三节　归纳和演绎的方法

归纳和演绎是人们认识过程中两种重要的思维方法，也是两种相对的逻辑推理形式。

所谓归纳，是从个别到普遍、由特殊到一般的推理过程。物理学中，以观察和实验为基础，从一些个别物理现象或特殊的物理过程中，推论出普遍的一般性的结论或原理。很多物理概念的建立和物理规律的揭示，都是采用归纳推理的方法得到的。例如，初中物理中的阿基米德定律，就是利用规则的也即特殊形状的物体（如立方体或圆球）在水中做浮力实验，从中得出影响物体所受浮力的因素，进而归纳出不规则的物体在不同液体中，所受浮力大小的计算公式。从而得出关于浮力的规律，即阿基米德定律。

演绎则相反，它是从一般到个别(特殊)的推理过程，即从一般的原理、定律出发，去认识新的、特殊事物的思维方法。演绎推理在物理学的理论分析研究中占有很重要的地位，它是获取新知识，认识新事物的一种重要的方法。例如，高中物理学习的“自感”现象，就是在电磁感应现象的基础上，运用法拉第电磁感应定律，进行演绎推理的结果。



其自感电动势的方向也是由楞次定律推出的，整个推理过程充分体现出从一般到特殊的演绎方法。

在解答物理习题中，也同样离不开归纳和演绎的思维方法。

一、归纳法解题

用归纳法解题时，应当注意归纳的主要环节是从个别（特殊）到一般的推理。例如，有这样一道电路计算题：

如图 1—14所示。

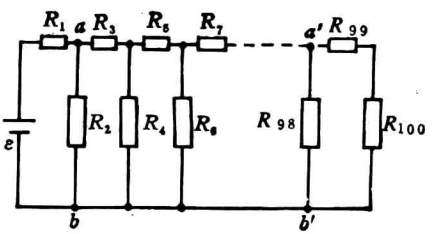


图 1—14

图中电阻$R_1=R_3=R_5\cdots=R_{99}=5$欧；$R_2=R_4=R_6=\cdots=R_{98}=10$欧，$R_{100}=5$欧；电源电动势$\varepsilon=10$伏，其内阻不计。则电阻$R_2$上的电功率应为多大？

先从电路图右端第一个“格子”分析，显然在$a'b'$两端的等效电阻为

$$R_{a'b'}=\frac{(R_{99}+R_{100})\cdot R_{98}}{R_{99}+R_{100}+R_{98}}=\frac{(5+5)\times 10}{5+5+10}=5(\text{欧})$$

这样就可以用$R_{a'b'}$替代R_{98}、R_{99}、R_{100}，接下去再向左计算第二个“格子”，它和第一个“格子”组成一样，运算过程完全重复。运用归纳推理的思维方法，可得

$$R_{ab}=5\text{ 欧}$$

最后根据全电路欧姆定律，得ab两端电压

$$U_{ab}=\varepsilon-IR_1,$$

式中电流强度

$$I=\frac{\varepsilon}{R_1+R_{ab}}=\frac{10}{5+5}=1(\text{安})$$

于是 $U_{ab}=10-1\times 5=5(\text{伏})$

则R_2上电功率

$$P=\frac{U_{ab}^2}{R_2}=\frac{5^2}{10}=2.5(\text{瓦})$$

当然，本题也可用等效电路逐步推算出电路的总电阻，但计算方法繁杂多了。更有趣的是，有些题还必须用归纳法才能求解，逐步求总电阻则难以凑效。现将上例改编成一道新题，便可说明问题。

一个由无限个阻值都为r的电阻组成的“网格”电路，如图1—15所示。求ab间的总电阻。

这道题同上述问题的“网格”电路类似，只是“网格”

的数目没有给出（无限个）。显然，不能通过画等效电路来求总电阻。用归纳法就很方便。

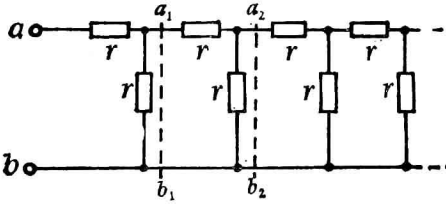


图 1—15

观察图的左端第一“网格” abb_1a_1，$R_{ab}=r+\dfrac{r\cdot R_{a_1b_1}}{r+R_{a_1b_1}}$，再讨论左端第二“网格” $a_1b_1b_2a_2$，$R_{a_1b_1}$与$R_{a_2b_2}$间的关系形式和第一“网格”相同。依次讨论下去，但由于取出讨论的仍只是少数几个“格子”，剩下的还是无限个。因此，可以认为$R_{ab}=R_{a_1b_1}=R_{a_2b_2}=\cdots=R$。我们用$R$代替$R_{a_1b_1}$，则原电路可以用图1—16一个“网格”电路来替代。

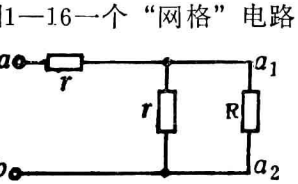


图 1—16

于是，ab间电阻

$$R_{ab}=R=r+\frac{rR}{r+R}$$

整理得 $R^2-rR-r^2=0$

所以 $R=\dfrac{1+\sqrt{5}}{2}r$ （负根舍去）

如果再把上题的电阻换成电容器（如图 1—17所示），设每个电容器的电容量均为C，那么ab两点间的电容量是多少？

用电容器串、并联知识，借助等效电路来求解非常困难。

用归纳方法并移植一下前面题目的分析结果，同样可得，

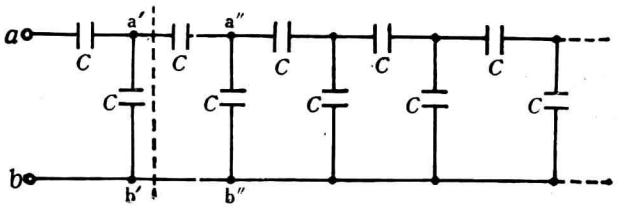


图 1—17

$C_{ab}=C_{a'b'}=C_{a''b''}=\cdots=C'$，则

$$C'=\frac{C(C+C')}{C+C+C'}$$

解得 $C'=\dfrac{\sqrt{5}-1}{2}C$

可见，归纳推理的思维方法，在某些物理习题的解答中，起着不可忽视的作用，下面通过两个例题来进一步阐明。

例10 一弹性小球自$H=5$米高处自由落下，当它与水平地面每碰撞一次后，速度减小到碰撞前的7/9。计算小球从开始下落到停止运动所经过的路程s和时间t。（取$g=10$米/秒^2）

解 设小球第一次落地时的速度为v，那么第二次、第三次…、第n次落地时的速度分别为$7/9\cdot v$，$(7/9)^2\cdot v$，$(7/9)^3\cdot v$，$\cdots(7/9)^n\cdot v$。

(1)求路程s。

小球从开始自由落下到第一次与地面相碰撞所经过的路程就是$H=5$米。

设小球第一次与地面碰撞到第二次与地面相碰撞所经过的路程为s_1，则

$$s_{\text{I}}=2\times\frac{v_1^{\,2}}{2g}=2\times\frac{(7/9)^2\times v^2}{2g}$$

$$=10\times(7/9)^2$$

小球从第二次到第三次与地面相碰撞所经过的路程为s_{II}，则

$$s_{\text{II}}=2\times\frac{v_2^{\,2}}{2g}=2\times\frac{(7/9)^4\times v^2}{2g}$$

$$=10\times\left(\frac{7}{9}\right)^4$$

运用归纳推理的思维方法，依次类推，小球从第n次到第$n+1$次与地面相碰撞所经过的路程应为s_n，于是

$$s_n=2\times\frac{v_n^{\,2}}{2g}=2\frac{[(7/9)^n\times v]^2}{2g}$$

$$=10\times\left(\frac{7}{9}\right)^{2n}$$

$$\therefore\quad s=H+(s_{\text{I}}+s_{\text{II}}+s_{\text{III}}+\cdots+s_n)$$

$$=5+10\times[(7/9)^2+(7/9)^4+(7/9)^6+\cdots$$

$$+(7/9)^{2n}]$$

式中$(7/9)^2+(7/9)^4+(7/9)^6+\cdots+(7/9)^{2n}$为等比级数的和，于是

$$\lim_{n\to\infty}[(7/9)^2+(7/9)^4+(7/9)^6+\cdots+(7/9)^{2n}]$$

$$=\frac{(7/9)^2}{1-(7/9)^2}=\frac{49}{32}$$

代入前面s的表达式

$$s=5+10\times\frac{49}{32}=20.3\text{（米）}$$

（2）求时间t。

设小球从开始自由落下到第一次与地面相碰撞所经过的

时间为t_0，则

$$t_0=\sqrt{\frac{2H}{g}}\approx\sqrt{\frac{2\times5}{10}}\approx 1\text{(秒)}$$

设小球从第一次与地面相碰撞到第二次与地面相碰撞所经过的时间为t_1，则

$$t_1=2\times\frac{v_1}{g}=2\times(7/9)\frac{v}{g}$$

$$=2\times\frac{7}{9}\text{(秒)}$$

设小球从第二次到第三次与地面相碰撞所经过的时间为t_2，则

$$t_2=2\times\frac{v_2}{g}=2\times(7/9)^2\times\frac{v}{g}$$

$$=2\times\left(\frac{7}{9}\right)^2\text{(秒)}$$

同样，运用归纳推理的思维方法，依次类推，小球从第n次到第$n+1$次与地面相碰撞所经过的时间便为t_n，于是

$$t_n=2\times\frac{v_n}{g}=2\times(7/9)^n\times\frac{v}{g}$$

$$=2\times\left(\frac{7}{9}\right)^n\times1=2\left(\frac{7}{9}\right)^n\text{(秒)}$$

$$\therefore\quad t=t_0+(t_1+t_2+t_3+\cdots+t_n)$$

$$=1+2\times7/9+2\times(7/9)^2+2\times(7/9)^3+$$

$$\cdots+2\times(7/9)^n$$

$$=1+2[7/9+(7/9)^2+(7/9)^3+\cdots+(7/9)^n]$$

式中 $7/9+(7/9)^2+(7/9)^3+\cdots+(7/9)^n$ 也为一等比级数的和，于是

$$\lim_{n\to\infty}[7/9+(7/9)^2+(7/9)^3+\cdots+(7/9)^n]$$

$$=\frac{7/9}{1-7/9}=\frac{7}{2}$$

代入原式，则

$$t=1+2\times 7/2=8(\text{秒})$$

例11 如图1—18所示，电容器$C_1=C_2=C$法拉，电源电动势为ε伏特，电阻器阻值为R欧姆，K为一单刀双掷开关。开始C_1和C_2都不带电。把K接向a，经足够长的一段时间后，再将开关接向b，经足够长的一段时间；然后再将开关拨向a，这样重复上述过程。问重复n次后，电容器C_2带有多少电量？C_2两板间电压是多少？

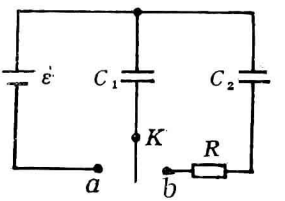


图1—18

解 当开关K第一次接向a，电容器C_1开始充电，经足够长的一段时间后，充电过程结束，此时电容器C_1两极板电压等于电源的电动势，即$U=\varepsilon$（伏特），因此电容器C_1带的电量$Q=C\cdot\varepsilon$（库仑）。

然后将开关接向b，这时C_1向C_2充电，经足够长的一段时间后，电容器C_2充电结束，C_1和C_2两电容器极间电压相等。若用Q_{11}和Q_{21}分别表示C_1和C_2此时所带的电量，用U_{11}和U_{21}分别表示C_1和C_2此时的极间电压，因C_1和C_2此时并联，所以

$$Q_{11}+Q_{21}=Q=C\varepsilon\ (\text{库仑}) \qquad (1)$$

$$U_{11}=U_{21}\ (\text{伏特}) \qquad (2)$$

又 $$U_{11}=\frac{Q_{11}}{C_1}=\frac{Q_{11}}{C}\ (\text{伏特}) \qquad (3)$$

$$U_{21}=\frac{Q_{21}}{C_2}=\frac{Q_{21}}{C}\text{（伏特）} \tag{4}$$

由(1)、(2)、(3)、(4)式解得

$$Q_{21}=\frac{1}{2}C\varepsilon\text{（库）}$$

$$U_{21}=\frac{1}{2}\varepsilon\text{（伏）}$$

当开关K第二次接a时，电容器C_1充电后又带有$Q=C\varepsilon$库仑的电量。开关K第二次接b时，电容器C_2第二次充电。此时，C_2上新增加的电量不再是C_1带电量的一半了，而比电容器C_1带电量的一半要小。这以后，电容器C_2带电量不断增加，但增加量越来越少。此时

$$Q_{12}+Q_{22}=Q+Q_{21}=C\varepsilon+\frac{1}{2}C\varepsilon$$

$$=\frac{3}{2}C\varepsilon\text{(库)} \tag{5}$$

又 $$U_{12}=U_{22}\text{(伏)} \tag{6}$$

且 $$U_{12}=\frac{Q_{12}}{C_1}=\frac{Q_{12}}{C}\text{(伏)} \tag{7}$$

$$U_{22}=\frac{Q_{22}}{C_2}=\frac{Q_{22}}{C}\text{(伏)} \tag{8}$$

由(5)、(6)、(7)、(8)式可得

$$Q_{22}=\frac{3}{4}C\varepsilon\text{(库)}$$

$$U_{22}=\frac{3}{4}\varepsilon$$

同理，第三次重复时，

$$Q_{13}+Q_{23}=Q+Q_{22}=C\varepsilon+\frac{3}{4}C\varepsilon$$

$$=\frac{7}{4}C\varepsilon\text{（库）} \tag{9}$$

$$U_{13}=U_{23}(\text{伏}) \tag{10}$$

且 $$U_{13}=Q_{13}/C(\text{伏}) \tag{11}$$

$$U_{23}=Q_{23}/C(\text{伏}) \tag{12}$$

由(9)、(10)、(11)、(12)式可得

$$Q_{23}=\frac{7}{8}C\varepsilon\ (\text{库})$$

$$U_{23}=\frac{7}{8}\varepsilon\ (\text{伏})$$

运用归纳推理方法，从电容器C_2三次充电情况，可以找出C_2充电后，带电量和两极板间电压与充电次数之间的关系：

C_2第一次充电，

$$Q_{21}=\frac{1}{2}C\varepsilon(\text{库})=\frac{2^1-1}{2^1}C\varepsilon\ (\text{库})$$

$$U_{21}=\frac{1}{2}\varepsilon(\text{伏})=\frac{2^1-1}{2^1}\varepsilon\ (\text{伏})$$

C_2第二次充电，

$$Q_{22}=\frac{3}{4}C\varepsilon(\text{库})=\frac{2^2-1}{2^2}C\varepsilon(\text{库})$$

$$U_{22}=\frac{3}{4}\varepsilon(\text{伏})=\frac{2^2-1}{2^2}\varepsilon\ (\text{伏})$$

C_2第三次充电，

$$Q_{23}=\frac{7}{8}C\varepsilon(\text{库})=\frac{2^3-1}{2^3}C\varepsilon(\text{库})$$

$$U_{23}=\frac{7}{8}\varepsilon(\text{伏})=\frac{2^3-1}{2^3}\varepsilon(\text{伏})$$

由此类推，第n次充电后，电容器C_2带电量为

$$Q_{2n}=\frac{2^n-1}{2^n}C\varepsilon(\text{库})$$

相应，电容器两极板间的电压为

$$U_{2n}=\frac{2^n-1}{2^n}\varepsilon(伏)。$$

二、演绎法解题

跟归纳法相反，演绎法是从一般到个别的推理。用演绎的思维方法解题，就应抓住用某个一般性的原理作前提，推出关于个别对象的结论。通常在解物理说理题时，应用最广的是三段论法，也即一般的判断（大前提）、特殊的判断(小前提）和结论三个部分。例如初中物理中有这样一道题：

能不能直接用体温计测量开水的温度？为什么？

用演绎推理的三段论法解答如下：

温度计不能用来测量超过它的最高刻度的温度（大前提）；

因为体温计的量度范围通常是35℃～42℃，而开水的温度是100℃（小前提）；

所以，体温计不能直接用来测量开水的温度（结论）。

回答问题时，三段论中的大前提和小前提的先后次序可以调换，如上题的回答可以变为：

因为体温计通常的量度范围是35℃～42℃，而开水温度是100℃（小前提）；

温度计不能用来测量超过它的最高刻度的温度（大前提）；

所以，体温计不能直接用来测量开水的温度。

具体回答问题时，甚至可以省去一个“前提”，使推理更加简炼些，如上例可说成：

因体温计通常的量度范围是35℃～42℃，而开水的温度是100℃。

所以，不能直接用体温计测量开水的温度。

上例属于应用一个三段论的单一推理，对于较复杂的问题，有时需要用几个三段论组合成一个复合推理，才能得出最后结论。其中前一个三段论的结论是作为后一个三段论的大前提。

由上可知，用演绎推理法解答问题，方法是灵活多样的，不要被理论模式所束缚。对于物理习题的解答，我们应把注意力集中在如何用演绎的思维方法确立解题思路上。例如，高中力学中有这样一道习题：

例12 两轮轴以相同的转速旋转，旋转方向如图所示。轮轴轴心间的距离为 L，轮轴上水平地搁放着一块木质均匀的板条，板条与轮轴间的摩擦系数为 μ，木板质量为 m。试证明，若木板重心稍微离开两轴连线的中点时，将发生简谐振动。

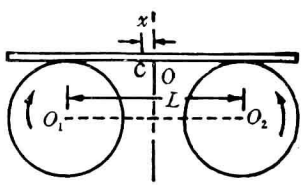


图 1—19

分析与解 这道题的解答思路可用演绎的思维方法确立：凡是作简谐振动的物体，所受的回复力必须满足条件 $F=-kx$，这是一般的判断，即推理的前提。如果能证明木板在两轮上来回运动，并且所受的外力符合这一关系式，即可说明木板所作的来回运动为简谐振动。根据这一思路得出证明过程如下：

首先，设木板条重心C离两轴连线的中点O距离为x（如

图1--20所示），板条重心偏向左轮，则板条对左轮的压力比对右轮大，即$N_1>N_2$，相应板轮间的摩擦力有关系式$f_1>f_2$。

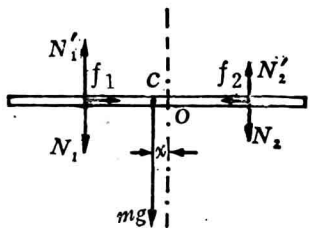


图1—20

于是，条板将向右加速，重心C向O点运动，x逐渐减少，故N_1也逐渐减小，N_2逐渐增大；则f_1也逐渐减小，f_2逐渐增大，木板条所受合力f_1-f_2逐渐减小。因此，木板条运动的加速度也随之逐渐减小。

当木板条重心与O点重合时，则$N_1=N_2$、$f_1=f_2$，合力$f_1-f_2=0$。由于木板条向右的加速运动已使它获得了一定的运动速度，惯性将使木板条继续向右运动且通过O点。一旦板条重心偏向右方，则$N_2>N_1$、$f_2>f_1$，板条在合力作用下得到加速度，方向向左，与运动方向相反；此时板条作减速运动，直到速度减为零再开始向左作加速运动。然后又重复上述过程循环往复。可见，木板在O点两侧作来回的往复振动。

由 $N_1+N_2=\frac{f_1}{\mu}+\frac{f_2}{\mu}=mg$

得 $f_1+f_2=\mu mg$ (1)

设以C为轴，可列力矩平衡方程

$N_1(L/2-x)=N_2(L/2+x)$

又 $f_1=\mu N_1$，$f_2=\mu N_2$

即 $f_1(L/2-x)=f_2(L/2+x)$

得 $f_1-f_2=\frac{2(f_1+f_2)}{L}x$ (2)

由(1)、(2)式得

$$F=f_1-f_2=\frac{2\mu mg}{L}x$$

式中μ、m、L、g为定值，设$k=\frac{-2\mu mg}{L}$，F可视为位移x的回复力，且与位移方向相反，故

$$F=-kx$$

显然，木板在作简谐振动。

以上我们孤立地论述了演绎法和归纳法解题过程。其实这两种思维方法是相互联系、相互补充的。演绎所依据的理由是对特殊事实的归纳，归纳的结论是演绎的前提，即演绎离不开归纳。而归纳又必须有一般原理为指导，才可找出特殊事实的本质，即归纳也离不开演绎。在解答物理习题时，这两种思维方法总是结合运用的。例如有这样一道高考题：

例13 在一原子反应堆中，用石墨（碳）作减速剂，使快中子减速。已知碳核的质量是中子的12倍，假设把中子与碳核的每次碰撞都看作是弹性正碰，而且认为碰撞前碳核都是静止的。(1) 设碰撞前中子的动能是E_0，问经过一次碰撞，中子损失的能量是多少？(2) 至少经过多少次碰撞，中子的动能才能小于$10^{-6}E_0$？

分析与解 解答这道题，首先必须运用演绎的思维方法，由动量守恒定律和能量守恒定律这两条基本规律，列出中子的碳核发生弹性正碰情况下的关系式。

设中子和碳核的质量分别为m和M，碰撞前中子的速度为v_0，碰撞后中子和碳核的速度分别为v和u，则根据动量守恒和动能守恒的规律列出下列方程组，即

$$\begin{cases} mv_0 = mv + Mu & (1) \\ \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mu^2 & (2) \end{cases}$$

将$M=12m$代入(1)、(2)两式并解方程组，可得出

$$u = \frac{2}{13}v_0, \qquad v = -\frac{11}{13}v_0$$

碰撞前中子的动能 $E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$，在第 1 次碰撞之后，中子剩下的能量

$$E_1 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(-\frac{11}{13}v_0)^2$$

$$= \left(\frac{11}{13}\right)^2 \times \frac{1}{2}mv_0^2 = \left(\frac{11}{13}\right)^2 \times E_0$$

因此在碰撞过程中，中子损失的能量为

$$\Delta E = E_0 - E_1 = E_0 - \left(\frac{11}{13}\right)^2 E_0$$

$$= (1 - \frac{121}{169})E_0 = \frac{48}{169}E_0$$

然后，运用归纳推理的思维方法，考虑中子和碳核经过第 2 、 3 、…n次碰撞后的情况，依次可得：

中子和碳核进行第 2 次碰撞后，中子剩下的能量

$$E_2 = (\frac{11}{13})^2 E_1 = (\frac{11}{13})^2 \cdot (\frac{11}{13})^2 \cdot E_0 = (\frac{11}{13})^4 \cdot E_0;$$

中子和碳核进行第 3 次碰撞后，中子剩下的能量

$$E_3 = (\frac{11}{13})^2 E_2 = (\frac{11}{13})^2 (\frac{11}{13})^4 E_0 = (\frac{11}{13})^6 \cdot E_0;$$

……；

……

由此可归纳出：在中子和碳核进行了n次碰撞以后，中子剩下的能量为

$$E_n=\left(\frac{11}{13}\right)^{2n}E_0 \qquad (3)$$

最后，运用演绎推理，将中子剩余能量的一般公式用在剩余$E_n=10^{-6}E_0$的特殊情况，即

$$E_n=\left(\frac{11}{13}\right)^{2n}\times E_0=10^{-6}E_0$$

所以 $$\left(\frac{11}{13}\right)^{2n}=10^{-6}$$

两边取对数可得 $2n(\lg 13-\lg 11)=6$

将$\lg 13=1.114$，$\lg 11=1.041$代入，解得

$$n=\frac{3}{0.073}=41.1$$

即至少需经过42次碰撞，中子的动能才能小于$10^{-6}E_0$。

可见，中学物理中一些习题的解答，既用了归纳的思维方法，又用了演绎的思维方法。如同分析与综合的思维方法一样，归纳和演绎的科学思维方法是物理习题解答中常用的一种思维方法。解题中，归纳和演绎往往结合起来运用，构成一个完整的思维过程。

第四节　形象思维和抽象思维的方法

形象思维，从具体事物的形象出发，通过实践即观察、实验等舍去那些偶然的、表面的次要因素，达到对事物的本质认识，由感性阶段发展到理性阶段。抽象思维也即逻辑思维，则是运用概念、判断、推理反映现实的过程，是人们认识的高级阶段。和形象思维不同，它是以抽象性为其特征，

撇开事物的具体形象，用抽象的概念揭示事物的本质。形象思维和抽象思维是物理学解题方法中非常重要的两种思维方法。

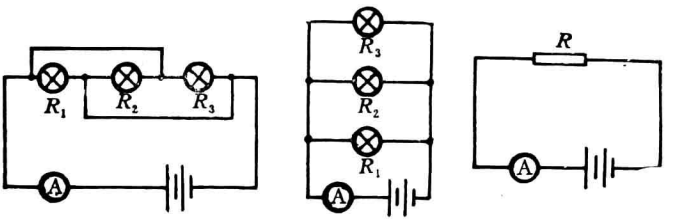
物理概念在形式上是抽象的、主观的，但在内容上则是具体的、客观的。物理概念的客观性和具体性决定了物理概念本身隐含着形象性，如流线、电力线、磁力线，等等。还有电路、光路、磁路等等各种描述物理本质属性的模型、图象，都具有明显的形象性。物理学的观察实验，是凭借种种感性材料，通过想象、联想，运用集中概括的方法对感性材料加工，用抽象的概念去判断和推理，以达到揭示物理过程本质属性的目的，这些又具有明显的抽象性。因此，形象思维和抽象思维不是相互排斥的，而是相辅相成的统一体。上述问题涉及面很广，不再赘述，这里仅就与解题十分密切的等效方法和理想化方法作些分析，介绍它们在解题中的应用。

一、等效方法

物理学中的等效方法，是从等同效果出发来研究物理现象、物理过程的一种方法。等效法作为思维过程，也是抽象思维与形象思维互相交叉、互相渗透的过程。让我们用一个最简单的例子来说明。如图1—21（甲）所示电路，求消耗在电阻上的总功率。我们可以寻找一个简单电路与其等效，这就需要运用电阻串联、并联的知识，用抽象思维的方法，确定出如图1—21（乙）、（丙）电路，它们在消耗电功率上和(甲)是等效的，图1—21(丙)概括性最强，其电阻R为R_1、R_2、

R_3的等效电阻，即

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}。$$



（甲）　（乙）　（丙）

图 1—21

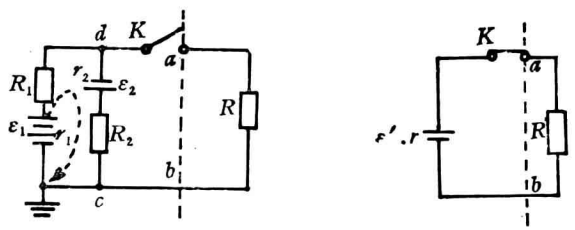
这一简单的例子说明，等效方法中，抽象思维作为形象思维的依据，而形象思维又对抽象思维补充和深化。

等效方法在物理解题中被广泛应用，在力学中，用一个合力去等效两个力，或把一个力分解为两个以上的力；用一种运动去等效两种运动，或把一种运动分解成几种运动。例如，物体的匀加速直线运动、竖直上（下）抛运动、平(斜)抛运动等许多不同形式的运动，都可以看作是匀速直线运动和初速为零的匀加速直线运动的适当组合。两种以上的振动，可以用一个等效的振动去描述；简谐振动可以用质点在参考圆上的投影的运动去等效，等等。这些都属于运动的等效合成与分解。

电学中，等效电流、等效电器、交流电的电压、电流的有效值，……。物理学家爱因斯坦在发现广义相对论时，正是由于洞察到“引力场”与“加速场”的等效性，才提出了广义相对论的基础“等效原理”的。

综上所述，等效思维的特点，总是把物理现象和过程，由一种形象化转化为另一种形象化，将复杂问题等效为典型、简单的模式，以便于分析、理解和认识。

如图1—22所示，电路中所标各量为已知量，当K闭合后，求ab两点间电压$U_{ab}=?$



（甲）　　（乙）

图1—22

由图1—22(甲)可知，R两端电压U_{ab}是由虚线左侧网络电路提供的。于是，左侧电路对于R来说就相当一个电源，切断电键K，c、d两点的电压也就相当于电源的电动势。

断路时，c、d间的电压，可由下列过程求得：

(1) 求出左侧回路的电流I_0。

$$I_0=\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2'}{R_1+r_1+R_2+r_2}$$

(2) 取c点电势U_c为零电势，求出U_{dc}。

$$U_{dc}=-\varepsilon_2+I_0R_2+I_0r_2$$
$$=I_0(R_2+r_2)-\varepsilon_2$$

则图1—22（乙）中的等效电源电动势

$$\varepsilon'=I_0(R_2+r_2)-\varepsilon_2$$

(3) 求等效电源电阻r'。

$$r'=\frac{(R_1+r_1)(R_2+r_2)}{R_1+r_1+R_2+r_2}$$

(4) 当电键K闭合，a、b间电压

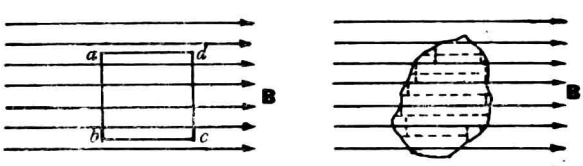
$$U_{ab}=IR=\frac{\varepsilon'}{R+r'}\cdot R。$$

再看这样一道题。

一根长为l的导线，通过的电流强度为I。问：把这根导线弯成什么形状，放入磁感应强度为B的匀强磁场中时，受到的力矩最大？

从题目文字叙述来看，难以寻找等效的对象。但对题述物理过程稍加分析便可知道，线圈所受匀强磁场作用力矩的大小，受形状的制约，形状不同，力矩不同。其中矩形线圈是最简单的情况，而任意形状的线圈，情况就复杂了。题问在导线长度一定的条件下，做成什么样形状的线圈，所受磁场力矩最大？它可能是某种形状简单的线圈，但毕竟是未知的。我们能不能先从最简单的矩形线圈开始研究，寻找规律，然后进一步去研究复杂情况，探索复杂线圈与简单矩形线圈的等效关系？下面让我们分两步来研究。

先假定它是一个矩形线圈$abcd$（如图1—23甲）。



（甲）　　（乙）

图1—23

ad、bc两边不受磁场力，ab与cd边所受磁场力分别为F_1和F_2，即

$$F_1=BIl_{ab},\quad F_2=BIl_{cd}$$

F_1和F_2是一对力偶，它们的力矩（对平行于ab边的任何一根转轴）为

$$M=F_1\cdot l_{bc}=BIl_{ab}\cdot l_{bc}=BIS_{abcd}$$

再研究任意形状的线框所受磁场力矩。

由于线圈是任意的，因此需要进行等效的技术处理，将线圈用许多小的矩形线圈来替代，如图1—23（乙）所示。矩形线圈分得越多，由这些小矩形线圈组成的图形及面积越接近于假定的任意线圈及面积。

设这些小矩形线圈的面积分别为S_1、S_2、…、S_n，受到的磁力矩大小分别为BIS_1、BIS_2、…、BIS_n，其方向都相同。则所有这些小矩形线圈所受的力矩总和，就是任意线圈受到的力矩，即

$$\begin{aligned}M&=BIS_1+BIS_2+\cdots+BIS_n\\&=BI(S_1+S_2+\cdots+S_n)\\&=BIS\end{aligned}$$

可见，单匝线圈，在匀强磁场中所受磁力矩，分别与B、I和S成正比。在B和I相同的条件下，M取决于S。由几何知识可知，周长一定的所有封闭的平面曲线中，圆所围的面积最大。因此，只有当一根长度为l的导线，弯成单匝的圆形线圈，且该线圈平面置于与磁力线平行位置时，受到的磁力矩最大。

等效方法在中学物理中占有重要的地位，应用这种方法可以处理一些较为复杂的问题，甚至有相当难度的问题。

例14 如图1—24所示的滑轮系统，已知$m_1>m_2+m_3$，$m_2>m_3$，问悬挂滑轮A的绳子的张力多大？

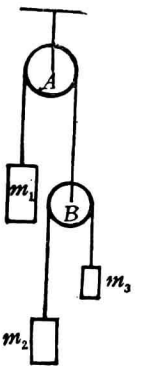
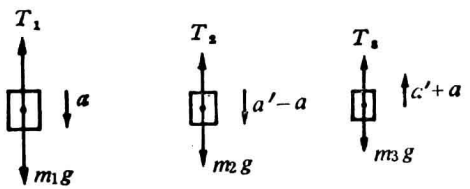


图1—24

解法Ⅰ 用一般方法。

(1) 设连接m_1和滑轮B的绳子的张力为T_1，连接m_2和m_3的绳子的张力为T_2，吊起滑轮A的绳子的张力为T；m_1向下运动的加速度为a，滑轮B不动时，m_2和m_3的加速度为a'。

(2) 把m_1、m_2和m_3都作为隔离体，分析它们的受力情况，作受力示意图。如图1—25(甲)所示，m_1受到两个力作用，向上的T_1和向下的m_1g，它向下加速运动。如图1—25(乙)所示，m_2也受到两个力作用，向上的T_2和向下的m_2g。由于滑轮B也以加速度a向上运动，因此，m_2向下运动的加速度是$a'-a$。又如图1—25(丙)所示，m_3也受到两个力作用，向上的$T_3(=T_2)$和向下的m_3g。它向上运动的加速度，也由于滑轮B的向上运动而为$a'+a$。



(甲) (乙) (丙)

图1—25

(3) 对滑轮B而言，它受到向上的力T_1和向下的力$2T_2$。

由于它的质量忽略不计，因此，虽然它以加速度a上升，但按牛顿第二运动定律，$T_1-2T_2=0$，所以$T_1=2T_2$。对滑轮A而言，$T=2T_1$。

(4) 用牛顿运动定律分别列出方程式如下：

重物m_1　$m_1g-T_1=m_1a$；

重物m_2　$m_2g-T_2=m_2(a'-a)$；

重物m_3　$T_2-m_3g=m_3(a'+a)$；

滑轮B　$T_1=2T_2$；

滑轮A　$T=2T_1$。

解上述联立方程式得

$$T=\frac{16m_1m_2m_3}{m_1m_2+m_1m_3+4m_2m_3}g。$$

解法Ⅱ　用等效方法。

设连接m_1和滑轮B的绳子的张力为T_1，连接m_2和m_3的绳子的张力为T_2，滑轮A的悬绳的张力为T。

将图1—24中的滑轮B、m_2和m_3单独取出，组成图1—26(甲)的平衡系统。

根据牛顿第二定律，分别列出方程组

$$m_2g-T_2=m_2a$$

$$T_2-m_3g=m_3a$$

$$T_1=2T_2$$

式中a为m_2和m_3的加速度数值。

解方程组得

$$T_2=\frac{2m_2m_3}{m_2+m_3}g$$

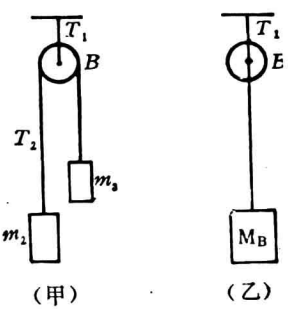


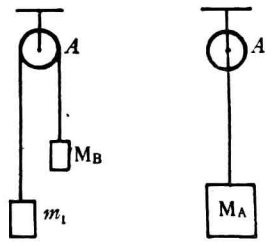
图1—26

$$T_1=2T_2=\frac{4m_2m_3}{m_2+m_3}g$$

我们再将图1—26（甲）等效为图1—26（乙）状况，即m_2和m_3相当于在滑轮B中心悬挂一个质量为

$$M_B=\frac{4m_2m_3}{m_2+m_3}$$

的物体一样，M_B为m_2和m_3的等效质量。这样一来，图1—24可等效成图1—27（甲）。该图与图1--26（甲）相同，故又可将图1—27（甲）再次等效成图1—27（乙）。解法与上相同，可得



（甲）　（乙）

图1—27

$$T=M_A\cdot g=\frac{4m_1M_B}{m_1+M_B}g$$

$$=\frac{4m_1\,4m_2m_3/(m_2+m_3)}{m_1+4m_2m_3/(m_2+m_3)}\cdot g$$

$$=\frac{16m_1m_2m_3}{m_1m_2+m_1m_3+4m_2m_3}\cdot g$$

一般隔离体解题方法和等效方法比较，前者引进相对加速度的概念，使解题难度加大，同时运算也繁杂，而等效方法却开拓了一条解题捷径。

二、理想化方法

为了更好地用抽象的概念揭示事物的本质，往往根据实验和观察所得的各种感性材料，舍去那些表面的、次要的条件，把复杂具体的物理世界用简单抽象的、理想化了的物理

模型来描述，这就是理想化方法。

理想化的物理模型，是对客观物理事实的一种近似的、然而又是揭示其本质的描绘。通常物理模型包括：

（1）模型化的概念。物理中的某些客观实体，如质点，舍去和忽略形状、大小、转动等性能，突出它具有所处位置和质量的特性，用一个有质量的点来描绘，使问题简单化……。抽象思维和形象思维相结合而形成的理想化的概念，诸如刚体、完全弹性体、理想气体、点电荷等等，是属于物体本身的理想化。另外一些概念，诸如点光源、近轴光线、电力线、磁力线、流线等，是属于人们根据它们的物理性质，用理想化的图形来模拟的概念。如光线就是用一条带有箭头的线段来表示。

（2）模型化概念的组合。如质点的各种运动的典型模型：匀速直线运动、匀变速直线运动、简谐振动、完全弹性碰撞等等，是用来描述质点运动轨迹的。电磁学中的电路模型、磁场模型，原子物理学中的原子“核式结构”、玻尔模型等，实际上也是理想化概念的组合。

（3）物体所处条件模型化。当研究电子在电场中运动时，可以把电子所处的条件模型化，即舍去重力场的存在，不考虑重力的作用。因为跟电场力相比，重力的作用往往显示不出来（研究电场中的带电微粒或液滴时，则不能不考虑重力）。力学中的光滑斜面，热学中的绝热容器，等等，也都是把物体所处的条件理想化了。

（4）理想化实验。在实验的基础上，抓住主要矛盾，忽略次要矛盾，根据逻辑推理法则，对过程进一步分析、推理，找出其规律。伽利略就是在从斜槽上滚下的小球滚上另一斜

槽，后者坡度越小、小球滚得越远的实验基础上，提出了他的理想实验。从而推倒了延续两千多年的“力是维持运动所不可缺少”的结论，为惯性定律（牛顿第一定律）的产生奠定了基础。

解答物理习题，理想化的物理模型起着很重要的作用。事实告诉我们，千变万化的物理习题都是根据一定的物理模型，结合某些物理关系，给出一定的条件，提出需要求的物理量的。而我们解题的过程，就是将题目隐含的物理模型还原 求结果的过程。

例如初中物理课本中的一道题：

某容器中装有水银，水银面上盛水，有一体积为14厘米^{3}的铜球浮在这两种液体的分界面上，求铜球浸入水和水银中的体积各是多少？（水的密度为$\rho_1=1.0\times10^3$千克/米^3，水银的密度$\rho_2=13.6\times10^3$千克/米^3，铜的密度为$\rho=8.9\times10^3$千克/米^3）

解答时，一些学生认为铜球是在水银面之上，只受水银的浮力，列方程组如下：

$$\begin{cases} G=F_{浮} \\ \rho V g=\rho_2 V_2 g \\ V_1=V-V_2 \end{cases}$$

式中G为铜球重量，V为铜球体积，V_1为铜球浸在水中部分体积，V_2为铜球浸在水银中部分体积。解得，$V_1=4.8$厘米^3，$V_2=9.2$厘米^3。

解答结果是错误的，错在没有建立正确的物理模型。如图1—28所示，铜球浮在两种液体的分界面上，水对球有浮力F_1，水银对球也存在浮力F_2。这样就可以建立 铜球既排

开一定体积（V_1）水，又排开一定体积（V_2）水银的物理模型。

由受力分析可知，球平衡时

$$G=F_1+F_2$$

又根据阿基米德定律

$$mg=\rho_1 V_1 g+\rho_2 V_2 g$$

$$\rho V g=\rho_1(V-V_2)g+\rho_2 V_2 g$$

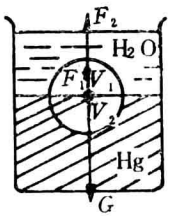


图 1—28

解得 $V_2=\dfrac{V(\rho-\rho_1)}{\rho_1-\rho_2}$

$$=\frac{1.4\times10^{-5}\times(8.9-1)\times10^3}{(13.6-1)\times10^3}\text{米}^3$$

$$=8.8\times10^{-6}\text{米}^3=8.8\text{厘米}^3$$

则 $V_1=V-V_2=14-8.8=5.2$（厘米）^{3}。

可见，解答物理习题，首先要根据题给的已知条件，进行必要的思考、分析、推理、判断，搞清物理过程，并在头脑里形成形象化的物理模型，才能列出正确的方程，计算出正确的结果。

图1—29所示为示波管，若已知电子以某一初速从电子枪发出，经过加速电场KA加速后，进入偏转电场MN发生偏转。求电子在萤光屏上偏转距离OP。

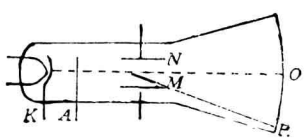


图 1—29

题给的电子在K、A板间加速电场作用下，作匀加速运动；电子进入偏转电场M、N板间后，作偏转运动（类似于平抛运动）；电子离开偏转电场

后，作惯性运动（即匀速直线运动）。其物理模型如方框图所示。



有了正确的物理模型，利用它们的物理关系，就能得到正确的解答。

理想化不是臆想、幻想，要有客观的科学根据。客观存在的事物是复杂的，处于多种条件之下，具有多方面的特性。但是在一定现象中，并不是所有的性质和条件都起着同样重要的作用，只有其中一种或少数几种起主要作用，理想化就是突出起主要作用的性质或条件，而将影响极小的其它因素略而不计。

例15 在真空中速度为$u=6.4\times10^{7}$米/秒的电子束，连续地射入两平行极板之间。极板长度$L=8.0\times10^{-2}$米，间距$d=5.0\times10^{-3}$米。两极板不带电时，电子束通过沿两极板之间的中心线。现在两极板上加50赫兹的交变电压$V=V_0\sin\omega t$，如果所加电压在某时刻超过某值V_C时，将开始出现以下现象：电子束有时能通过两极板，有时间断，不能通过。（如图1—30所示）

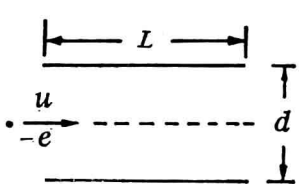


图 1—30

（1）求V_C的大小。

（2）求所加电压最大值V_0为何值时，才能使通过的时间

$(\Delta t)_{通}$跟间断的时间$(\Delta t)_{断}$之比为：$(\Delta t)_{通}:(\Delta t)_{断}=2:1$。

分析 可以把电子理想化为带电质点（物体本身理想模型化）；或者忽略电子束之间的相互作用以及重力的作用（把电子所处的条件理想化）。

那么，电子通过平行板是作什么性质的运动呢？如果电子通过的是匀强电场，就简单了。可是，题给的极板间是交变的电场，能不能在电子通过极板区的时间$\Delta t=L/u$内，把电场理想化成匀强电场，即把电子所处条件进一步理想化呢？

理想化应当有科学的根据。先估算一下电子通过极板的时间Δt，即

$$\Delta t=\frac{L}{u}=\frac{8.0\times10^{-2}}{6.4\times10^{7}}\approx10^{-9}(秒)$$

显然，$\Delta t\ll T$（≈0.02秒），因此，极板间的场强可看作恒定不变。

再估算一下在Δt时间内，场强E大小变化的上限，看电场是否也可以认为是恒定的。

$$E=\frac{V_0}{d}\cdot\sin\omega t$$

因$\Delta t\ll T$，在Δt时间内ΔE(取微分代替增量)为

$$\Delta E\approx\frac{V_0}{d}\omega\cdot\cos\omega t\cdot\Delta t$$

则
$$(\Delta E)_{max}=\frac{V_0}{d}\cdot\omega\cdot\Delta t$$
$$=\frac{V_0}{d}\cdot2\pi f\cdot\frac{L}{u}$$
$$=E_{max}\times2\pi\times50\times10^{-9}$$
$$\approx10^{-7}E_{max}$$

在Δt时间内，场强大小变化的上限$(\Delta E)_{max}$仅为场强最大值的千万分之几，电场可认为是恒定的。可见，上述两种估算都是把电场理想化为匀强电场的科学根据。因此，电子在极板间的运动，可视为类似平抛运动。根据这一运动规律，可求解第一小题。解答第二小题，则要考虑连续发射的电子束在较长时间内（如一个周期内），将会时而导通，时而截止。根据已知条件，$(\Delta t)_{通}:(\Delta t)_{断}=2:1$，且所加电压$V=V_0\sin\omega t$。在正（或负）半周内有三分之二的时间导通，即$V<V_c$，三分之一的时间截止，即$V>V_c$（如图1—31所示）。

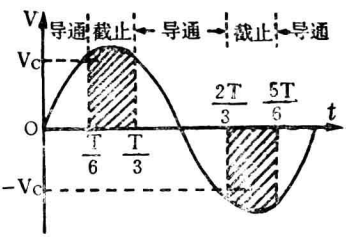


图 1—31

综上分析，该题具体解答如下：

（1）电子通过平行极板所用时间

$$\Delta t=\frac{L}{u}\approx10^{-9}(\text{秒})$$

交变电压的周期　　$T\approx10^{-2}(\text{秒})$

显然，$\Delta t\ll T$。因此，电子通过极板期间，可认为极板间为匀强电场。

解法 I　根据运动学定律可列方程组：

$$\begin{cases} t=\dfrac{L}{u} \\ \dfrac{d}{2}=\dfrac{1}{2}at^2 \\ a=\dfrac{f}{m}=\dfrac{eV_c}{md} \end{cases}$$

解得　$V_c=\dfrac{mu^2d^2}{eL^2}=91$(伏)

解法Ⅱ　根据动能定理以及电子从匀强电场飞出的特点，可列方程：

$$\frac{eV_c}{2}=\frac{1}{2}mv_y^2 \qquad (1)$$

$$\frac{v_y}{u}=\frac{d/2}{L/2} \qquad (2)$$

(2)式中v_y为电子束刚刚离电场时，速度的垂直分量，而离开电场的速度v的方向，可近似认为是从极板中点引出的方向（如图1—32）。

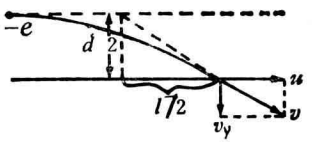


图1—32

联立(1)、(2)式解得

$$V_c=\frac{mu^2d^2}{el^2}=91\text{(伏)}$$

(2) 根据上面分析和图1—31可知，当$t=T/6$时，所加电压使电子束截止，

即　$V_c=V_0\sin\dfrac{\omega T}{6}=V_0\sin\dfrac{\pi}{3}$

$\therefore\ V_0=\dfrac{V_c}{\sin\pi/3}=\dfrac{91}{\sqrt{3}/2}=105$(伏)。

第二章

物理解题的环节和规律

解题的过程，是进一步理解、巩固和扩大所学知识的过程，也是运用知识、启迪思维、培养分析问题和解决问题能力的过程。同时，解题过程也是检查所学知识掌握程度的过程。

然而，一些同学并没有认识解题的这些作用，不把认真学习教材，熟练掌握基础知识放在首位，而是单纯为解题而解题，以求得答案为最终目的。因此，必须克服解题的盲目性，在深刻理解和掌握物理基本概念、定律和原理的基础上，学会科学的解题方法，提高解题能力。

了解并掌握物理解题的环节和规律，是提高解题能力的第一步。我们知道，物理题的题型很多，有选择题、填空题、论叙题、作图题、计算题、实验题、综合题等等，它们有着各自的解题特点，但解题的基本环节具有共性。一般来说，解题分四个大环节，即读审、构思、解答和验讨。本章将剖析这四大解题环节，结合实例揭示解题的基本规律。

第一节　读　审

读审是指在解题时，首先要读明题意、审清条件。这是

解题的首要环节，也是正确解题的先决条件。

一、读题明意

读题是解题的开始，“读题”就是默读全题，“明意”就是默读题目后，能明确题目的意思。“读题明意”表明读题所要达到的目标，即了解题目说了些什么，什么意思。对整个题目的概貌做到心中有数。若不认真读题，明白题意，解题中将会出现下列一系列问题。

（1）不读全题，断章取意。一拿到题目就迫不及待的解答。没把题目读完就看一段做一步，做到后面发现前面做错了，不得不“返工”。例如有这样一道题：

物体以7米/秒的初速度从斜面底端A点，沿倾角$\alpha=37°$的斜面发射出去（如图2—1所示）。斜面高为0.8米，物体与斜面间的摩擦系数为3/8。求物体到达最高点的时间及离地最大高度。（取$g=10$米/秒^2）

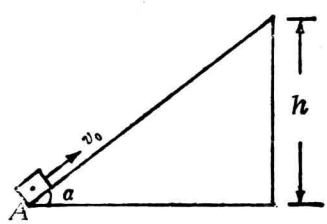


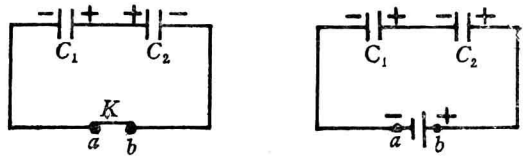
图 2—1

一些同学一看到求物体到达最高点的时间，便把物体理解为只在斜面上运动，斜面的顶端为物体运动所达的最高点。于是欣然铺纸命笔。但是，当做到求物体离地的最大高度时，才恍然大悟，该物体不仅在斜面上运动，还要继续离开斜面作斜抛运动。即物体在斜面运动的时间和离开斜面后继续斜抛至最大高度所需时间的总和，才是物体到达最高点

的时间。

又如一道电学题：

如图 2—2 所示电路，$C_2=2C_1$，试问：(1) ab用导线接通前，将C_1充电，使其两板间电压为U_1，当ab接通后求C_2两板间的电压；(2) C_1、C_2原不充电，在ab间接电压为U的直流电源，求C_2两板间电压。



（甲）　　（乙）

图 2—2

一些同学不加思索地认为，当ab接通后，C_1和C_2是串联，导出总电容$C=2C_1/3$，然后根据$Q=CU$计算出(1)问。直到解答(2)问，才发现(2)问中C_1和C_2是串联（如图 2—2 乙所示），而(1)问的C_1和C_2不是串联而是并联，总电容应是$C=3C_1$（如图 2—2 甲所示）。只好重新审读题目。结果是欲速而不达。

(2) 浮光掠影，读错要领。一些同学读题马虎草率，把题目中关键的文句读错，造成解题的片面性。例如：

有一焦距为10厘米的透镜，要想得到一放大率为0.5的像，物应放在何处？画出光路图。

读者可以先在草稿纸上算一算，结果是不是30厘米？如果仅是这个答案，那就片面了。因为题目并没有明确交代像是正立还是倒立，即像的虚、实并不已知，怎么能把透镜片面理解成凸透镜呢？如果是凹透镜，则也可以得缩小的正立

的虚像；并通过计算可知，物应放在离凹透镜10厘米远。

如力学中的一道题：

作匀变速运动的物体，已知经过A点的即时速度为2米/秒，经过B点的即时速度为4米/秒，那么它在通过AB这段距离的中间时刻的即时速度为多少？（如图2—3所示）

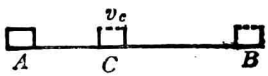


图 2—3

解题中，有一些同学作出如下运算：

由运动学公式得：

$$v_C^2 - v_A^2 = 2a \cdot \frac{s}{2};$$

$$v_B^2 - v_C^2 = 2a \cdot \frac{s}{2}。$$

从列式可知，解答者读错了关键性字眼，把“中间时刻”误成“中间位置”，前者C点把A、B间所需时间分成相等两份，后者C点把A、B间的距离分成相等的两段。因此，正确的列式应为

$$v_C - v_A = a \cdot \frac{t}{2};$$

$$v_B - v_C = a \cdot \frac{t}{2}。$$

解得 $v_C = \frac{v_A + v_B}{2} = \frac{2 + 4}{2} = 3$(米/秒)

可见读题必须读清楚，哪怕是一“字”一“词”也不可含糊，如运动学中的习题所述的诸如“4秒末”、“4秒内”、“第4秒”等都不能读错。因为，这些关于时间的概念都是

截然不同的。“4秒末”是指4秒完了的时刻；“4秒内”是指四个1秒的总时间间隔；“第4秒”是指第3秒末到第4秒末的时间间隔，绝不可将它们混为一谈。

再看一道简单的电学题：

把一个电阻为600欧的表头，串接一个24千欧的电阻，接入电路后量程扩大了多少倍？

有的同学根据电流表量程扩大原理，得

$$R=(n-1)R_g$$

$$\therefore \quad n=\frac{R}{R_g}+1=\frac{24\times10^3}{600}+1=41(\text{倍})$$

上面的答案你可能认为是正确的，其实错了。错在题问扩大了多少倍，不是扩大到多少倍。应当清楚：

扩大了的倍数＝扩大到的倍数－1

于是，正确的答案应是扩大了40倍。

类似的例子还很多，如将“升高到40℃”读成“升高40℃”，将“弹簧伸长到10厘米”读成“弹簧伸长10厘米”等，读题中应当细心、慎重。

（3）概念模糊，不明题意。透彻地理解和掌握物理学的基本概念、定律和原理，是审题、读题的首要条件。否则，概念不清，也就无法明白题意。例如：

一根圆木，长为l，用一根长为s的软缆索系在卡车上，悬点离地面高h（如图2—4所示），欲使圆木和软缆索成一条直线，问卡车应以多大的加速度行驶（缆索质量不计）？

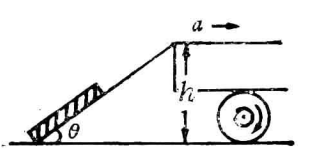


图 2—4

一些同学读这道题时，习惯

认为圆木一头必定着地，似乎题目还缺几个已知条件：摩擦系数未知，地面对圆木的弹力也未知。题中“欲使圆木和软缆索成一条直线”一句并没有读懂。这是因为解答者没有能正确分析圆木受力情况。其实，圆木受力情况很简单，如图 2 — 5 所示，圆木受缆索拉力T和重力G。有了这样的认识，若以地面作参照物，则根据牛顿运动定律可列方程

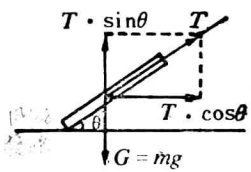


图 2 — 5

$$\begin{cases} T\cos\theta = ma & (1) \\ T\sin\theta = mg & (2) \end{cases}$$

解得卡车加速度为

$$a \geqslant \frac{\sqrt{(l+s)^2-h^2}}{h} \cdot g$$

假如对运动的基本概念理解透彻，这道题还可以汽车为参照物，用惯性力与重力等效的观点来解答。这种方法是将圆木所受的重力和惯性力，合成一个新的等效的“重力”mg'，而圆木可认为是静止“悬挂”的。由静力学知识可知：一根缆索悬挂一根棒在重力场中静止，唯一的可能状态是绳与棒均在竖直线上。

这样，题述情况可认为绳索、圆木和mg'三者同在一直线上（如图 2 — 6 所示），则

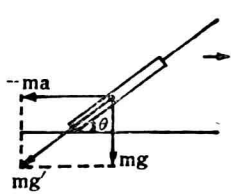


图 2 — 6

$$a \geqslant g\,\mathrm{ctg}\theta$$

又 $\operatorname{ctg}\theta=\frac{\sqrt{(l+s)^2-h^2}}{h}$

$\therefore\quad a\geqslant\frac{\sqrt{(l+s)^2-h^2}}{h}g$

可见，深入理解基本概念，正确掌握基本规律，是读清题意的前提，也是解答问题的基础。

二、审清条件

读题是为了审题，审题的第一步是审清条件，即追索题目中已知条件是什么。同时，也要弄清要求的未知量是什么？防止答非所问或漏答。

题给已知条件的表达形式是多种多样的，当我们审清条件时，需根据不同的差别选取不同的渠道，认真识别。

1．一般已知条件

题中比较明显地给出的已知条件，我们常称之为一般已知条件。如题中所给的有关物理量的具体数值，一目了然，审题时不需费什么力就可识别出来，只是要注意将这些物理量的具体数据统一用国际制单位来表述。

题目给出的一般已知条件中，还有用简单的文句来交代的，例如：

“汽车从车站开出作匀加速运动”，“石块从高楼屋顶自由落下”、“一个从静止开始作匀加速直线运动的物体”，等等。这些都意味着初速度$v_0=0$，同时表明它们应满足四个基本公式和两个比例式，即

$$v_t = at; \quad s = \frac{1}{2}at^2$$

$$v_t^2 = 2as$$

$$s = \overline{v} \cdot t = \frac{1}{2}v_t \cdot t$$

$$s_1 : s_2 : s_3 \cdots = 1 : 4 : 9 \cdots$$

$$s_{\mathrm{I}} : s_{\mathrm{II}} : s_{\mathrm{III}} \cdots = 1 : 3 : 5 \cdots$$

式中s_1、s_2、s_3为物体在1秒钟内、2秒钟内、3秒钟内发生的位移。s_{I}、s_{II}、s_{III}为物体在运动开始的第一秒钟内、第二秒钟内、第三秒钟内的位移。

“光滑的水平桌面”意味着摩擦力略而不计或者说摩擦系数$\mu=0$。

“横梁是均匀的，它的重量为80牛”意味着横梁的重心在它的几何中心处，还可延伸认为有一个80牛的重力作用在横梁的几何中心处，且竖直向下。

“标准状况”意味着气体温度为273.15K，气压为1标准大气压。

“带电粒子在电场中运动”意味着带电粒子所受重力略而不计，把带电粒子视为点电荷。

“电灯正常发光”意味着电灯两端的电压和电功率达到额定值。

“理想变压器”意味着变压器的效率是100%，没有电能损耗。因此，输入功率和输出功率相等，即有$I_1U_1=I_2U_2$。

“电炉铭牌上标着‘220伏、500瓦’和‘220伏、100瓦’字样”意味着它们的电阻值是一定的，可由$R=U^2/P$求得，且通常认为电阻值不变化。

习题中这类用文字表述的已知条件非常多，只要稍加分

析就可以获得，不过理解得深度如何则要看掌握基础知识扎实的程度了。例如

一个物体从270米高的地方自由下落，如果把270米分成三段，物体经过每段所用的时间相等，那么每段高度各是多少米？

这道题同学们可先根据自由落体运动规律去解，然后再看下面的解答。

设总高和三段高度分别为h、h_1、h_2、h_3，则

$$h_1 : h_2 : h_3 = 1 : 3 : 5$$

所以，$h_1 = h \times \frac{1}{1+3+5} = \frac{270}{9} = 30$(米)

$$h_2 = h \times \frac{3}{1+3+5} = \frac{270 \times 3}{9} = 90\text{(米)}$$

$$h_3 = h \times \frac{5}{1+3+5} = \frac{270 \times 5}{9} = 150\text{(米)}$$

同学们将自己的解法和上述的解法比较一下，就会发现：透彻理解并运用文字表述的已知条件，使解题明显简炼。

2．隐含已知条件

先让我们看看下面的一道题。

估算地球大气层空气的总重量（最后结果取1位有效数字）。

这是1984年高考物理试题中的一道小题，这是一道只需用初中物理知识就可解答的、比较简单的题目，然而大多数考生却束手无策，不知该如何下手。究其原因，是已知条件隐蔽得很深，审读题目后不知已知条件何在。

象这种隐蔽、含蓄在题述中的已知条件，通常称之为隐

含已知条件。

追索隐含已知条件的方法有两种：

其一，充分运用物理概念和规律。

根据物理概念和规律去追索隐含条件是一条途径，以“估算地球大气层空气的总重量”一题为例，根据初中物理关于大气压是由大气层的重量产生的论点，可以由压强公式$p=G/S$，得大气重量$G=p_0\cdot S=p_0\cdot 4\pi R_{地}^2$。

式中p_0和$R_{地}$如果已知，那么大气重量G便可算出，p_0和$R_{地}$是否已知呢？这两个量都属于一般的物理常量。其中标准大气压强$p_0=1.0\times10^5$帕斯卡，这是每个学习物理的人所应该记忆的，题目可以不给出，可算作隐含的已知条件。另外，地球半径$R_{地}=6.4\times10^6$米，是可以通过查表获得的隐含条件。

利用这两个隐含条件很快可得$G=5\times10^{19}$牛顿。获得这两个隐含条件的关键是利用关于压强的概念和规律。因此，有人把这种解法命名为“压强法”。

该题也可从引力的角度考虑，认为大气层空气的重量是由地球引力产生的。但这种估算方法要求解题者了解大气层的厚度h（约11千米）远小于地球半径，于是有

$$F_{空气}=G'M_{地}\cdot m_{空气}/R^2_{地}\quad（h略去不计）$$

又 $$p_0=F_{空气}/S_{地球}=G'M_{地}\cdot m_{空气}/4\pi R^4_{地}$$

整理得大气质量

$$m_{空气}=p_0\cdot 4\pi R^4_{地}/G'M_{地}$$

大气总重量

$$G_{空气}=m_{空气}\cdot g$$
$$=p_0\cdot 4\pi R^4_{地}\cdot g/G'\cdot M_{地}$$

式中$R_{地}$已知，重力加速度g和万有引力恒量G'均为应记忆的物理常量，地球质量$M_{地}$可查表获得，这些都是隐含的物理量，均被一一追索出来了。将各隐含条件的具体数值代入前式，同样可以估算大气重量$G=5\times10^{19}$牛顿。由此可见，考虑的方法不同，运用的物理规律不同，所需追索的隐含条件也不同。

该题还可用气态方程来解，但大气厚度h、空气的摩尔质量M、摩尔气体恒量R、平均大气压p、地球半径$R_{地}$等都为隐含条件，在将它们全部找出以后，由下列三式估算

$$m=pVM/RT$$

$$V=\frac{4}{3}\pi[(R_{地}+h)^3-R^3_{地}]$$

$$G=mg$$

如果采用平均密度的方法，则$G=\overline{\rho}gV$，式中$\overline{\rho}$为大气密度平均值，V为大气体积，

$$V=\frac{4}{3}\pi[(R_{地}+h)^3-R^3_{地}]$$

这种方法需要的隐含条件为平均大气密度$\overline{\rho}$（$\overline{\rho}=\rho_0/2$，ρ_0为靠近地面的空气密度）、地球半径$R_{地}$及大气厚度h，在代入它们的具体数值后，可求得$G=4\times10^{19}$牛顿。

综上所述，运用物理规律不同，追索的隐含条件也不同，其中必有所需隐含条件少且方法简便的，如上例的“压强法”。

其二，善于运用图象。

运用图象来追索隐含已知条件，是另一条途径。试看下例：

有一个和水平面成θ角度的斜面（$0°\leqslant\theta\leqslant90°$）；一质点

从斜面上某点O开始，以某速度沿斜面上滑；随着θ角的不同，质点在斜面上能达到的最大距离OS也不同。若令$OS=x_0$，则x_0随θ角变化的大致情况如图2—7所示。试求x_0的最小值以及对应的θ角。（g取10米/秒^2）

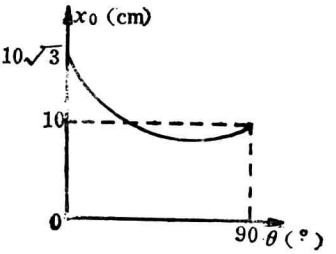


图2—7

该题是求上滑的最大距离

$$x_0=\frac{v_0^2}{2a}$$

式中加速度

$$a=\frac{F_1+f}{m}=\frac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{m}$$

$$=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)$$

综合上述二式

$$x_0=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)} \qquad (*)$$

题目要求的是$\theta=$？时，x_0最小，并求出最小值。但题述中并未给出初速度v_0和滑动摩擦系数μ，仔细观察附图，v_0和μ已隐含在图中。只要借助图象，追索隐含的两个已知条件，问题就迎刃而解了。

由图2—7可知，当$\theta=90°$时，质点为竖直上抛，则

$$v_0=\sqrt{2gx_{01}}=\sqrt{2\times10\times10\times10^{-2}}$$

$$=\sqrt{2}(\text{米/秒})$$

当$\theta=0°$时，质点在平面上作匀减速运动，

$$v_0^2=2as=2\mu gx_{02}$$

$$\therefore\quad \mu=v_0^2/2gx_{02}$$

$$=(\sqrt{2})^2/2\times10\times10\sqrt{3}\times10^{-2}=\sqrt{3}/3$$

将v_0与μ值代入（*）式，求x_0的极值，得$\theta=60°$时x_0最小，且$x_{0\min}=\frac{\sqrt{3}}{20}\approx0.087$(米)$=8.7$(厘米)。

上例说明，图象中的隐含已知条件，并不能从图中直接读出，还要通过适当的物理分析。也有些题目是把一些已知条件隐含在附图中，其追索隐含条件的方法类同于从图象中追索。例如

如图2—8所示的电路图，如果毫安表的读数为0.8毫安，试问PNP三极管的β值多大？

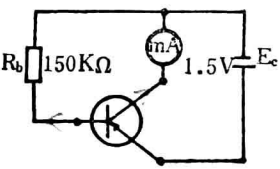


图2—8

图中已注明$R_b=150$千欧、$E_c=1.5$伏，这不能算作隐含条件，而是一般已知条件，一目了然。由晶体三极管放大系数知$\beta=I_c/I_b$，已知$I_c=0.8\times10^{-3}$安，基极电流$I_b=E_c/R_b$才是图中的隐含已知条件。当把这个隐含条件找出后，立即就可算出β值，即

$$\beta=\frac{I_c\cdot R_b}{E_c}=\frac{0.8\times10^{-3}\times150\times10^3}{1.5}=80。$$

另外有些物理题，表面上看来似乎少给了某些条件或数据，但是可以采取物理变换和数学变形，绕开缺少已知条件的障碍，获得解答。现通过两例来说明如何去追索这类特殊的已知条件。

例1 如图2—9所示，r是电源内阻和导线电阻之和，在外电路断开时，电压$U_{ab}=120$伏；若在ab间接上一个额定功率$P_A=60$瓦的灯泡A时，电压$U'_{ab}=110$伏；若在ab之间再并联一个电炉B时，电压$U''_{ab}=90$伏。假定A、B的额

定电压相同，且它们的电阻值都不变，求电炉的额定功率P_B。

分析 由题意可得

$$\varepsilon=U_{ab}=120\text{伏}$$

$$(\varepsilon-U'_{ab})/r=U'_{ab}/R_A \qquad (1)$$

$$\frac{\varepsilon-U''_{ab}}{r}=\frac{U''_{ab}}{R_AR_B/(R_A+R_B)} \qquad (2)$$

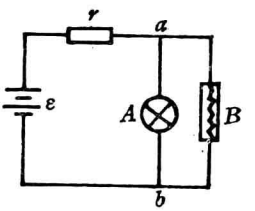


图 2—9

式中R_A、R_B分别为灯泡和电炉的电阻，由(1)、(2)式可知，两个方程无法求出r、R_A、R_B三个未知数，问题得不到最后答案。

由于A、B是额定电压相同的线电阻用电器，其额定功率与阻值成反比，即$P_A/P_B=R_B/R_A$。

如果能求出R_A/R_B，就可以减少一个未知数，使方程获解。化简(1)、(2)式并代入数据可得

$$r/R_A=1/11 \qquad (3)$$

$$r(1+R_A/R_B)/R_A=1/3 \qquad (4)$$

由(3)÷(4)得 $R_A/R_B=8/3$

这样P_B就可求得。即$P_B=R_A/R_B\cdot P_A=160$(瓦)。

例2 如图2—10所示，带负电小球悬在带电平行板之间，两板间距为8厘米，两极板间电势差为300伏。如将两极板间的电势差减少到60伏，则带电小球落到低电势极板需要多长时间？（g取10米/秒^2）

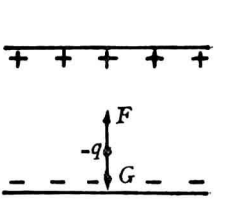


图 2—10

分析 开始小球处于悬浮状态，所受电场力和重力平衡，即$mg-Eq=0$。后来两板电势差减小，则电场力减小，小球失去平衡，受合力作用向下作匀加速直线运动，可列方程$mg-E'q=ma$；又 $E=U/d$，$E'=U'/d$，代入上述两式可得方程组

$$\begin{cases} mg-\dfrac{Uq}{d}=0 & (1) \\ mg-\dfrac{U'q}{d}=ma & (2) \end{cases}$$

方程组共有四个未知数：m、q、d、a。似乎已知条件太少了，求解有困难。但是将方程组作适当变形如下

$$\begin{cases} mg=\dfrac{Uq}{d} & (3) \\ m(g-a)=\dfrac{U'q}{d} & (4) \end{cases}$$

用(4)式÷(3)式得$\dfrac{g-a}{g}=\dfrac{U'}{U}$，此式仅有未知数$a$，可以求出，即

$$a=(1-\frac{U'}{U})g=(1-\frac{60}{300})g=\frac{4}{5}g$$

最后运用公式$s=\dfrac{1}{2}at^2$求得结果，即

$$t=\sqrt{\frac{2s}{a}}=\sqrt{\frac{2\times 8\times 10^{-2}}{0.8\times 10}}=0.14(\text{秒})$$

由上可知，某些习题，虽然解题条件并未全部给出，但只要我们能灵活运用物理基本知识，或熟练运用数学知识，那些隐含的或未给的解题条件总是可以一一追索出来的。

近年来还出现了一些解题条件多余的习题，这也是一种

培养识别能力的习题。所谓条件多余，就是在题目所给的已知条件中，一部分条件是多余的、重复的，或者是不相干的。解题者必须善于分析、辨别，并“敢于”抛开它们。这里就不赘述了。

读审全题是调查研究阶段，是形成解题思路的起点，为了提高读审效果，除了“知识基础放首位，逐句推敲抓关键”以外，还应重视发挥示意草图或附图的作用，把已知条件和要求的物理量，用代号标在示意图中，让解题的信息全部展现在眼前。通过图示不仅能初步了解解题条件之间的联系，而且能够大大拓宽解题视野。从而为解题构思打下良好的基础。

第二节　构思

读、审题目之后，紧接着就需深入分析，探索解题的正确途径，这就是解题的“构思”阶段。

构思的中心是根据题意分层解析，在明确题给的物理图景和物理过程的基础上展开逻辑思维，选用适当的物理规律、公式，并借助恰当的数学工具，搭起从已知量通向所求未知量的桥梁。因此，构思成了正确解题的一个关键环节。

一、分层解析

1．画草图展示物理图景

画草图不仅可以帮助我们读审题目，理解题意，同时还

可以使我们进一步认识题述物理过程，使物理现象具体化，使已知量与所求量的关系条理化；有助于运用基本概念进行判断和推理，促进逻辑思维的展开。

例3 汽车拉一挂车在水平路面上匀速前进，突然两车连接挂钩脱开了；司机发现后，立即关闭油门，撤去牵引力，但汽车已走过 S 的路程。若汽车质量为 M，挂车质量为 m，阻力与各自的车重成正比，汽车关闭油门前牵引力不变，求汽车与挂车都停止时，两车相隔多远？

分析 这道题描述的运动过程比较复杂，不仔细分析，很难明白前后的物理关系。我们不妨画个草图，将汽车、挂车的运动情景在纸上模拟地描绘出来。如图 2—11所示，A 处为两车刚要脱钩的位置，B处为挂车停止的位置，C处为汽车司机发现脱钩的位置，D处为汽车停止的位置。

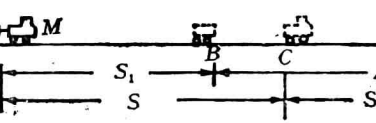


图 2—11

图中标上汽车质量M、挂车质量m、汽车司机发现脱钩时，汽车已行距离S等已知量。同时，标出脱钩后挂车前进的距离S_1，还有汽车关闭油门后滑行距离S_2。直观的草图能使我们明辨路程间的关系。在汽车与挂车都停止后，两车相隔距离：

$$\Delta S = S + S_2 - S_1$$

草图不仅展现了ΔS与其它各量的关系，更重要的是，

汽车和挂车的运动性质和规律也尽收眼底。汽车从脱钩点A至停止点D，根据动能定理可列方程：

$$FS-f_2(S+S_2)=-\frac{1}{2}Mv^2$$

式中F为汽车牵引力，v为刚脱钩时两车共同速度，f_2为汽车所受阻力，由题意$f_2=\mu Mg$。

对于挂车，从脱钩点A到停止点B，根据动能定理可列方程

$$-f_1S_1=-\frac{1}{2}mv^2$$

式中f_1为挂车所受阻力，且$f_1=\mu mg$。

两车在脱钩前，匀速行驶，因此汽车的牵引力

$$F=f=\mu(m+M)g$$

综上各式，很快可以得到结果$\Delta S=\frac{m+M}{M}\cdot S$。

物理题中，上例是属于直观性比较强的题目。还有一些题比较抽象，如果我们能根据题意，想象出一幅物理图景，画出示意图，解题思路就清晰了。

例4 一容积为32升的钢瓶，装有压强为100×10^5帕斯卡的氧气。若每天要用400升氧气（1×10^5帕斯卡），且使用到压强为10×10^5帕斯卡时就需重新充气，则一钢瓶氧气够用多少天？

分析 气体的状态变化比较抽象，读完题后，会使人觉得无从下手。若把气体状态变化的过程画一幅示意草图（如图2—12所示），整个题目的解答就明了了。

草图中两只钢瓶，一只压强$p_1=100\times10^5$帕斯卡，另一只压强$p_2=10\times10^5$帕斯卡，虚线圆圈表示它们分别在1×

10^5帕斯卡气压下的体积V_1和V_2，然后根据每天有$V_3=400$升（1×10^5帕斯卡气压下）的耗氧量，只需简单的运算便得结果。

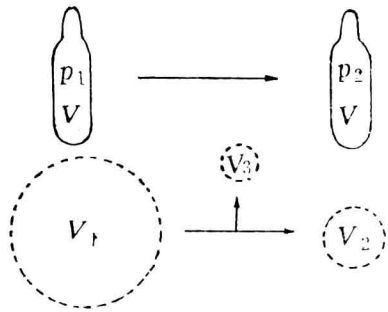


图 2—12

显然，画示意草图不仅有助于明确题目的物理图象，而且有利于解题者提高分析问题的能力。通常，示意草图有下列几类：

（1）描绘物理状态的本质。物体处在某一状态，有着它的物理本质，如何形象的把它描绘出来，建立起反映本质的物理图景呢？比如在力学中，物体的运动状态是由它所受诸力作用的结果。因此许多力学问题的研究，都离不开物体受力分析。画出物体受力的示意图，把物体受力情况直观形象地展示出来，就能抓住问题的本质。

例 5 如图 2—13所示，撑杆一端固定在墙上并与墙成$\alpha=75°$角，杆的另一端装一滑轮，绳子ACD绕过滑轮，A端固定在墙上，AC成水平，D端挂重物G牛顿。若撑杆和绳子的质量以及绳子、滑轮的摩擦都不计，求滑轮沿撑杆方向所受杆的作用力。

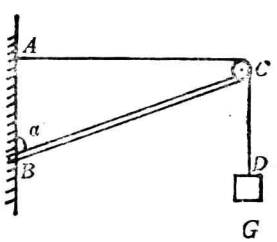


图 2—13

分析 此题不计绳子和滑轮间的摩擦，画出它们受力情况示

意图如图 2—14所示。可见AC绳的张力与重物拉力相等，即$T_1=T_2=G$，对滑轮的合力

$F=\sqrt{2}G$，方向如图 2—14；再将F分解，由图示可得，滑轮沿BC方向对杆的压力

$$F_2=F\cdot\cos30^\circ$$

$$=G\cdot\sqrt{2}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\approx1.2G$$

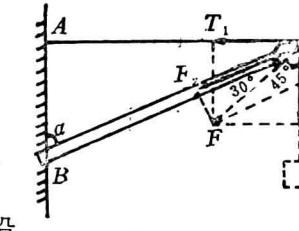


图 2—14

根据牛顿第三定律，滑轮沿BC方向所受杆的作用力是F_2的反作用力。$F_2'=-F_2\approx-1.2G$，负号表示F_2'的方向与F_2相反。

描绘物理状态的示意图还有速度分解图、波形图、电路图、光路图等等。

（2）描叙物理过程的动态变化。把物理过程的动态变化，形象而又明了地从文字叙述转化为图示，需要精心地构思，这在物理学解题中是经常出现的。

例6 向内径均匀的U形管内注入水银，两管中水银面与管口的距离均为30厘米，然后封住一口，在另一管口中注入密度为0.8×10^3千克/米^{3}的酒精。试问：当酒精倒满时，酒精液柱多高？（整个过程等温）

分析 当作出了如图2—15的草图，并标出反映变化的基准线，物理过程的动态变化就清楚了。

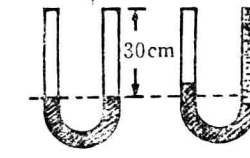
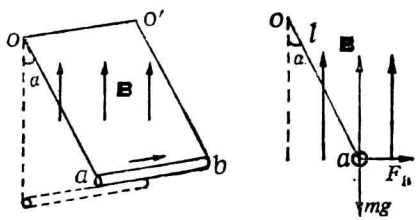


图 2—15

（3）用简单、直观的平面示意图描述抽象复杂的立体图景。

物理习题所叙述的物理过程，常常是立体的、空间的。这对于空间想象能力差的人来说，解题会感到困难，甚至会陷入一筹莫展的困境；但如果我们能把一些立体的物理图景用平面图展示出来，那么，便可很方便地找出各相关量之间的关系。

例7 质量为m、长度为L的水平放置的金属棒ab，用长为l的两根细金属丝悬挂在绝缘支架OO'的下面，整个装置处在竖直向上的匀强磁场中，已知磁感应强度为B。当金属棒通以由a向b的电流I后，棒和悬线所构成的线框平面将偏开竖直方向，试求线框平面跟竖直方向的偏角α为多大？（如图2—16甲所示）



（甲）　（乙）

图 2—16

分析 题目已经将立体图画出，因此，我们只需将立体图改画成投影的平面图（如图2—16乙所示）。

从平面图显而易见棒受的磁场力$F_B=BIL$，也比较容易写出力矩平衡方程。

以OO'为轴，磁力矩

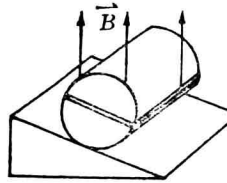
$$M_B=F_Bl\cos\alpha=BILl\cos\alpha$$

金属棒的重力对OO'轴的力矩

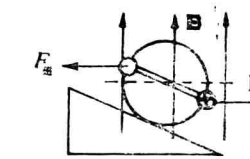
$$M=mgl\sin\alpha$$

力矩平衡时，$M_B-M=0$，可解得偏角α。

又如线圈在磁场中转动的示意图，如图 2—17甲所示，图中斜面上放着的是有通电线框缠绕的圆柱体，图示为立体图。而图 2—17乙所示为其平面示意图。



（甲）



（乙）

图 2—17

这类变立体图为平面图示的习题，是屡见不鲜的。只要我们能选取正确的投影方向，把各相关的物理量都展示出来，问题是不难解答的。

2．分层次确定解题依据

画草图明确物理图景的过程，实际上是还原物理模型的过程。根据物理图景草图，将整个物理过程分解成若干层次，即子过程；再根据各子过程及它们之间的内在联系，运用解题所需的物理概念和规律，寻找解题方法。

例如，由汽枪射出的一颗质量为m千克的铅弹，以v_1米/秒（竖直向下）的速度击中浮在水面上的质量为M千克的木块，并停留在木块中。木块被击中后沉入水里，问经过多少时间才露出水面？（水对木块的阻力不计，木块密度为$\rho_木$千克/米^3）

先画示意草图（如图 2—18所示）。

根据示意草图可知，整个物理过程，分两个层次。

首先，子弹以速度v_1射中浮于水面的木块，是一个碰撞过程，且子弹与木块组成统一体继续下沉。于是可以用动量守恒定律求解统一体的速度v_2，即$mv_1=(M+m)v_2$。

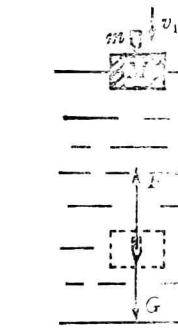


图 2—18

其次，子弹和木块的统一体以v_2继续运动的过程，又可分两段外理。一段是木块与子弹的统一体，以初速v_2向下作匀减速运动直至停止。另一段是统一体以加速度a，由水底向上作匀加速运动至重新露出水面为止。如此分段，就可以应用匀减速运动和匀加速运动的规律和公式来解题。其中两段加速度a均由统一体重力与浮力的合力产生，方向指向水面。

根据牛顿第二定律可得，

$$\rho_{水}Vg-(M+m)g=(M+m)a$$

式中V为木块体积，可由密度、质量求得，即$V=\dfrac{M}{\rho_{木}}$，进一步可求出时间t，这里不再赘述。

另外，统一体所受合力始终向上，故下沉和上浮至水面，两阶段可一次处理。即把统一体下沉、上浮的全过程看作位移为零的匀变速运动：

$$h=v_2t-\frac{1}{2}at^2=0$$

解方程求出t。

分析表明，分层次研究物理过程，可以把一个较复杂的物理过程简化成若干子过程，帮助理解题意、简化解题。它

是解题过程中经常被采用的方法之一。

例8　质量为m的物体A以速度v_0从平台滑到静止的平板小车B（质量为M）上；小车与平台等高，A和B间的滑动摩擦系数为μ；B载着A在光滑的平面上运动。若A的体积不计，要使A在B上不滑出去，B至少多长（如图2—19所示）？

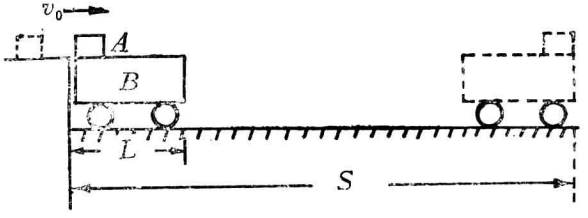


图　2—19

分析　在画草图明确物理图景阶段，让我们分析A、B互相的作用：A以v_0速度滑到小车上，受滑动摩擦力$f_A=-\mu mg$，在f_A作用下，A作匀减速运动。B车呢？根据牛顿第二定律，A对B的摩擦力$f_B=\mu mg$成了B车的动力，B作匀加速直线运动。

开始，A的速度逐渐减小，B的速度逐渐增大，二者速度不同，存在相对滑动，其间就有滑动摩擦力。直到A与B以共同速度v前进，A、B间没有了相对运动或相对运动趋势，摩擦力才消失。这时A相对B已滑动的位移L，便是题目所要求的小车的最短长度。

如何求得L呢？这就要寻找解题依据，总的来说，从动力学的角度来解题，则应在动力学规律中去寻找解题依据。

对于小车B和物体A，可以应用牛顿第二定律求出A相对

B的加速度a'。最后，根据运动学公式，求出A在B上滑动距离，即得B车至少多长。

当我们完成了对解题依据的分析之后，应当仔细推敲，依据是否充分、合理。比如对上述问题，有人提出：由于小车B与地面无摩擦，会不会A一滑到B上，B就立即获得较大速度，因而A与B没有相对运动，两者之间不存在摩擦力呢？这一问题关系到整个题的解题依据是否正确。

其实，力不产生速度，只产生加速度，何况小车有一定质量，从静止获得一定速度，必须要经历一定的时间。小车质量越大，所需时间越长。A与B在达共同速度以前，必有相对运动，其间必存在摩擦力。如果我们作A、B两物体的v—t图象，可以从图象中鲜明地看到这一点。

经过如此分析，我们的解题依据才较可靠。然而，若另从动量和能量的角度来揭示该题的物理图景，那么解题依据又得重新作如下调整。

A滑到B上，其间的摩擦力使A在Δt内速度由v_0减小到v，而B相应速度由零增加到v。其解题依据为，A在冲量$I_1=-\mu mg\Delta t$的作用下，发生了动量变化$\Delta p=m(v-v_0)$，B在冲量$I_2=\mu mg\Delta t$作用下，动量变化为Mv；或者把A和B视为一个系统，可认为系统的动量守恒，于是动量定理或动量守恒成了解题依据之一。

在此期间，A一方面在小车上滑动，另一方面又随小车运动，它相对地面发生的位移是S，小车B相对地面位移是$S-L$。从能量角度考虑，摩擦力对A作负功，$W_{f1}=-\mu mgS$，使得动能减少，而对B而言摩擦力作正功，使小车B动能增加，于是可以根据动能定理进一步列式。

这道题还可以从运动学的角度来考察，那么，运动学中的规律就成为解题依据。因此明确物理图景的角度不同，解题依据就不同，相应解题方法也不同。但是只要图景正确，依据充分，解题无误，结果肯定是一致的。

二、展开思路

1．抓关键，展开解题思路

明确题目所叙的物理图景，并相应寻找一些解题依据，这是构思中的重要环节，然而如何把物理图景、解题依据（物理基础知识及规律）和数学知识有机的联系在一起，还得继续展开解题思路。

怎样才能抓住展开解题思路的关键呢？在读审全题、分层解析的基础上，应用科学的思维方法，集中在已知和未知内容中分析内在联系，紧扣跟因果关系有密切联系的物理量、物理现象。

例 3　一个质量$M=0.84$千克的木块，放在光滑水平面上，并用销钉固定（如图 2—20所示）。若有一质量$m=0.2$千克子弹，以$v_0=200$米/秒的速度水平射向该木块，穿出后的速度$v_1=100$米/秒。现将销钉拔去，子弹仍以v_0水平射向木块，那末物块与子弹最终速度各是多少？（设子弹在木块中所受阻力不随其相对速度而改变）。

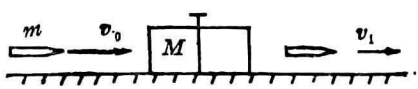


图 2—20

分析 这道题解答的重点是销钉拔去后，子弹和木块的运动情况。题目并未明确给出子弹是否已穿过木块，已知条件似乎不太充分，解题发生困难。其实不一定强求题目给出子弹和木块的运动情况，我们可以广开自己的思路，认真加以分析，看看到底能否解答。子弹射向木块不外乎两种情况，一是射穿木块，一是没有射穿且滞留在木块内。我们可以先假定一种情况，并按此情况进行解答，得出结果后再进行验证，看看假设情况是否合理。如合理，则说明假定是正确的，否则说明原来的假定是错误的，需要重新假定重新计算，再讨论验证。这样几次反复，总会有一种情况是子弹射向木块后的真实情况。

先假定子弹穿不出木块，且嵌在木块内一起运动。设它们的共同速度为v，由动量守恒定律

$$m \cdot v_0 = (m+M) \cdot v$$

$$\therefore \quad v = \frac{m}{m+M} v_0 = \frac{0.2}{0.2+0.8} \times 200 = 40(\text{米/秒})$$

该结果是否正确，我们可以用子弹射入木块后的能量损失来验证。子弹射向木块的动能损失为：

$$\Delta E' = \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.2 \times 200^2 - \frac{1}{2}(0.2+0.8) \times 40^2$$

$$= 3200 \text{（焦耳）}$$

据题意，子弹射穿木块克服阻力做功需损失的能量为：

$$\Delta E = \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m (v_0^2 - v_1^2)$$

$$=\frac{1}{2}\times 0.2\times(200^2-100^2)=3000\text{（焦耳）}$$

$\Delta E'>\Delta E$，先前假定子弹未射穿木块，但其消耗的能量反而比射穿所消耗的能量多，显然不合理。因而需重新假定子弹已射穿木块。

设子弹射出后的速度为v_1，木块获得的速度为v_2，由动量守恒和能量守恒得：

$$\begin{cases} mv_0=mv_1+Mv_2 \\ \frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2+\Delta E \end{cases}$$

式中ΔE是子弹射穿木块实际所需能量。

解此方程组，可得$v_1=80$米/秒、$v_2=30$米/秒，经验证可知此假定是合理的。本例解答至此已经完毕。但应当指出的是：该题解答结果并不意味着子弹射向木块一定能穿过，读者若有兴趣可以改变木块的质量或子弹的质量、初速等，那么解答结果将会出现新的情况。

2.思步骤，建立解题方程

通过对物理习题的分层解析，题述物理图景和物理过程的层次已十分清楚，解题的思路已初步形成。此时便可构思解题步骤、建立解题方程了。

构思解题步骤、建立解题方程，即努力根据所展示的物理图景及物理过程的各层次（子过程）间的内在联系，将未知量和已知量联系起来，准确、灵活地运用各物理子过程的代表公式，建立起解答未知量的方程式或方程组。

例10 如两个浅水银槽中放一个轻质量的“冂”形导

体，其质量为m、长度为L，置于磁感应强度为B的匀强磁场中。两个浅水银槽分别与电源ε连接（如图2—21所示），通电后导体能跳起的高度为h_m，求通过导体的电量。

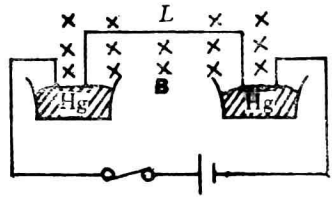


图2—21

分析 经过分层解析，该题可包括两个物理子过程。

其一，电键合上后，ε、Hg、L组成通电电路。通电导体L在磁场中受到磁场力的作用而获得向上的速度，它符合动量定理；其二，导体在获得初速以后，继续做竖直上抛运动至最大高度。另外该题的已知量，有“冂”形导体的质量m、长度L、磁感应强度B和导体跳起的高度h_m，未知量即所求量，是流过导体的电量q。在掌握上述情况后，便可根据上述两个物理子过程及其代表公式，以及它们的内在联系，建立求解未知量的方程了。

(1) “冂”形导体通电时，L受磁场力$F=BIL$，I是单位时间内通过导体的电量，这样便把未知量q和磁场力联系起来。

$$F=BIL=B\frac{q}{t}\cdot L \qquad (1)$$

(2) 因磁场力F远大于导体重力，所以重力可忽略。于是“冂”形导体获得向上运动的速度是F对其冲量产生的。

$$Ft=mv_0 \qquad (2)$$

(3) “冂”形导体竖直上抛的最大高度

$$h_m=v_0^2/2g \qquad (3)$$

综合(1)、(2)、(3)式可以求得电量

$$q=\frac{m\sqrt{2gh_m}}{BL}$$

应当指出，在建立解题方程时，必须对各物理子过程的基本概念和公式所表示的物理意义有清晰的理解，否则会出现各种各样的差错，等到发现错误，再涂涂改改，不仅浪费了时间，而且心理上造成不良的影响，甚至一错到底。例如：

质量为m的物体放在倾角为θ的斜面顶端，物体与斜面间的滑动摩擦系数为μ，物体从静止开始滑下，到达斜面底端时速度为v。求物体到达底端时，滑动摩擦力与重力的即时功率各为多大？

有的同学认为即时功率的计算公式$P=F\cdot v$，速度v已知，滑动摩擦力$f=\mu N=\mu mg\cos\theta$，重力$G=mg$。因此，便草率作出解答：

$$P_{摩}=\mu mgv\cos\theta$$

$$P_{重}=mgv$$

然而，功率的概念是建立在功的概念基础上的；这里摩擦力是该物体运动的阻力，所做的功是负功。因而摩擦力的功率为负值。

物体的重力始终是竖直向下的。因而重力的即时功率应当是重力和速度在竖直方向上分量的乘积。正确的答案应该是：

$$P_{摩}=-\mu mgv\cos\theta$$

$$P_{重}=mgv\sin\theta$$

很显然，产生上述错误的原因是对功和功率的基本概念不清楚。因此，在构思解题步骤、建立解题方程时，要对各物理过程及其代表公式的物理意义有深刻的理解，才能在解

题过程中避免或减少错误。下面列出力学中一些常见问题的物理过程及其代表公式的意义。

（1）物体平衡问题。受力分析是关键；共点力平衡的物体，所有力的合力为零，即$\Sigma F=0$。根据实际受力情况，列出平衡方程。

有固定转轴的物体的平衡，应找出所有力矩，列出所有合力矩为零的方程，即$\Sigma M=0$。

（2）动力学问题。牛顿第二定律公式$\Sigma F=ma$，关键在寻找所有力的合力。一般以合加速度方向为准，跟合加速度a同向的力为正，反之为负；列方程时防止漏掉某些力。另外不要忘记在与加速度垂直方向上还可列一个平衡方程，往往在计算摩擦力时用到。

（3）动能定理问题。方程式等号的左边是外力对物体做的功的代数和，等号的右边为物体动能的增量，即末状态的动能减去初状态的动能。

（4）机械能守恒定律问题。方程式等号的左边和右边分别是系统初、末状态的总机械能，关键在系统的总机械能的运算式。

（5）动量定理问题。方程式的左边为物体所受合外力的增量，关键在完整无误的寻找所有有关的外力。等号的右边为物体动量的增量，即末状态的动量减去初状态动量。

（6）动量守恒定律问题。方程式等号的左边为系统内相互作用前的总动量，等号右边为系统内相互作用后总动量。关键在弄清守恒条件下，作用前后的总动量（注意总动量是矢量和）。

对复杂的习题，往往要通过好几个方程式联立求解。如

果单个方程式所表达的物理意义恰题无误的话，几个方程的综合也不难。

第三节　解　答

建立解题的有关方程后，便着手完成解答这一环节。解答应紧扣题目要求，按照建立方程的逻辑顺序，作出简明、扼要、完整、符合规范要求的运算。

一、精选解法

许多物理问题，往往有多种解法，其中当然存在比较简捷、明确的解答方法。善于从多种解法中选出最佳解法，是解题能力和技巧的反映。因此，读者应当注意培养一题多解，并分析最优解法的能力。

1．一题多解

解答物理题，不要以求得答案为唯一目的，要有意识地从不同侧面、寻求不同的方法去解答，逐步提高自己的解题能力。

例11　两个容积相同的容器，里面盛有同种气体，一段水平玻璃管把它们连接起来。玻璃管中央有一段水银柱，当一个容器内气体的温度为 0 ℃，另一个容器内气体的温度为 20 ℃时，水银柱保持静止。如果两容器内气体的温度都升高 10 ℃，管内水银柱会不会移动？若移动，应向哪个方向？试根

据已学过的定律加以判断。

读审 根据题意画一简图(如图 2—22所示)，将两个容器分别用容器Ⅰ和容器Ⅱ表示。设Ⅰ中气体的初状态参量为p_1、V_1、T_1，Ⅱ中气体的初状态参量为p_2、V_2、T_2。Ⅰ和Ⅱ中气体温度的升高$\Delta T_1=\Delta T_2=10℃=10K$。

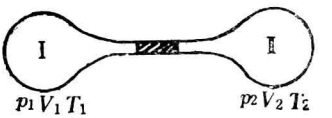


图 2—22

构思 假设Ⅰ、Ⅱ中的气体都作等容变化，由于温度的升高，容器Ⅰ中的压强由p_1增加为p_1'，则压强的增量$\Delta p_1=p_1'-p_1$。容器Ⅱ中压强由p_2增加为p_2'，则压强的增量$\Delta p_2=p_2'-p_2$。我们可以比较它们升温后的压强p_1'和p_2'的大小，从而判断水银柱的动向；也可以通过比较压强增量Δp_1和Δp_2的大小，判断水银柱的动向。无论那种途径，都可以选择公式法和图象法来解答。

这里，我们比较它们升温后的压强p_1'和p_2'。

解法 1 用公式法比较。

根据查理定律，容器Ⅰ中

$$\frac{p_1'}{T_1'}=\frac{p_1}{T_1} \quad 即 \quad p_1'=\frac{T_1'}{T_1}\cdot p_1 \tag{1}$$

同理，容器Ⅱ中，

$$\frac{p_2'}{T_2'}=\frac{p_2}{T_2} \quad 即 \quad p_2=\frac{T_2}{T_2'}\cdot p_2' \tag{2}$$

将(2)式代入(1)式，且$p_1=p_2$，

即 $$p_1'=\frac{T_1'}{T_1}\cdot\frac{T_2}{T_2'}\cdot p_2'$$

代入数值

$$p_1' = \frac{283}{273} \cdot \frac{293}{303} \cdot p_2' = \frac{82917}{82710} \cdot p_2'$$

由此可见$p_1' > p_2'$，水银柱向容器Ⅱ方向移动。

解法 2 用图象法比较p_1'、p_2'。

首先作等容图象，即p—T 图 象（如图2—23所示）

压　强	$p_1(=p_2)$	$p_2(=p_1)$
温　度	$T_1=273\text{K}$	$T_2=293\text{K}$

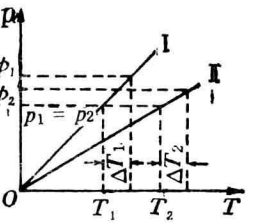


图2—23

因为$\Delta T_1 = \Delta T_2$，又容器Ⅰ比容器Ⅱ的p--T图象斜率大，所以$p_1' > p_2'$，水银柱向容器Ⅱ方向移动。

这道题如果比较压强的增量Δp_1和Δp_2，也有两种解法。

解法 3 用公式法比较Δp_1和Δp_2。

容器Ⅰ的气体，根据查理定律

$$\frac{p_1'}{T_1'} = \frac{p_1}{T_1} \quad \text{即} \quad \frac{p_1 + \Delta p_1}{T_1 + \Delta T_1} = \frac{p_1}{T_1}$$

解得 $\Delta p_1 = \frac{\Delta T_1}{T_1} p_1$

同理可得 $\Delta p_2 = \frac{\Delta T_2}{T_2} \cdot p_2$

因为$p_1 = p_2$，$\Delta T_1 = \Delta T_2$，且$T_1 < T_2$，

所以$\Delta p_1 > \Delta p_2$，水银柱向容器Ⅱ方向移动。

解法4 用图象法比较Δp_1和Δp_2。

作容器Ⅰ、Ⅱ的等容图象，即p—T图象（图 2 — 24 所示），Ⅰ比Ⅱ的斜率大，由已知条件，$\Delta T_1 = \Delta T_2$，则ΔP_1

$>\Delta p_2$，水银柱向容器Ⅱ方向移动。

从上述四种解法，不难看出，选择不同的物理规律，从不同的物理概念出发，就可以有不同的解法。解题中注意寻求不同的解法，将加深对题涉规律、概念的理解。

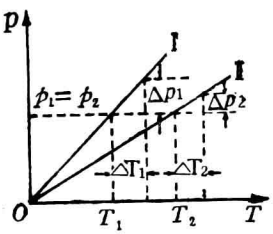


图 2—24

另外，这道题的解答还说明，运用不同的数学方法也将出现不同的解法，重视这方面的训练，会使我们解决物理问题的能力大大提高。

平时在解物理习题时，可以对全题进行多种解法的练习，也可以对题中某一步骤进行多种解法的探讨。

例12 一辆车提升（通过一根跨过定滑轮的绳PQ）井中质量为m的物体，如图2—25所示。绳的P端拴在车后挂钩上，Q端拴在物体上。设绳的总长不变，绳的质量，定滑轮的质量、尺寸，滑轮上的摩擦都忽略不计。

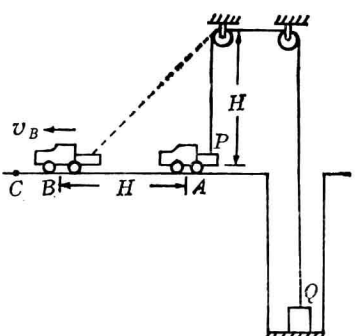


图 2—25

分析 开始时，车在A点，滑轮左右两侧绳都已绷紧并且是竖直的，左侧绳长为H。提升时，车加速向左运动，沿水平方向从A点经B点驶向C点。设A到B的距离也为H，车过B点时的速度为v_B。求在车由A移到B的过程中，

绳Q端的拉力对物体做的功。

解 车由A到B时，左侧绳与竖直方向的夹角为$\theta(=45°)$，物体由井底竖直上升的高度为h，速度为v。因绳总长不变，所以

$$h=\frac{H}{\cos\theta}-H=\frac{H}{\cos 45°}-H$$
$$=(\sqrt{2}-1)H$$

绳Q端的拉力对物体所做的功W，可以有三种方法来求：

方法 1　由动能定律得

$$W-Gh=\frac{1}{2}mv^2$$

则　$W=\frac{1}{2}mv^2+mgh=\frac{1}{2}mv^2+mg(\sqrt{2}-1)H$

方法 2　由功能关系得

$$W=\frac{1}{2}mv^2+mgh=\frac{1}{2}mv^2+mg(\sqrt{2}-1)H$$

方法 3　由功的定义得：

$$W=\overline{F}\cdot h$$

式中$\overline{F}$为平均拉力，$\overline{F}=m\overline{a}+mg$，由于平均加速度$\overline{a}=v^2/2h$，所以

$$\overline{F}=mv^2/2h+mg$$

则　$W=\overline{F}\cdot h=\frac{1}{2}mv^2+mg(\sqrt{2}-1)H$

这三种解法，要想得到最终结果，关键问题是要求出物体的速度v，也就是左侧绳P端沿绳的方向上的速度。如何求该速度呢？求法至少有下列几种：

方法 1　速度分解法。按图 2—26所示分解，得

$$v=v_B\cos\theta$$
$$=v_B\cos45^\circ=(\sqrt{2}/2)\cdot v_B$$

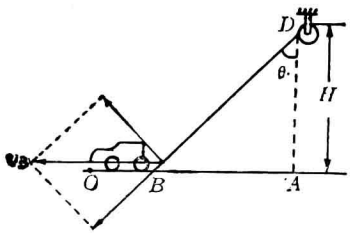


图 2—26

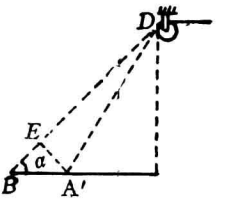


图 2—27

方法 2 位移法。设车先行到A'，经Δt后行至B（如图2—27所示）。过A'作$A'E\perp DB$，则$BE=BA'\cdot\cos\alpha$，两端同除以Δt，得 $BE/\Delta t=(BA'/\Delta t)\cos\alpha$

两端取极限

$$\lim_{\Delta t\to0}BE/\Delta t=\lim_{\Delta t\to0}(BA'/\Delta t)\cos\theta$$

显然，$\lim\limits_{\Delta t\to0}BE/\Delta t=\lim\limits_{\Delta t\to0}(BD-A'D)/\Delta t=v$

$$\lim_{\Delta t\to0}BA'/\Delta t=v_B$$

所以 $v=v_B\cdot\cos\alpha$

当车行至B时，$\alpha=\theta=45^\circ$

所以 $v=v_B\cdot\cos45^\circ=(\sqrt{2}/2)\cdot v_B$

用极限法求v，除此以外至少还有两种，考虑到同是数学方法，重点应放在解法的实质和基本思路上，而不应追求形式上偏重数学运算的方法。因此，仅举一例。

方法 3 求导法。如图2—28所示，物体上升的高度，$h=\sqrt{x^2+H^2}-H$，则

$$v=\frac{dh}{dt}\Big|_{x=H}=\left[\frac{2x}{2\sqrt{x^2+H^2}}\cdot\frac{dx}{dt}\right]_{x=H}$$

$$=\frac{\sqrt{2}}{2}\cdot v_B$$

应当指出，中学物理不要求用导数表示速度，这里考虑到中学数学已涉及微积分初步知识，简单介绍，以便开阔读者视野。

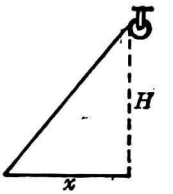


图 2—28

2. 多解选优

一题多解可以使我们加深对基本概念和定律的理解，能帮助我们灵活运用物理规律和公式，促进思维能力的提高。更进一步，倘若再善于将几种解法进行分析、比较，选出最简便、最巧妙的解法，那么，你将会从“题海”中彻底解放出来，创造性思维能力将会得到显著提高。

例13 一汽车从静止开始作匀速直线运动，途中经过A、B两点，所需时间$t_{AB}=12$秒，AB间距$S_{AB}=72$米，汽车通过A、B点时速度关系是$v_B=3v_A$。求A点离汽车出发点的距离S。

解法 1 设汽车从出发点运动到A点所需时间为t，加速度为a，根据运动学公式得

$$v_B=a(t+t_{AB}) \tag{1}$$

$$S_{AB}=S_B-S_A$$

$$=\frac{1}{2}a(t+t_{AB})^2-\frac{1}{2}at^2 \tag{2}$$

$$v_B=3v_A=3at \tag{3}$$

由以上三式可解得 $a=0.5$米/秒^2，$t=6$秒

则 $S=S_A=\frac{1}{2}at^2$

$$=\frac{1}{2}\times 0.5\times 6^2=9\ (\text{米})$$

解法 2 设汽车经A点时的速度为v_A，加速度为a，于是

$$v_B=3v_A=v_A+a\cdot t_{AB} \tag{4}$$

$$S_{AB}=v_A\cdot t_{AB}+\frac{1}{2}a\cdot t_{AB}^2 \tag{5}$$

由(4)、(5)两式解得 $a=0.5$米/秒^2，$v_A=3$米/秒

则 $S=S_A=\frac{1}{2}at^2$

$$=\frac{1}{2}\times 0.5\times 6^2=9\ (\text{米})$$

解法 3 设汽车在AB段内平均速度为$\overline{v}$，加速度为a，则

$$\overline{v}=\frac{S_{AB}}{t_{AB}}=\frac{1}{2}(v_A+v_B) \tag{6}$$

$$v_B=3v_A \tag{7}$$

由(6)、(7)两式解得 $v_A=3$米/秒，$v_B=9$米/秒

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_B-v_A}{t_{AB}}=\frac{9-3}{12}=0.5(\text{米/秒}^2)$$

则 $S=\frac{v_A^2}{2a}=\frac{3^2}{2\times 0.5}=9\ (\text{米})$

解法 4 设汽车加速度为a，

$$v_A^2=2aS$$

$$v_B^2=2a(S+S_{AB})$$

又 $v_B^2=(3v_A)^2=9v_A^2$

所以 $2a(S+S_{AB})=9\times 2aS$

解得 $S=9$（米）。

以上四种解法各从不同的物理概念出发，第一、二两种

解法，由于计时起点不同，分别将汽车运动作初速为零和不为零处理，这都属于一般性解法。第三种解法运用了平均速度公式，解题显得明快、简便。在运动学中，同学们往往不重视平均速度公式的运用，但在很多题目中，它的确起着“过河卒子”的作用。第四种解法，技巧性较强，不必先算出a、v_A和v_B等物理量，直接解出S的值。解题中运用了速度和位移的关系式，正好避开了过渡物理量时间。由此看来，第四种方法是本题的最优解法。

平时解题如能坚持多解选优的磨炼，经一个阶段的努力，解题能力定会有一个飞跃，例如有这样一道简单的力学题：

把一根水平放置在地面上的长6米、质量200千克的粗细均匀的金属棒竖立起来，至少需要对它做多大功？

能力较强的同学，会很敏捷地在脑海里浮现出反映物理过程的示意图(如图2—29所示)，并根据动能定理计算出最小做功量W_{min}。

$$W_{min}-mgh=0$$

所以 $$W_{min}=mgh=mg\cdot L/2$$

$$=200\times 9.8\times 6/2=5.88\times 10^3\text{(焦耳)}$$

这种解法可以说是最优的了。

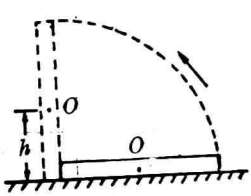


图 2—29

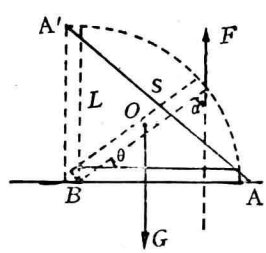


图 2—30

有的同学从功的定义出发，作如下解答：

由力矩平衡原理可得

$$F \cdot L\cos\theta = G \cdot \frac{L}{2}\cos\theta$$

所以 $F = \frac{1}{2}G$

式中F为恒力，即在铁棒翻动过程中不变。如图 2—30所示，金属棒B端不动，A端运动至A'位置，发生位移为s,即

$$s = \sqrt{L^2 + L^2} = \sqrt{2}L$$

力F与位移s间的夹角为$\alpha = 45°$，

所以 $W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$

$$= \frac{G}{2} \cdot \sqrt{2}L \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{2}G \cdot L$$

$$= \frac{1}{2} \times 200 \times 9.8 \times 6 = 5.88 \times 10^3 (\text{焦耳})$$

这种解法显然比前一种解法繁，但这种方法被普遍采用。

也有少数同学，思路比较狭窄，把题叙过程理解为，用一始终垂直于L的力F将棒的一端匀速提起。根据功的定义，这里功等于F乘以1/4弧长。但是力是变力，没有办法求得，于是使得一个虽繁但行得通的思路中断。

如果能想方设法找出这一变力的平均值，问题就迎刃而解了。如图 2—31所示，棒在翻动至与地成θ角时，可列力矩平衡方程：

$$FL = G \cdot \frac{L}{2}\cos\theta$$

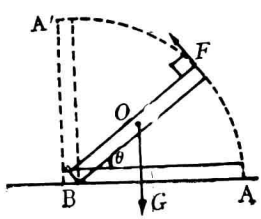


图 2—31

所以 $F=\frac{1}{2}mg\cos\theta$

可见F的变化规律为余弦函数，当$\theta=0°$时，F有最大值，即$F_{max}=\frac{1}{2}mg$；当$\theta=90°$时，F有最小值，即$F_{min}=0$。由数学知识可知，当θ由$0°\to90°$过程中，F的平均值

$$\overline{F}=\frac{2}{\pi}\cdot F_{max}$$

$$=\frac{2}{\pi}\cdot\frac{1}{2}mg=\frac{1}{\pi}mg$$

变力做功，计算的方法是力的平均值与力的作用点通过的路程的乘积，即

$$W=\overline{F}\cdot s=\frac{mg}{\pi}\cdot\frac{1}{4}(2\pi L)=$$

$$=\frac{1}{2}mgL=\frac{1}{2}\times200\times9.8\times6$$

$$=5.88\times10^{3}(\text{焦耳})$$

二、规范解题

1．不规范解题的危害

对于计算题，解题方程一旦建立，剩下的就是代入数据运算。运算本身并不难，但如果不注意解题规范化，往往解答过程条理不清，逻辑性不强，甚至产生错误。

例14 有一块0℃的冰雹自高空落下，若落地时其势能全部转化为本身的内能，熔解为同温度的水，求下落的高度？

解 $h=\frac{80}{9.8}=8.1633(\text{米})$

这样的解答显然不规范。

第一，条理不清楚。全部解答只凭空写了一个数值运算式，既没有草图帮助说明，也没有写出解题依据，关键的原始式子也不列，没有逻辑性。

与此类似，也有的解答虽有方程式，但运算缺乏必要的说明。有的只有列式，没有代入数值这一步，直接写出结果，使人难以明了解答过程的物理含义。

第二，单位不统一。在代入具体数据之前，还有一项十分重要的工作，就是必须统一单位，即将各物理量统一采用国际制单位。有些题如果先采用公式演算，最后再代入数值，则在演变过程中也必须考虑统一物理量单位。

例14的解答，由于没有统一单位，从而导致运算错误。

设冰雹质量为m千克，则势能 $E_p=mgh$，熔解成同温度的水所需能量$Q=L\cdot m$，于是由能量转化得

$$mgh=Lm$$

上式等号的左边势能mgh的单位是焦耳，等式右边单位是千卡，写成等号必须将千卡变为焦耳，因此方程式应当写成

$$mgh=4180Lm$$

即 $h=4180\dfrac{L}{g}$。

由此可见，例14的答案与正确答案相差4180倍！

第三，计算不正确。例14的计算结果，还暴露了解答的同学不会运用近似计算。这不仅浪费了大量的时间和精力，得出的答案也不合理。

物理题中的数值一般可分为两种：一种是正确数，即毫

无差错地表明一定量值的数，如物理公式中的常量、物体的个数、实验的次数、单位换算的比值等；另一种是近似数，如仪器直接测量出来的量值，或在测量的基础上计算出来的数值等。大部分物理量都是近似数，通常我们取从仪器上读出的完全准确的数字，再加上一位估计的数字来表示近似数，这几位数字叫有效数字。

计算中，有效数字的规则比较复杂，中学阶段我们不去考究了，但在计算中应注意下面几点：

① 每一个数据只要保留一位估计的数字，习题中给出的近似数都可以认为最末一位是估计数字（不可靠数字）。

② 计算的结果也只保留一位不可靠数字，多余的不可靠数字按照四舍五入的方法舍去。

因此，例14中的计算从有效数字的角度来说，应当是：$h=80/9.8=8.2$。由此，该题的正确运算应是：

$$h=\frac{4180L}{g}=4180\times\frac{80}{9.8}$$
$$=3.4\times10^4(\text{米})$$

好，从这道题可以清楚看到以上三个问题。除此以外，文字运算符号不统一、物理的代号使用混乱（如质量不用m，用其它代号；题目中的相同量合用一个符号）等不规范现象，也屡见不鲜。

2. 解题规范化的要求

解题规范化的要求是解题方法的基本要求，学生在初学物理时就应按规范化要求去解题，养成良好的规范化解题习惯。那么，规范化解题主要有哪些内容呢？

(1) 解答过程有条理。规范化解答，首先要求条理清楚，说理充分。解答时应是“先列式、后代值”。代值后的运算过程都在草稿纸上进行，卷面上只需写出最终答案（包括单位）。如

$$a=\frac{2(s-v_0t)}{t^2}$$

$$=\frac{2\times(36\text{米}-18\text{米/秒}\times3.0\text{秒})}{(3.0\text{秒})^2}$$

$$=-4.0\text{米/秒}^2$$

如果式子是导出公式，那么应写出原始公式，即

由公式$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，得

$$a=\frac{2(s-v_0t)}{t^2}=\cdots\cdots$$

列式前的解题依据，应交代清楚，要把公式或方程所根据的物理概念、定律、原理和定理写出，简单的如上例，可在公式前写上“根据匀变速运动的规律，$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$”或从规律的公式表达形式，直接写出“由公式……”。

对于复杂的综合题，解答要涉及多个基本方程，那么每个方程的来历都应交代，至于代值一步，可分步代入数值运算，也可由文字运算得总式，再代入数值计算。

(2) 文字符号要统一。在解题过程中，凡涉及到的物理量，都应当使用常规的符号（用斜体表示）。如果同一物理量在一题中出现几个(如碰撞问题，至少会出现两个质量)，为了防止混淆，则应用同一文字符号右下方的不同脚码加以区分（如用m_1、m_2表示两个质量）。

如果要表示两物体的相互作用力，即物体 1 与物体 2 间

的相互作用力，则都用F表示。在作具体的受力分析中，用脚码加以区别，即用F_{12}表示物体1受物体2的作用力，用F_{21}表示物体2受物体1的作用力。也有用F和F'表示作用力和反作用力的。

一般地，同一物体某物理量的文字符号下的脚码是一定的，如果在物理过程中某物体的某物理量有变化，则不需换用脚码，仅在原文字符号的右上方打一撇。如碰撞前物体m_1和m_2的速度分别为v_1和v_2，则碰撞后的速度分别用v_1'、v_2'表示；又如某一容器变化前温度为T_1，变化后温度可用T_1'表示。

文字符号的使用中还有一种情况，即常规的同一字母表示的不同物理量出现在一个题目中。例如，面积S、视在功率S、位移s；密度ρ、电阻率ρ；半径R、电阻R、里德伯常数R；热量Q、电量Q，动量p、功率P、压强p等，使用中注意在文字符号出现的地方标明。另外为了防止混淆也可以用字母的大小加以区分，如电阻用“R”，则半径用“r”；又如热量用“Q”，则电量用“q”。

(3) 单位使用要统一。我国国务院于1984年2月27日颁发了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，正式规定国际制（SI制）单位（符号用正体表示）为我国法定计量单位。因此，在物理解题中，应统一使用国际制单位。

在具体运算过程中，何时附上单位？通常有两种方法：一种是在计算中，单位随数据一同代入，单位也参与运算，最后求出未知量的单位，如

$$B=\frac{F}{Il}=\frac{10\text{牛顿}}{2\text{安培}\times 1\text{米}}=5\text{特斯拉}$$

另一种方法是，各物理量统一于国际单位制后，单位不再参与运算，只在计算式等号右边最末位置写上所求量的单位，最终结果的后面也标出相应单位。如已知汽车额定功率 $P=90$马力，平面公路上最大时速时的阻力为 3.0×10^3 牛顿，则汽车最大速度

$$v_m=\frac{P}{f}=\frac{90\times0.735\times10^3}{3.0\times10^3}\text{米}/\text{秒}$$

$$=22\text{米}/\text{秒}=79.2\text{千米}/\text{小时}$$

比较而言，前一种方法基本、牢靠，但比较累赘；后一种方法简明、方便，但易于出错。解题中，应酌情选用。初学者或运算能力较差的同学，暂时用前一种方法为好，虽然麻烦一点，但有助于对概念的理解，也有助于熟悉各物理量单位的变换。经过一定时期训练的同学，就可采用后一方法。计算过程中，为了书写方便，也常使用单位的国际代号，如：长度单位米，用“m”；时间单位秒，用“s”；力的单位牛顿，用“N”；压强单位帕斯卡，用“Pa”等等。

（4）计算力求准确。一些同学在解题中，式子列得对，单位也统一，可是往往计算出错误的结果，这是很可惜的，应当认真分析。为了尽量减少计算差错，应注意以下几点：

① 采用近似计算，一般只取两位或三位有效数字，前面介绍的关于有效数字的内容应掌握。

② 计算中细心谨慎。方程式中等号两边的量若要调整，应注意应用移项法则；注意方程式代换中各物理量正负号的变化。

③ 计算结果应取有效数字。物理习题的答案中，不要出现分数、无理数、循环小数等等。若是文字运算，则答案应

写成最简单的形式。

（5）解题格式不拘。初中物理强调“已知”、“求”、“解”、“答”四步。这对培养学生有条有理地思考问题起着一定作用。但是，这毕竟还只是一个形式问题，如果非要限制在这样的格式中解题，则反而不利于培养学生灵活地思考问题。例如有些题的已知条件写一遍，相当于把题目重抄一遍；也有些题中的物理量并不是已知条件，但在解题中可以假设，最后约去，这种量很难用已知条件表达。因此，我们可依照新课本，根据题目的具体情况，灵活采用解题格式。

第四节　验　　讨

验讨答案是解题过程中最后一环，也是极为重要的一个环节。验讨答案包括两步：一是检验结果，目的是防止和及时纠正解题过程中可能出现的疏漏或差错；二是解后讨论，这是回顾全题，再次展现全题物理图景的过程。这样即可从解题中总结经验，又可从错解中吸取教训。

一、检验结果

1．检验结果的意义

检验结果不是互相间核对答案，其实仅从答案无法判断解题是否正确。那种喜欢核对答案的习惯，只能助长一种依

赖情绪，而不可能提高解题能力。检验结果是指题目解完后，回顾一下解题所应用的定律、公式是否符合题意，公式、方程的演变是否合乎逻辑，数值计算是否正确，以保证解题准确。

例15 如图2—32所示，两段绳$AC=BC=1.0$米，端点C系一质量$m=1.0$千克的小球，绳子另两个端点A和B分别固定在转轴上，且$AB=1.0$米。当小球转动角速度$\omega=2$弧度/秒时，绳AC、BC对小球的拉力分别是多大？（g取10米／秒^2）

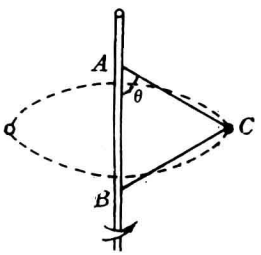


图 2—32

让我们先看看某同学的解答，然后再来检验一下他的计算结果。

分析 小球在题给的角速度ω条件下作什么运动呢？先设当角速度为ω_0时，下面一根绳子刚好伸直，把ω_0求出。如果$\omega\geqslant\omega_0$，则小球如图2—34所示运动，列有关方程求解；如果$\omega<\omega_0$，则θ角将要减小（如图2—33所示），小球将作小半径圆周运动，同样列方程求解未知量。

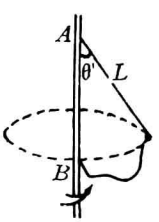


图 2—33

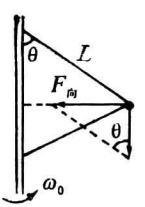


图 2—34

解 设小球转动角速度为ω_0（如图2—34），根据牛顿第二定律

$$F_{向}=ma_{向}=m\omega_0^2 L\sin\theta$$

此时 $F_{向}=G\cdot \mathrm{tg}\theta=mg\cdot \mathrm{tg}\theta$

由以上两式可得

$$\omega_0=\sqrt{g/(L\cdot\cos\theta)}=\sqrt{10/(1.0\times 0.5)}\ \text{弧度/秒}$$

$$=4.5\text{弧度/秒}$$

如前分析，由于$\omega<\omega_0$，小球如图2—33所示运动，$\theta'<\theta$。于是绳BC松弛，拉力为零，因此可列方程：

$$T_1\cdot\cos\theta'=mg \qquad (1)$$

$$T_1\cdot\sin\theta'=m\omega^2R \qquad (2)$$

$$R=L\cdot\sin\theta' \qquad (3)$$

将(3)式代入(2)式，可得：

绳AC对小球拉力

$$T_1=mL\omega^2=1.0\times 1.0\times 2^2$$

$$=4(\text{牛})$$

绳BC对小球拉力为零。

这样解答对吗？让我们检验一下结果。将$T_1=4$牛的答案代入(1)式，得$\cos\theta'=\frac{5}{2}>1$，这是无意义的，显然结果错了。所列方程是正确的，结果怎么会错了呢？

我们来考察一下θ'与ω'之间的关系，由上述(1)、(2)、(3)式可得

$$\omega'=\sqrt{g/(L\cdot\cos\theta')}$$

当$\theta'=0$时，$\omega'=\sqrt{g/L}=\sqrt{10/1.0}=\sqrt{10}$(弧度/秒)，表明要使小球离杆(即$\theta'>0$)作圆周运动，必须满足$\omega\geqslant\omega'$，而题给的情况($\omega=2$弧度/秒$<\omega'$)小球靠杆，绳$AC$处于竖直位置，此时，

$T_1=mg=1.0\times 10$牛$=10$牛，$T_2=0$。

这个例子告诉我们，检验结果这一步决不是可有可无的。或许有的同学会说，如果给出标准答案，问题就好办了，只要把答案一对，结果正确与否就清楚了。我们说，答案对也未必解法正确，试分析下例。

例16 密度均匀的木棒，一端搁在地上，另一端用竖直的绳子吊起，若木棒重为10牛，则绳子对棒拉力多大？

该题示意草图如图2—35所示，设棒长为L，有同学解答如下：

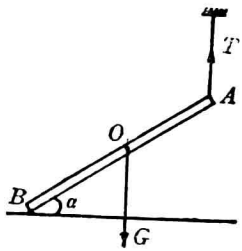


图 2—35

解 木棒平衡时，以B点为轴

$$\sum M=TL-G\cdot\frac{L}{2}=0$$

解得绳子竖直向上拉力

$$T=\frac{1}{2}G=\frac{1}{2}\times 10\text{牛}=5\text{牛}$$

答案与标准答案相同，但解法错了。原因在于误把转轴到力的作用点的距离当作力臂代入力矩平衡方程，这是概念性错误。或许有人会说；这是简写。我们说，这种简写是不允许的，尽管正确方程 $T\cdot L\cos\alpha-G\cdot\frac{L\cdot\cos\alpha}{2}=0$中$\cos\alpha$可以消去，但物理概念截然不同。

例17 一只小汽艇，在静水中的航行速度是12千米／小时。如果用这只汽艇在一条流速为6.0千米/小时的河中作渡船，汽艇向着跟河岸成60°角的上游方向行驶。求合运动的速度。

解 先画示意图（如图 2—36所示）。

根据勾股定理

$$v^2=v_1^2-v_2^2$$
$$=(12^2-6^2)\text{米}^2/\text{秒}^2$$
$$=108\text{米}^2/\text{秒}^2$$

所以 $v=6\sqrt{3}$ 米/秒

$$\approx 10.4\text{米/秒}$$

又 $\operatorname{tg}\theta=v_2/v=6/6\sqrt{3}$

$$=1/\sqrt{3}$$

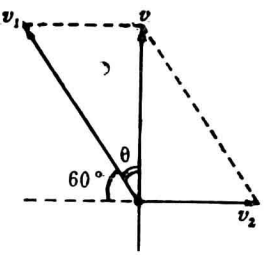


图 2—36

所以 $\theta=30°$，即合速度跟河岸垂直。

此答案与标准答案相同，然而解法是错误的，为什么？因为解答是在没作任何说明的情况下，认为合速度跟河岸垂直，而后展开运算，求出v值及θ值，最后又根据θ值得出v与河岸垂直，循环论证，因果颠倒。

2. 检验结果的方法

(1) 检验结果是否符合物理规律。

例18 将0.4千克、−10℃的冰投入0.6千克、20℃的水中，求混合后的温度（设与外界无热交换）。

解 设混合后的最终温度为t℃，则冰全部熔解并升温至t℃，共吸热

$$Q_{吸}=c_{冰}m_{冰}\Delta t+m_{冰}\lambda_{冰}+c_{水}m_{冰}t$$
$$=2.1\times10^3\times0.4\times10+0.4\times3.36\times10^5$$
$$+4.2\times10^3\times0.4\times t$$
$$=142.8\times10^3+1.68\times10^3t$$

热水由原温$t'=20$℃降至t℃，所放热量

$$Q_{放}=c_{水}m_{水}\cdot(t'-t)$$
$$=4.2\times10^{3}\times0.6\times(20-t)$$

根据热平衡方程 $Q_{吸}=Q_{放}$，即

$$142.8\times10^{3}+1.68\times10^{3}t=2.52\times10^{3}\times(20-t)$$

解得 $t=-22℃$。

这样的结果是否正确呢？从数学计算来看是合理的，但从物理意义上来看是否符合物理规律呢？

$-10℃$的冰与20℃的水混合得最终的共同温度为$-22℃$，低温的冰混合后的温度反而比初状态的温度还低，显然不符合热交换规律。

错误的根源在哪里？在于盲目地认为冰全部熔解；没有具体分析混合后最终状态的可能范围。正确解法应该比较热水降至0℃时，所放出热量$Q_{放}$与冰升温至0℃的冰所吸收的热量$Q_{吸_1}$，即

$$Q_{放}=c_{水}m_{水}(t'-0)=4.2\times10^{3}\times0.6\times20$$
$$=50.4\times10^{3}(焦耳)$$
$$Q_{吸_1}=c_{冰}m_{冰}[0-(-10)]=2.1\times10^{3}\times0.4\times10$$
$$=8.4\times10^{3}(焦耳)$$
$$\therefore\quad Q=Q_{放}-Q_{吸_1}=50.4\times10^{3}-8.4\times10^{3}$$
$$=42\times10^{3}(焦耳)$$

这部分热量可再使一部分冰溶解，即

$$\Delta m=\frac{Q}{\lambda}=\frac{Q_{吸_2}}{\lambda}=\frac{42\times10^{3}}{3.36\times10^{5}}=0.125(千克)$$

可见，最终温度是0℃（冰水混合状态，尚有0.275千克冰未熔解）。

这类题只有紧扣物理规律，分析答案的物理意义，才能

检验出解题结果正确与否。

（2）检验结果是否符合实际。

例19 钢弹以400米/秒的速度水平射入固定木板内，设其动能全部转变为内能，并且有42%被钢弹吸收。试求钢弹温度升高多少？（钢的比热$c=0.1$千卡/千克·℃）

解 设钢弹升高的温度为Δt℃，

钢弹的动能 $E_K=\frac{1}{2}mv^2$

转化为钢弹内能 $Q=\frac{E_K}{J}\cdot\eta=\frac{\frac{1}{2}mv^2}{J}\cdot\eta$

根据热平衡方程

$$cm\Delta t=\frac{1}{2}mv^2\cdot\eta/J$$

所以 $$\Delta t=\frac{\frac{1}{2}mv^2\cdot\eta}{cmJ}=\frac{v^2\cdot\eta}{2cJ}$$

$$=\frac{400^2\times0.42}{2\times0.1\times4.2}=80000(℃)$$

这样高的温度，显然不符合实际。谬误的原因在哪里？在于热功当量J的单位，$J=4.2$焦耳/卡，比热单位采用千卡/千克·℃后，热功当量单位必须相应取$J=4.2\times10^3$焦耳/千卡，将此值代入计算则得正确结果，即$\Delta t=80$℃。如果热量用焦耳为单位，则钢的比热为4.2×10^2焦耳/千克·℃，上述错误将从根本上避免。

例20 长1米、内径均匀的细玻璃管，当开口向上竖直放置时，有一段长15厘米的水银柱封住一段长60厘米空气柱（如图2—37所示）。若把玻璃管缓慢地倒置成竖直位置，则空气柱有多长？（大气压强$H_0=750$毫米汞柱）

这道题，很多同学比较快的完成解答，下面把解答略写出来，让大家检验。

解 以管内被封气体为研究对象。

细玻璃管开口向上，设为状态1，

则 $p_1=H_0+h$，$V_1=L_1\cdot s$

细玻璃管开口向下，设为状态2，

则 $p_2=H_0-h$，$V_2=L_2\cdot s$

根据玻—马定律得 $L_2=90\text{cm}$，即玻璃管倒置时，空气柱为90厘米长。



图 2—37

稍加分析可知，倒置后空气柱与水银柱总长度$L_2+h=90+15=105(\text{cm})$，超过玻璃管长，与实际不符，因而解答是错的。应当考虑到，可能有水银流出。因此，玻璃管被倒置时，管内水银柱长设为h'，根据玻—马定律列方程

$$(H_0+h)\cdot L_1 s=(H_0-h')(100-h')\cdot s$$

解得$h'=13(\text{cm})$，则管内被封空气柱长$L_2\approx 87$厘米。

(3) 换一种解法看结果是否相同。

例21 在图2—38中，CB是一根重量可以忽略的横梁，梁的一端安在轴C上，另一端用绳AB拉着。若在B端拴一个质量为40千克的重物，求绳对A点的拉力。

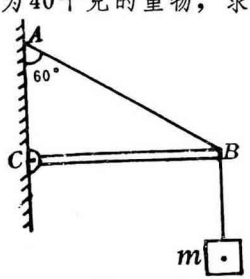


图 2—38

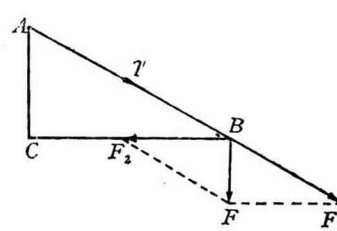


图 2—39

解法Ⅰ 重物对B端的拉力F产生两个效果，一是沿AB方向拉A点，二是沿BC方向压C（如图2—39所示），即F_1和F_2。由图2—39可知，绳对A的拉力

$$T=F_1=F/\cos 60^\circ=mg/\cos 60^\circ$$

$$=40\times 9.8\times 2=784(\text{牛})$$

上述解法称“分解法”。我们可以换一种解法来检验结果，比如用合成法、正交分解法、力矩平衡法等等。这里用力矩平衡法为例，检验题解正确与否。

解法Ⅱ 如图2—40所示，以C为转轴，横梁的平衡条件为$\Sigma M=0$，即

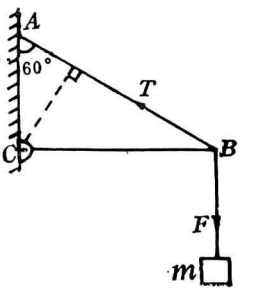


图2—40

$$T\cdot\overline{BC}\cdot\sin 30^\circ-F\cdot\overline{BC}=0$$

所以 $$T=\frac{F}{\sin 30^\circ}=\frac{mg}{\sin 30^\circ}$$

$$=\frac{40\times 9.8}{0.5}=784(\text{牛})$$

结果与分解法解得结果相同，这说明多种解法可以对结果作相互检验。解题时，应当灵活变换思考角度，运用不同定律、公式或规律求解，并进一步相互比较、检验。有些情况甚至把计算和图象作为相互检验的途径。

例22 一辆自行车以$v_1=6$米/秒的速度沿平直公路匀速行驶，一汽车与自行车并列同向行驶；当两车同时经过M点时，汽车速度为$v_0=10$米/秒；并开始作匀减速直线运动，其加速度大小为0.5米/秒^2，自行车继续匀速前进。试问，过M点后经多长时间自行车追上汽车？追上时，汽车速度多大？

解 设自行车经 t 秒追上汽车，t 秒内自行车与汽车行驶距离相等，即

$$v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = v_1 \cdot t$$

解得 $t=16$秒

汽车速度 $v_t = v_0 + at$

$$= 10 + (-0.5) \times 16 = 2\text{（米/秒）}$$

用图象检验结果是否正确。画出它们过M点后的速度图象（如图2—41所示），由图可知，当 $t=16$秒时，图形Ⅰ与Ⅱ的面积相等，则描叙自行车位移的图形（Ⅱ＋Ⅲ）的面积与象征汽车位移的图形（Ⅰ＋Ⅱ）的面积相等。这表明过M点后经16秒自行车追上汽车。此时汽车的速度为2米/秒。可见，计算结果正确。

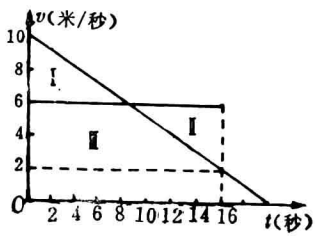


图 2—41

我们还可以利用量纲式来检验答案。在推出求最终未知量的关系式后，可以先把每个物理量的量纲式代入，如果所得的结果量纲式与题中所求物理量的量纲式不一致，则表明解得的最终关系式肯定是错误的，反之则可作为解答正确的参考论据。

二、解后讨论

如果说检验结果不被人们重视的话，那么解后讨论更容易被人忽视。不少同学也解答过大量物理题，但物理知识水

平、解题能力并未显著提高。原因是多方面的，其中一个重要的原因是，解题之后没有认真回顾一下解题过程：自己是怎样思索的？解题的关键在哪里？成功和失败的教益有哪些？经过这样的讨论和总结，我们才能收到“解一题长一智”的效果，才会从题海中解放出来。具体地说，如果读者善于抓住“解后讨论”这个解题的重要环节，将会很快感受到下面三点切身体会。

(1) 解后讨论有助于加深对物理概念和物理过程的认识。

例23 在力的分解中，如果已知一个分力的大小和另一个分力的方向，能不能在任何情况下都能得到唯一的解？

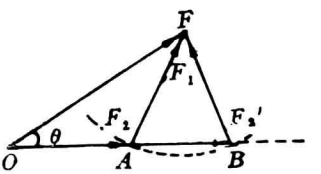


图 2—42

答 不能说在任何情况下都能得到唯一的解。如图 2—42所示，设分力F_1大小已知。选取力矢量F（F_1与F_2的合力），且与F_2的夹角为θ，再以F的矢端为圆心，以F_1的大小为半径画圆。若交F_2的作用线于A点和B点，这时F_2（包括大小和方向）就有两个，即F_2和F_2'，所以不能得出唯一的解。若圆与F_2的作用线相切，得唯一解，若不相切，则无解。

讨论 如图 2—42所示，根据余弦定理得

$$F_1^2=F^2+F_2^2-2FF_2\cdot\cos\theta$$

整理得 $F_2=F\cos\theta\pm\sqrt{F_1^2-F^2\sin^2\theta}$ (*)

当$\theta<90°$时（如上述解答的情况）：

① 若$F_1=F\sin\theta$，则由(*)式得唯一解，即

$F_2=F\cos\theta$。

② 若$F_1<F\sin\theta$，则由(*)式得无解。

③ 若$F_1>F\cdot\sin\theta$，则由(*)式得

$F_1=F$时，F_2有唯一解：$F_2=2F\cdot\cos\theta$；

$F_1<F$，F_2有两个解，即

$$F_2=F\cos\theta\pm\sqrt{F_1^2-F^2\cdot\sin\theta};$$

$F_1>F$，F_2有唯一解，即

$$F_2=F\cos\theta+\sqrt{F_1^2-F^2\sin^2\theta}。$$

当$\theta=90°$时：

$$F_2=F\cos\theta\pm\sqrt{F_1^2-F^2\sin^2\theta}$$
$$=\sqrt{F_1^2-F^2}。$$

① $F_1\leqslant F$，则由(*)式得F_2为零或无解。

② $F_1>F$，则由(*)式，F_2有唯一解(负根舍去)。

当$\theta>90°$时：

① $F_1\leqslant F$，则由(*)式得F_2无解。

② $F_1>F$，则由(*)式得F_2有唯一解(负根舍去)。

经过如此讨论，力的分解中合力与分力的关系就自然清晰了。

(2) 解后讨论有助于提高解题能力。

例24 有一挂钟，摆长为0.25米，它每天慢5分钟。应怎样调节摆长才能使它走得准确？

解 设标准钟24小时摆振动的次数为n，周期为T，慢钟周期为T'，则当两个钟摆都振动n次、钟面上都为24小时刻度时，标准钟实际经历时间为$T\cdot n=24\times60$分；但慢钟所经历时间为$T'\cdot n=(24\times60+5+\Delta t)$分，其中$\Delta t$为5分钟内慢钟与标准钟的时间差，即

$$24\times60:5=5:\Delta t$$

$$\Delta t=\frac{25}{24\times60}=0.017(\text{分})$$

标准钟与慢钟周期之比

$$\frac{T}{T'}=\frac{24\times60}{24\times60+5+0.017}=0.9965$$

根据单摆周期公式，标准摆长

$$L=\left(\frac{T}{T'}\right)^2\cdot L'$$

$$=(0.9965)^2\times0.25=0.2483(\text{米})$$

因此，摆长应缩短

$$\Delta L=L'-L$$

$$=0.25-0.2483=0.0017(\text{米})$$

讨论 ① 慢钟所经历的时间，多数人会认为$T'\cdot n=(24\times60+5)$分，漏掉了5分钟内慢钟慢走的时间Δt。也许有人会问，在Δt时间内，慢钟又要慢走$\Delta t'$分，为什么不考虑进去？我们说，应该考虑，但由于$\Delta t'$很小，忽略不计了。事实上，Δt与其它数值相比，也可忽略不计，但是解题列式时还应交代清楚。

② 这道题能不能换一种更简便的方法求解呢？我们从摆钟走的分钟数角度考虑：

因为每昼夜摆钟走的分钟数与摆的频率成正比，而摆的频率又与摆长的平方根成反比，所以摆钟走的分钟数与摆长的平方根成反比

$$\frac{24\times60-5}{24\times60}=\sqrt{\frac{L}{0.25}}$$

则标准钟的摆长

$$L=\frac{1}{4}\times\left(\frac{24\times60-5}{24\times60}\right)^2=0.2483(\text{米})$$

所以，慢钟摆长L'比标准钟摆长L大。因此应把原摆长L'缩短，其缩短量

$$\Delta t=L'-L=0.25-0.2483=0.0017(\text{米})$$

③ 解题的联想。这道题属于调整摆钟快慢的问题，依据是单摆的振动周期公式。同一地点，重力加速度g不变，对某摆钟来说，它的周期与摆长关系为

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}}$$

这正是这道题的情况。

如果同一摆钟，摆长L不变，在不同的地方，它的周期与重力加速度之间的关系如下式表示，即

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{g_2}}{\sqrt{g_1}}$$

有时为了解题方便，用到下述关系

$$\frac{f_1}{f_2}=\frac{\sqrt{L_2}}{\sqrt{L_1}}\quad(f\text{为频率，}g\text{不变})$$

$$\frac{f_1}{f_2}=\frac{\sqrt{g_1}}{\sqrt{g_2}}\quad(L\text{不变})$$

如果改编上述这道题，将不标准的摆钟从一地搬至纬度不同的另一地，那么又该怎样调整呢？这时g与L都会影响摆钟周期，应由下式讨论：

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}}\cdot\frac{\sqrt{g_2}}{\sqrt{g_1}}$$

④ 运用数学解题方法的收获。此题灵活运用了比例的方法，给物理解题带来很大的方便。

(3) 解后讨论有助于总结解题经验和教训。

1984年物理高考题中，有一道多重选择题，判断几种说法中哪种正确，其中第(4)小题，即“在电场力作用下，正电荷一定从电势高的地方向电势低的地方移动。”绝大多数考生把这种说法误选为正确。

为什么会引起这样普遍性的错误呢？分析一下，原因有两个。

① 力和运动的关系未搞清楚，把物体的运动方向和受力方向混为一谈。

② 对题给的条件没有具体分析。课本中的有关叙述是：“沿着电力线方向移动正电荷，电场力做功，正电荷的电势能减少，正电荷是从电势高的地方移向电势低的地方。”这里要强调的是正电荷从高电势向低电势移动的条件，应是“沿着电力线方向”。题给的条件仅为正电荷受电场力的作用，运动方向并没有确定。如果初速为零，正电荷的运动方向是唯一不变的，只能是沿电力线方向。但是，若初速不为零，且其方向与电场力方向相反时，则正电荷在一定时间内，可以从低电势移向高电势；如果初速方向与电场力方向相同，则正电荷从电势高的地方移向电势低的地方。因此，在电场力作用下，正电荷从“电势高的地方向电势低的地方移动”不是唯一的。忽视了条件的分析，将会产生习惯性的错误。

如果在解后讨论中，作如上的分析讨论，那么，对于电荷在电场中的运动问题，电场电势之间的联系，将会有新的

高层次的认识。

例25 倾角$\theta=30°$的斜面固定在水平地面MN上（如图2—43所示），有一质量$m=1$千克的物体，从斜面底端以$v_0=5$米/秒的速度滑上斜面。若物体与斜面间的摩擦系数$\mu=0.1$，斜面长$L=2.5$米。求物体触地时的速度大小。（g取10米/秒^2）

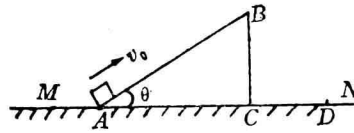


图 2—43

解 物体滑上斜面，由A点到B点作匀减速运动，滑出斜面后为斜抛运动，触地点为D。

根据动能定理，物体由A到B过程中

$$-mgL\sin\theta-\mu mgL\cos\theta=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \qquad (1)$$

物体由B到D过程中

$$mgL\cdot\sin\theta=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_B^2 \qquad (2)$$

由(1)、(2)式解得

$$v_D=\sqrt{v_0^2-2\mu gL\cos\theta}$$
$$=\sqrt{5^2-2\times0.1\times10\times2.5\times\sqrt{3}/2}$$
$$=4.5(\text{米/秒})。$$

讨论 ① 检验结果时，应用其他解法（如用功能知识、动力学和运动学知识等），结果是一致的，但能说明答案正确吗？如果我们从是否符合物理规律的角度去检验结果，就会发现物体以v_0沿斜面向上运动，只能上行到某一最大距离，即

$$L'=\frac{v_0^2}{2a}=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$$

$$= \frac{5^2}{2 \times 10 \times \left(\frac{1}{2} + 0.1 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}$$

≈ 2.1(米)

$L' < L$，表明物体不可能滑出斜面，几种解法全错，原因在错用了物理模型。因此，在讨论时，要认真分析题给的物理图景，正确地建立并掌握物理模型。

② 分析题给物理过程。物体运动分两个阶段：

第一阶段：物体在斜面上作匀减速直线运动，至物体停止；

第二阶段：由于下滑力大于摩擦力，物体又从静止开始沿斜面返回，作匀加速直线运动触及水平地面。

③ 选取最简捷的解法，并通过比较，领会解法要点。这一题用动能定理解题较简。可就全过程建立方程

$$-2\mu mg\cos\theta \cdot L' = \frac{1}{2} m v_D^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

解得 $v_D \approx 4.2$(米/秒)

方程左边是全过程中所有外力对物体做的功，右边为动能增量，只与初末状态的速度有关，避开了中间过程中的速度变化，解法自然简捷得多。

④ 该题其它条件不变，当摩擦系数变化时会影响物体运动状态的变化。可能发生的运动状态，除了物体在斜面上返回运动和物体沿斜面滑出而离开斜面后的运动外，还可能运动到斜面上某一位置就停下来。所有这些都应根据题设条件作出中肯的判断。

第三章

解题思路的形成和拓宽

所谓解题思路，就是解题时的思考路线。物理题变化万千，不可能有一个统一的解答方法，但是，掌握了解题的基本思路，就如同在开启千变万化的“锁”时，找到了一把“万能钥匙”。

一道物理题展现在眼前，能很快的形成正确的解题思路，这是同学们所想往的。然而，一些同学平时不重视解题思路的训练，把解题当作完成任务，盲目的在“黑暗中碰撞”，结果是练习的题目不少，能力的提高甚微。这方面的教训不知读者是否体会到了。

第一节　解题思路是解题的中心

解题是综合性的思维过程。解题的目的不仅是为了加深对基本概念和规律的理解，更重要的是培养分析问题和解决问题的能力，体验和学会掌握物理知识的思考方法。

解题的思考方法的具体体现，就是解题思路。因此，解题思路是解题的中心，

一、解题过程是思维的过程

解题过程本身就是一个有层次的思维过程，其思维的行程分三个层次：

第一个层次是运用一般逻辑方法的阶段。在这个阶段，利用科学的思维方法，对题目的已知、未知和整体结构进行加工，从而初步估测解题的大致方向。这一阶段也就是思路的开始。

第二个层次是运用物理规律和相应的数学方法的阶段。在第一层次的基础上，沿着初步明确的解题方向，进一步寻探题给的物理模型，并选取相应的规律、公式，以求最佳的解题途径。这一阶段将第一层次的思维具体化，是思路的关键性层次。

第三个层次是运用具体的解题方法和技巧，即根据选定的物理规律、公式，规划解题步骤。

这个层次的重要性在于：它的终点是思维过程的终点，它将对整个思维过程（包括它本身）的正确与否进行检验。换句话说，如果根据规划的解题步骤进行运算，得出的结果被证明是正确的，则整个思维过程可以肯定；否则，思维必须循着“来路”回溯，逐层次的“验收”，直到找出症结。

解题思维过程的三个层次，分别与第二章阐述的解题过程的三个阶段：读审、构思、解答及验讨相对应。下面举例说明。

例1 如图 3—1 所示，两物体A、B跨在定滑轮上，质量分别为m和m'（$m>m'$），绳长$L>2h$。让物体从静止(如

图位置）开始运动。当A着地后，B将继续向上运动一般距离，然后向下运动，同时通过绳子又把A拉起。设A与地面碰撞是完全非弹性碰撞，绳子与滑轮的质量以及滑轮轴承处的摩擦力都不计，且绳子不可伸长，求A能上升的最大高度。

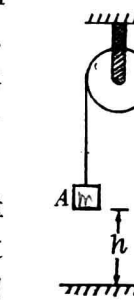


图 3－1

解题思路 从题给已知条件与所求量间关系来看，该题属于力学问题，运动过程涉及匀变速运动、碰撞运动等形式。因此该题可以从受力分析入手，根据不同的运动过程选用相应的规律和公式，注意过程间相互关联的量，去选取解题思路。该题一般选的思路有两条：一是运动学、动力学的途径，另一是能量分析的途径。这里我们选用运动学、动力学的途径。（第一层次完毕）。

物体A着地之前，与物体B都以共同加速度值作匀加速运动，加速度值可由$(m-m')g=(m+m')a$求得。当A着地，B上升到高度h时速度也相应可得，即$v=\sqrt{2ah}$。

物体A着地，作完全非弹性碰撞，故物体B以速度v作上抛运动，并以速率v落回抛出点。B下落至抛出点刚好又拉紧细绳，此瞬时可视B与A作完全非弹性碰撞，那么，根据动量守恒列式

$$m'v=(m+m')v'$$

式中v'为绳又被拉紧后两物体的共同速度值。

这以后，两物体将以v'为初速作匀减速直线运动，加速度跟前面分析相同，只不过与运动方向相反。那么我们可以用末速为零的匀速运动中求最大位移公式，求出上升最大高

度。（第二层次完毕）。

用分析法或综合法列出物理过程中关键方程，并将数值代入求解，直到得出正确答案为止（第三层次完毕）。

具体解题中，三个层次是统一连贯的，没有必要机械地将思维停顿分割。

例 2 作匀变速直线运动的火车通过某一段距离s的时间为t_1，而通过下一等距离s的时间为t_2，试证火车的加速度

$$a=\frac{2s(t_1-t_2)}{t_1\cdot t_2(t_1+t_2)}。$$

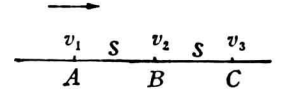


图 3—2

先画草图（如图 3—2 所示），物体运动方向由A指向C，$AB=BC=s$，火车经A、B、C各点的速度依次为v_1、v_2、v_3。

解题思路 1 根据匀变速直线运动的位移公式，可列出火车在AB段、BC段的运动方程，其中抓住起关联作用的量——火车经B点时刻速度v_2（它既是前一阶段的末速度，又是后一阶段的初速度）。

AB段位移 $s=v_1t_1+\frac{1}{2}at_1^2$ (1)

BC段位移 $s=v_2t_2+\frac{1}{2}at_2^2$ (2)

v_2与v_1间的关系$v_2=v_1+at_1$ (3)

运用(1)、(2)、(3)式即可证得题设结论。

这种思路是否最佳呢？难说。下面列举的第二种思路将证明这一点。

解题思路 2 火车经AB、BC段时都作匀变速直线运动，

因此利用每段路程的平均速度可列出位移公式。AB段：$s=\frac{v_1+v_2}{2}\cdot t_1$；$BC$段：$s=\frac{v_2+v_3}{2}\cdot t_2$。再运用$AC$段末速度和初速度间关系：$v_3=v_1+a(t_1+t_2)$，题设结论同样得证。

思路2应用了平均速度的概念，路子新颖，过程简单。这是一种在高层次阶段的思路变换，即从物理方法上寻找新的思路。与在低层次阶段的思路变换(即在数学方法上变更)相比较，它更具有思维训练的价值。

例3 一小球由A点沿光滑平面经B点滑上半圆形的光滑轨道，且从上端C离开轨道仍落回出发点A。已知平面距离长s，半圆形轨道半径为r，(如图3—3所示)。求小球的初速度v_0的表示式。

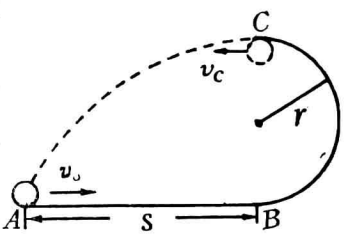


图 3—3

解题思路1 题意表明，小球作三种形式的运动：平面上的匀速直线运动；沿半圆形轨道作圆周运动；离C点后的平抛运动。分别运用这些运动的规律，抓住联系这些运动的物理量，就可求解。

进一步分析，可以由平抛运动，求出球离C点应具有的速度v_C，即列方程组

$$\begin{cases} s=v_C t \\ 2r=\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

解得 $v_C=\frac{s}{2}\sqrt{\frac{g}{r}}$

圆周运动过程中，可用机械能守恒定律或动能定理处理，列式

$$\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_C^2+mg(2r)$$

或 $$-mg(2r)=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$$

由前式可解得$v_B=\sqrt{\frac{g}{4r}(s^2+16r^2)}$。

匀速运动阶段，直接可得

$v_0=v_B=\sqrt{\frac{g}{4r}(s^2+16r^2)}$，方向水平向右。

解题思路 2 小球自A点出发又落回至A点，全过程机械能守恒，因此，小球落回A点时速率仍为v_0。

平抛可视为斜抛的半支，则射高

$$2r=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$$

又根据半射程公式$s=\frac{v_0^2\sin 2\theta}{2g}$和射高公式$2r=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$可得，两倍射高与半射程的比$\operatorname{tg}\theta=\frac{4r}{s}$。

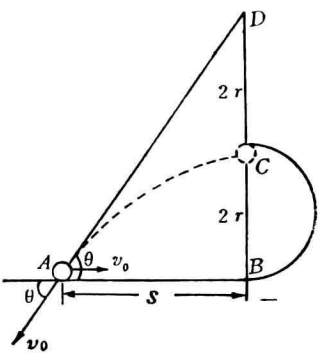


图 3—4

如图 3—4 所示，根据上式可知在$\triangle ABD$中，

$$\sin\theta=\frac{BD}{AD}=\frac{4r}{\sqrt{(4r)^2+s^2}}。$$

将$\sin\theta$值代入射高公式便得v_0值，方向仍为水平向右。

二、思路混乱必然导致错解

由于基础知识不扎实和解题能力较差，加之情感、意志和性格等心理因素的影响，往往引起解题思路混乱，从而导致解题的失败。通常思路混乱有下列表现·

1．思路不活、乱套公式

学习中，有些同学把精力倾注在物理概念、定律的死记硬背上，没有在理解上下功夫，所记忆的公式、规律多是孤立僵死的，解题时难免昏昏然乱套公式。例如：

以40米/秒的速度运动的汽车，关闭油门后作匀减速直线运动，加速度为10米/秒^2，5秒内前进的路程为

① 325米；② 125米；③ 80米；④ 75米。

演算这道题的同学，多数选答案④，即5秒内汽车前进的路程为75米。解答者的思路大概是这样的：汽车关闭油门后作匀速直线运动，可用匀减速直线运动公式求路程，即

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$=40\times5+\frac{1}{2}\times(-10)\times5^2$$

$$=75(\text{米})$$

这种思路错在哪里？

我们讨论一下5秒末的速度：

$v_t=v_0+at=40+(-10)\times5=-10(\text{米/秒})$

上式表明汽车早已停止。究竟何时停止的呢？

由 $v_t=v_0+at'=0$

得 $t'=\frac{v_0}{-a}=\frac{40}{-(-10)}=4$(秒)

这说明汽车于4秒末已停下来，汽车滑行时间不是5秒而是4秒。将$t'=4$秒代入位移公式，即得滑行距离的正确答案为80米。

例4 如图3—5所示，电源电动势$\varepsilon=6.3$伏特，内电阻$r=0.3$欧姆，两个灯泡相同，额定电压$U_{额}=6.0$伏特，每个灯泡额定功率$P_{额}=3.0$瓦特，求电源功率及电源输出功率。

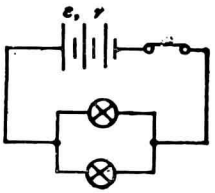


图 3—5

错解思路 每个灯泡额定电流

$$I_{额}=\frac{P_{额}}{U_{额}}=\frac{3}{6}=0.5(安)$$

干路额定电流

$$I_{总}=2I_{额}=2\times 0.5=1.0(安)$$

电源功率

$$P=I\cdot\varepsilon=1.0\times 6.3=6.3(瓦)$$

电源输出功率

$$P_{出}=2\times P_{额}=6(瓦)$$

上述思路认为，任何情况下用电器的额定电流都能得到满足，从而发挥额定功率，因此错误地列出$I_{总}=2I_{额}$，电源的输出功率 $P_{出}=2P_{额}$。

如果验算结果时，仍乱套公式，不求甚解，会错上加错，造成错误判断。

验讨 由于路端电压等于灯泡额定电压，即

$$U_{端}=U_{额}$$

根据全电路欧姆定律

$$I=\frac{\varepsilon-U_{额}}{r}=\frac{6.3-6.0}{0.3}=1.0(安)$$

电源功率

$$P=I\cdot\varepsilon=1.0\times6.3=6.3(瓦)$$

电源输出功率

$$P_{出}=I(\varepsilon-Ir)=1.0\times(6.3-1.0\times0.3)$$
$$=6.0(瓦)$$

答案虽然与原计算思路相同，但又出现一个问题，何以见得无论什么情况下，用电器的额定电压就是路端电压，从而应用相应的公式呢？

正确思路 每个灯泡的电阻

$$R=U_{额}^2/P_{额}=6^2/3=12(欧)$$

外电路总电阻

$$R_{总}=R/2=12/2=6(欧)$$

电路中总电流

$$I=\frac{\varepsilon}{R+r}=\frac{6.3}{6+0.3}=1(安)$$

电源功率

$$P=I\varepsilon=1\times6.3=6.3(瓦)$$

电源输出功率

$$P_{出}=I^2R_{总}=1^2\times6=6(瓦)$$

有人会问，上述结果不是与前两种思路的结果一样吗？是一样，但应当指出，思路的正确与否，不以答案为“试金石”，要看思维过程是否符合物理规律与数学规律。错误的思路得出正确结果的情况是有的，但毕竟是错误，解题本身只是手段，目的在于掌握知识，提高能力。

2. 思维定势的消极作用

根据心理学的观点，思维定势是指人们在解决某一类问题时习惯的思维方向。这是一种普遍存在的心理预备状态。一方面，思维定势能促进知识的顺向迁移，有助于熟练解决同类问题；另一方面，思维定势对难度、灵活性较大的问题，产生消极的影响。突出的表现是先入为主、思路闭塞，容易产生习惯性错误。例如：

物体以20米/秒的初速度沿倾角为30°的光滑斜面上行，求5秒内通过的路程。（g取10米/秒^2）

解答者有了例4的教训，于是先作如下讨论：

$$a=g\sin 30^\circ=10\times 0.5=5(\text{米/秒}^2)$$

$\because$ $v_t=v_0-at$，

$\therefore$ $t=\dfrac{v_0}{a}=\dfrac{20}{5}=4(\text{秒})$（$\because$ $v_t=0$）

4秒末，物体速度为零，其通过的路程

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2=20\times 4+\frac{1}{2}\times(-5)\times 4^2$$
$$=40(\text{米})$$

思维定势造成了错误，认为4秒末物体速度为零即停下来，即把物体在光滑的斜面上和光滑的平面上运动混为一谈。又如：

一单摆，摆球质量为m，摆线绝缘，放在匀强磁场中。给摆球带正电q，将其拉至水平位置A点（如图3—6所示）。试问：摆球释放后，从静止到速度再次为零，运动形式如何？

对于这道题，很多同学不加思索地回答：摆球开始做变

速圆周运动。显然，这又是思维定势所带来的消极作用，即将摆球在重力物中运动的情况等同于题给情况。

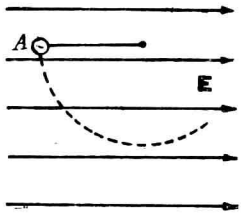


图 3—6

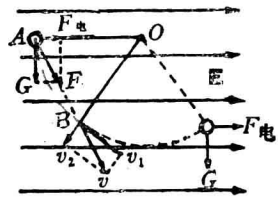


图 3—7

实际上该题的运动情况，如图3—7所示。摆球在A点受两个力：竖直向下的重力$G=mg$和水平向右的电场力$F_{电}=qE$，其合力为F，在合力作用下，摆球由静止开始沿合力方向作匀加速直线运动，至摆线拉直处（B点）；然后沿圆弧来回摆动。

思维定势的消极影响还在于，用传统观念来认识物理过程，乃至在头脑中形成固执的偏见。比如不少同学会认为：一个物体受到一个逐渐减小的力的作用，力的方向同于速度方向，这个运动是减速运动，速度越来越小。错误地把力作为产生速度的原因。例如：

如图3—8所示，有三个相同的木块A、B、C，从等高自由下落，其中木块A在开始下落的瞬间被水平飞来的子弹击中，木块B在下落一半高度时被水平飞来的子弹击中。若子弹都留在木块中，木块下落至地所需

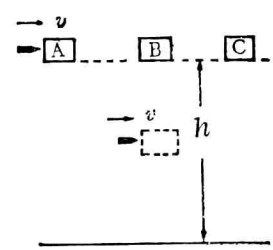


图 3—8

时间分别为t_1、t_2和t_3，则它们的关系是：① $t_1>t_2>t_3$；② $t_1<t_2<t_3$；③ $t_1=t_2=t_3$；④ $t_1=t_2<t_3$；⑤ $t_1=t_3<t_2$。

本题正确答案应是⑤，可是不少同学会选②，理由是A木块一开始下落就已中弹，比较起来最重，下落最快；B木块次之。可见亚里斯多德的“物体越重落得越快”的观念，仍然能够被人们习惯性的接受。

类似这样容易产生谬误的物理问题很多，这里再举两个受力分析的小例子。图3—9中，斜面受到的物体的压力为$mg\cos\theta$；在有力F推物体时，有人自然认为，斜面受到的压力是$mg\cos\theta$。在图3—10中，有人先入为主的认为，θ越大，

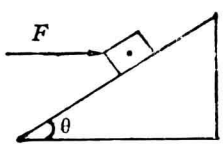


图 3—9

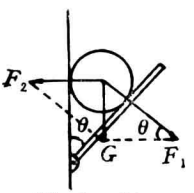


图 3—10

球对板的压力就越大。其实，其压力$N=F_1=\dfrac{G}{\sin\theta}$；当$\theta$增大时，$\sin\theta$增大，$N$反而减小，这是传统观念难以理解的。

因此，我们应运用科学的思维方法，把握问题的物理本质，注意纠正错误的传统观念，不断审查思维过程的合理性，克服思维定势的消极影响。

三、注意加强解题思路的训练

先看一道题目：

例 5 有两个物体A和B，质量分别为m_1和m_2。A原来静止，B以速度v向右运动。如图 3—11 所示。当它们同时受到向右的恒力F作用时，则在$m_1<m_2$、$m_1=m_2$、$m_1>m_2$三种情况下，能否达到相同的速度（矢量）？试列出它们速度的表达式；并根据此式分别进行讨论，讨论中要注意说明理由。

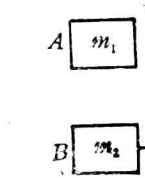


图 3—11

如果它们受到的恒力F的方向都跟v垂直，它们能否达到相同的速度（矢量）？为什么？

解题思路 该题分两个小问题回答：

(1) 两物体受到向右的恒力时的情况。根据牛顿第二定律求加速度，再按匀速直线运动公式求速度。由于受力相同，且力与初速度同向，两物体的速度也总是同向的。因此，只须根据速度表达式比较速度大小即可。但比较的思路有三条：

其一，直接比较它们的速度表达式$v_1=a_1t=\frac{F}{m_1}\cdot t$，$v_2=v+a_2t=v+\frac{F}{m_2}\cdot t$，按题给的三种情况，看看有没有相等的可能。

其二，根据速度表达式画出题给三种情况的速度图线，看看它们的图线是否相交。图线相交说明两物体能够同速。

其三，设它们的速度相等，即$v_1=v_2$，由速度表达式解出时间t的表达式，再讨论题给的三种情况能否使t有意义，若有意义说明题设是正确的。

(2) 两物体受到与v垂直的恒力时的情况。这种情况只须

比较两物体向右速度始终不相等，则两物体受力F后任何时刻的速度（合矢量）也必不相等。

该题思路正确的关键在于准确地给出速度表达式，而速度表达式的得出，不仅需用牛顿第二定律和匀变速直线运动的速度公式，同时还要进行受力分析，准确地给出产生加速度的力。如果解题有疑惑的话，应当将涉及的力学知识复习一下，才能避免把物体所受重力加入，以致认为“m_1作自由落体运动，m_2作平抛运动”的错误。

该题在讨论比较速度大小时（F与v同向情况）列出的三种思路，其中第二种是属数学方法的变换而引起的解题思路变换；第三种，则从物理的另一角度展开思路。虽然思路各异，但殊途同归，结果是一致的。

例6 如图3—12所示，气缸A和容器B由一细管经阀门K相联。A和B的壁都是热的良导体，A放置在27℃、1.0×10^5帕斯卡的空气中，B浸在127℃的恒温槽内。开始时，K是关断的，B内为真空，容积$V_B=2.40$升；A内装有理想气体，体积为$V_A=4.80$升。假设气缸壁与活塞D之间无摩擦，细管的容积可忽略不计。打开K，使气体由A流入B，当活塞D停止移动时，A内气体的体积将是多少？

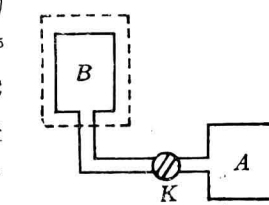


图3—12

解题思路1 把A气缸内的气体全部转化至$p_A'=1\times10^5$帕斯卡、$T_A'=400$K的状态，则运用气态方程可求得此状态下的体积V_B'，即

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_A' \cdot V_B'}{T_A'}$$

即 $$V_B' = \frac{p_A \cdot T_A' V_B}{p_A' \cdot T_A} = \frac{1\times10^5 \times 400 \times 4.80}{1\times10^5 \times 300}$$

$$=6.40(\text{升})$$

充满B容器后剩余气体体积

$$\Delta V_B = V_B' - V_B = 6.40 - 2.40 = 4.00(\text{升})$$

然后再将1×10^5帕斯卡、400升、400K气体转化到A气缸内，即将这部分气体回到1×10^5帕斯卡、300K的状态，再运用气态方程求出相应的体积，这就是A气缸内剩余气体的体积V_A'（3.00升）。

这条解题思路一方面复习并加深了对定质量的气态方程的认识；另一方面，采用了等效的处理方程，把变质量的气体状态变化问题转化成定质量的问题。

解题思路2 根据克拉珀龙方程，求出系统变化前气缸A中的气体的摩尔数 $n=p_AV_A/RT_A$。再求系统变化后气缸A和容器B中气体的摩尔数

$$n_A = \frac{p_A' V_A'}{RT_A'} \text{和} n_B = \frac{p_B' V_B'}{RT_B'},$$

又根据A、B的壁是热的良导体，则$T_A' = T_A$，$T_B' = T_B$。最后根据系统摩尔数守恒的关系式$n=n_A+n_B$，列出方程

$$\frac{p_0 V_A}{RT_A} = \frac{p_0 V_A'}{RT_A} + \frac{p_0 V_B}{RT_B} (\because p_A = p_A' = p_B' = p_0, \quad V_B' = V_B)$$

可求出气缸A中剩余气体体积$\overline{V_A}'$。

这条思路以克拉珀龙方程为基础，解题中无疑要复习并

运用这方面知识，同时解题时抓住系统摩尔数守恒这个关键，即可求解。与思路1相比，这条思路步骤多、运算繁。为了更为简便的解题，需建立新的思路。

解题思路3 以A气缸所排出的气体为研究对象。设系统处于平衡后，A气缸剩余的气体体积为V_A'，则气缸A排出的气体体积为V_A-V_A'，根据气态方程可得

$$\frac{p_A\cdot(V_A-V_A')}{T_A}=\frac{p_BV_B}{T_B},$$

又$p_A=p_B$，解上述方程可直接求得气缸A剩余的气体体积V_A'。

这条思路的思维跨度大、步骤少、运算简。

这道题还有其它的解题思路，每条正确思路，对气态方程都有新的认识。

解物理题是学习物理的一种手段，目的是为了巩固和加深对所学知识的理解，培养各种能力，包括科学思维分析与推理能力、空间想象能力等等。加强正确的解题思路的训练，才能实现这种根本的解题目的。

第二节 形成解题思路的途径

前面已经阐述了“解题思路是解题的中心”这个重要问题，可是如何形成正确的解题思路呢？

不少同学抱怨自己解题思路不宽，找来各种有关“题解”的书，东施效颦，亦步亦趋。这种做法是片面的，效果

当然不好。打个比方，一个灵活机智、具有丰富巷战经验的士兵，去那巷道不熟悉的村镇参加巷战，又忽视去熟悉巷道，是难免要被动挨打的。同样的道理，只强调解题能力的一面，丢掉了熟炼掌握物理概念、基础知识的一面，要形成正确的解题思路也十分困难。例如：

一个平行板电容器与电源相连，如图3—13所示。已知平行板间距为1毫米，电源电动势为6伏特。现在合上电键K，把厚为0.5毫米的金属板平行插入电容器中间，然后断开K，并将金属板小心抽出（始终不与极板相碰），这时又回到图3—13所示状态。试求此时电容器两极板间的电压？

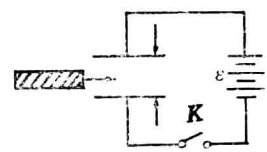


图3—13

这样一道简单题目，如果对电容器充放电不清楚，对平行板电容量跟哪些量有关不熟悉，则必然形成不了正确思路。有的同学会认为，经过一系列的过程又回到原来状态，两极板间电压无疑为零；也有的同学认为电键K合上后，两极板间电压为6伏，插入金属板又未碰及板面抽出，所以两极板间电压不变，仍为电源电动势（6伏）。

这两种思路都是错误的，错在没有熟悉平行板充电的物理过程，不明了合上K后，极板间电压是6伏，但板上已分别带上等量正负电荷Q。插入金属板，相当将板间距离近了0.5毫米，电容器电容增大一倍，此时极板带电量为$\pm 2Q$，而电压仍为6伏。但是，当电键K断开后，极板电量不变，电压仍为6伏。再把金属板抽出，板间距又恢复为1毫米，

电容器电容减了一半，而板上电量仍为$2Q$。因此，极板间的电压增大一倍。正确的答案是12伏。

可见，扎实的基础知识是形成正确解题思路的前提，要想在解题时很快形成正确解题思路，首先必须认真学习课本，加深理解基本概念和基本规律。思维能力是随着知识的深入而提高的，没有掌握知识的活动，思维能力不可能发展。

当然，也不能说在掌握知识的同时，思维能力就自发地得到发展，还必须通过各种途径培养、锻炼，逐步形成正确的解题思路，提高解题能力。

一、再生性思路途径

解题时，将所面临的题目，与过去所遇过的类似题目相比较，回想过去是怎样处理的，温故知新。这是通过记忆和迁移的途径，形成正确的解题思路，简称为再生性思路途径。

1．同类题目的解题思路形成

对于老师在课堂上举的例题或者自己课外阅读的例题，注意它们的解题思路。然后，在自己独立解同类题时，模仿例题形成正确的解题思路。

同类题目是指物理过程相同的题。其中又分两类：（1）已知量和未知量也相同的（数值不同）；（2）在原已知量和未知量的关系式中变换，以不同量作为未知量（又称“姐妹题”）。例如：

“两个电量分别为 1×10^{-8} 库仑和 2×10^{-3} 库仑的点电荷，相距0.3米。每个电荷受到的静电力是多少？”

“真空中两个点电荷，相距10厘米，两电荷间的吸引力为 7.2×10^{-6} 牛顿，其中一电荷电量为 $+4\times10^{-9}$ 库仑，求另一电荷所带电量。”

我们在解同一类题时，可以根据记忆，模仿过去的解法形成解题思路。这种解题训练虽然是一种初级阶段的训练，但也不要忽视。“模仿常被认为是一种低级的学习形式，这种看法并不全面。……模仿可以是有意的和无意的，可以是再造性的，也可以是创造性的。”(《智育心理学》第166页，冯忠良编著，教育科学出版社出版)。因此，我们不要低估这种训练的作用。不仅计算题是如此，其它类型的题也是如此。如说理题，新编教材中，有不少叙述是经过编者精心设计的，说理时重点突出，表达清楚，语言精炼，逻辑性强，给出了很好的示范。

2. 类似题目的解题思路形成

描叙的物理图景相类似的题目，我们也可以根据记忆和迁移，形成正确的解题思路。

例7 导线 ab 在矩形线框上无摩擦地自由下滑，ab 长为 L，质量为 m，电阻为 R，线圈竖直放置，电阻略而不计。若在线圈面垂直方向加一匀强磁场，磁感应强度为 B（如图3—14所示）。求：

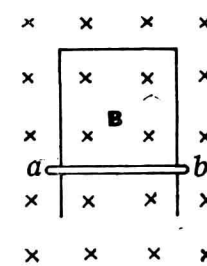


图3—14

(1) 导线 ab 下滑后，所达到稳定

的速度；

（2）达到稳定速度时，导线ab消耗的功率。

解题思路 运用楞次定律或右手定则，可判定感生电流由$a\to b$。导线下落作加速度越来越小的加速运动。根据受力分析，直至$F_{磁}=G$时，加速度为零，速度达最大。

相应最大速度时，得某感生电流值，根据功率公式得导线ab消耗的功率。

该题的关键是辨明产生稳定速度的条件，即$F_{磁}=G$，其中$F_{磁}=ILB$，$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{BLv_m}{R}$，则$F_{磁}=\frac{B^2L^2v_m}{R}$；又$G=mg$，所以$\frac{B^2L^2v_m}{R}=mg$，得$v_m=\frac{mgR}{B^2\cdot L^2}$。

假如我们熟悉了这个例题的解题思路，当碰到下述的例题，就很容易形成正确思路。

如图3—15所示，一个U形导体框架，宽度$L=1$米，其所在平面与水平面交角$\alpha=30°$，其电阻可以忽略不计。设匀强磁场与U形框架的平面垂直，磁感应强度$B=0.2$特斯拉。现有一条形导体ab（其质量$m=0.2$千克，有效电阻$R=0.1$欧姆），跨放在U形框上，并且能无摩擦地滑动。求：（1）导体ab下滑的最大速度v_m；

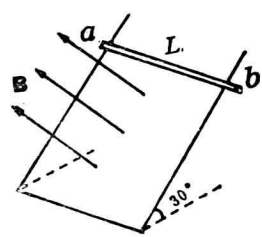


图3—15

（2）达最大速度v_m时，在ab上释放出来的电功率。

此题与前一例相比，差异仅是线框位置有一个30°倾角，完全可以将前例的思路迁移过来，形成新情况下的思路。

无论是记忆形成思路还是迁移形成思路，都要借助于例题。各种复习资料、试题集，浩如烟海，如果单纯质量，适读题仿题，势将步入题海。因此，应当紧扣课本，提高作业当精做一些课外例题，举一反三，触类旁通。

平时应当在模仿学习中不断总结形成思路的途径，可以将若干同类或类似题目归纳为某一类型，选择其中一个典型题目分析解题思路，起着“以一当十”的作用。

如连接体问题，下例就比较典型：

光滑的水平面上放着两个用线连着的木块A和B（如图3—16所示），质量分别是$m_A=2$千克、$m_B=3$千克。作用在木块B上的水平拉力$F=10$牛顿。求连接线上的张力。



图3—16

该题思路有两个：

其一是将两物体隔离开来，进行受力分析，根据牛顿第二定律列方程，再用牛顿第三定律将两物体相互作用联系起来求张力。

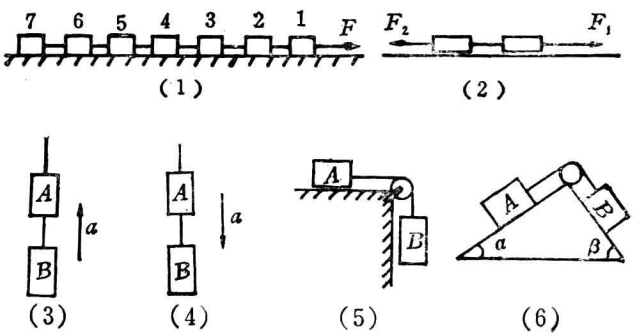


图3—17

其二是将A、B和线看作一个整体并有分有合的列方程

$$\begin{cases} T_A = m_A \cdot a & (\text{对于木块}A) \\ F = (m_A + m_B) \cdot a & (\text{对于整体}) \end{cases}$$

这样，图3—17所示的各种类似问题的解题思路就不难形成了。

从发展思维的角度考虑，如果局限于这种再生性思路的途径，势必会影响思维的发展。这种途径的思路只能作为一种初级阶段的训练，更重要的是善于归纳，将再生性思路转化为创造性思路。

二、逻辑性思路途径

逻辑性思路途径，指的是按照严密的逻辑，形成有步骤地解题思路的途径。其中普遍采用的是科学思维方法中的分析与综合。综合的特点是从已知到未知，相应构成顺摸思路。分析的特点是从未知到已知，相应构成倒推思路。这两种思路的形成都离不开科学思维方法，第一章对科学思维方法已作详细论述，这里着重介绍如何利用这种方法形成思路。

1．顺摸思路的形成

直接将分析已知条件作为思路的开端，在认真读审题目的基础上，充分发掘已知量，顺摸出已知量与未知量的关系，最终求出未知量。

例8 一静止在水平光滑轨道上的小车，质量为M。一根长为L的细绳悬挂质量为m的小球B于车上，另用与球B悬绳

等长的细绳，将与球B等质量的相同小球A悬于轨道档板C上。静止时两球刚好相切，切点与两球心均在同一平面内（如图3—18所示）。现将A球带绳拉成图示水平位置再放手，球A与B将要相碰，设为弹性碰撞。求球B被碰后所能摆动的最大高度。

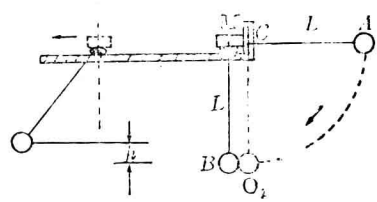


图3—18

解题思路 球A从水平位置释放运动到O_1位置，过程遵从机械能守恒定律，列式求出球A至O_1处与球B相碰前的速度v_A。

两球作用为弹性碰撞，遵从动量守恒定律和动能守恒定律，故可列式解得球B碰后速度v_B'。

球B向左运动又拉小车M由静止开始运动，当球B达最高点时，二者具有相同的速度。在这一过程中，球B和小车M组成的系统，水平方向动量守恒，而动能不守恒，但就B、M和地球这一系统而言，机械能守恒。因此，相应可列二式解得B球摆动的最大高度h。

随着思路的形成，可列出所需的相关方程式：

$$\frac{1}{2}mv_A^2=mgL \tag{1}$$

$$\begin{cases} mv_A=mv_A'+mv_B' & (2) \\ \dfrac{1}{2}mv_A^2=\dfrac{1}{2}mv_A'^2+\dfrac{1}{2}mv_B'^2 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} mv'_B=(m+M)v & (4) \\ mgL=\dfrac{1}{2}(m+M)v^2+mgh & (5) \end{cases}$$

式中v为球B达最高点时，球B与小车M的共同速度。

整个思路是从已知量到未知量，思路的线索是物理图景的变化进程，已知条件一次一次被挖掘利用，解题的思路也就顺着物理过程的发展摸索着一步一步地前进。

但是，这种思路在形成过程中会遇到两个难点：一是思路的起点摸不准（这个问题将在下一章论述）；二是对于比较简单的题目，顺摸的方法形成思路比较顺利、轻松，但是，面对较复杂的题，顺摸过程中往往会迷失思维方向，使思路遇到障碍。下面这道例题就是这类情况。

例9 在两端封闭、内径均匀的直玻璃管内，有一段水银柱将两种理想气体a和b隔开。将管竖立着，达到平衡时，若温度为T，气柱a和b的长度分别为L_a和L_b；若温度为T'，则长度分别为L'_a和L'_b。然后将管平放在水平桌面上，再平衡时，两段气柱长度分别为L_a''和L_b''。已知T、T'、L_a、L_a'、L_b、L'_b，求$\dfrac{L_a''}{L_b''}$。



图 3—19

解题思路 本题研究对象是，封闭于同一均匀直管中的、由一段水银柱隔开的两种理想气体。已知量有8个，如何将已知量与未知量联系起来呢？物理过程比前一例复杂得多，涉及a和b两种气体六种状态计18个参量，构思时往往陷入迷途。由于通常遇到的都是一种气体的不同状态，一些同学头脑中产生了“一定质量理想气体的不同状态”的思维定势，列出错误的方程：

$$\frac{p_aL_a}{T}=\frac{p_bL_b}{T},\quad \frac{p_a'L_a'}{T'}=\frac{p_b'L_b'}{T'},\quad \cdots\cdots$$

不少同学不能准确无漏地列出每种气体在三种状态下各参量间的关系。即

$$\frac{p_a L_a}{T} = \frac{p_a'' L_a''}{T''} = \frac{p_a' L_a'}{T'} \quad (1)$$

$$\frac{p_b L_b}{T} = \frac{p_b'' L_b''}{T''} = \frac{p_b' L_b'}{T'} \quad (2)$$

即使能列出上述关系，仍然寻找不到已知量与未知量间的关系，思路仍被阻塞。于是还得从题给条件中去寻找关系，即两种气体在三种状态下的压强关系，才能把两种气体各参量联系起来，即

$$p_b - p_a = p_b' - p_a'$$

$$p_a'' = p_b''$$

上式中，p_a和p_b分别为管竖直放置、温度为T且平衡时，气体a、b的压强；p_a'和p_b'分别为管竖立放置、温度为T'且平衡时，气体a、b的压强；p_a''和p_b''分别为管水平放置、温度为T''且达到平衡时，气体a、b的压强。

如果该题能从六个状态关系、两个压强关系形成思路，那么具体解题时，则主要是数学运算问题了。可见，顺摸思路的形成过程中，还需借助各种方法攻克解题难关。

2．倒推思路的形成

实际解题时，对于那些已知量与所求量间的关系比较复杂的题目，若用顺摸方法思路难以形成时，可换用执果索因的倒推方法形成思路，即从要问的问题本身出发，不断设问，逐步向前逆推到已知条件，最后再返回到结论，求出结果。这样追根溯源，思维不断受到启发，容易找到解题思路的源头。

例10 用均匀导线弯成正方形闭合线框$abcd$，线框边长为8.0厘米，每边的电阻值为0.010欧姆。把线框放在磁感应强度为$B=0.050$特斯拉的匀强磁场中，并使它绕轴OO'以$\omega=100$弧度/秒的角速度旋转，旋转方向如图3—20所示。已知轴OO'在线框平面内，并且垂直于B，$\overline{O'd}=3\overline{O'a}$，$\overline{Oc}=3\overline{Ob}$。当线框平面转至和$B$平行的瞬时，问：

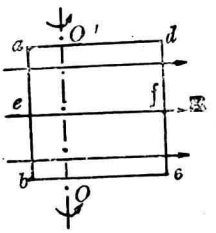


图 3—20

(1) 每条边产生的感生电动势的大小各是多少？

(2) 线框内感生电流的大小是多少？并在图中用箭头标出感生电流的方向。

(3) e、f分别为ab和cd的中点，e、f两点间的电势差U_{ef}(即U_e-U_f)是多大？

解题思路 该题有三问，每一问的解答思路都不一样。

(1) 当线框绕轴OO'旋转时，根据电磁感应定律，ab边和cd边都切割磁力线，分别产生感生电动势为

$$\varepsilon_1=BL\cdot v_1\cdot\sin 90^\circ=BL\cdot\omega\cdot(3/4)\cdot L$$

$$\varepsilon_2=BL\cdot v_2\cdot\sin 90^\circ=BL\cdot\omega\cdot(1/4)\cdot L$$

ad边和bc边不切割磁力线，所以其感生电动势为零。

(2) 线框内感生电流的大小，可用全电路欧姆定律求得，即$I=\varepsilon/4R$，式中ε为整个线框中的感生电动势。由于在线框$abcd$中，ε_1与ε_2是同向的，故总电动势$\varepsilon=\varepsilon_1+\varepsilon_2$。

也可按电流强度的合成考虑，即

$$I=I_1+I_2=\frac{\varepsilon_1}{4R}+\frac{\varepsilon_2}{4R}$$

感生电流的方向可用右手定则或楞次定律来判断。

(3) 求e、f两点的电势差U_{ef}。可把半个线框分为eb、bc、cf三段，分别求出各段的电势差。

$$U_{eb}=\frac{1}{2}\varepsilon_2-I\cdot\frac{R}{2}$$

$$U_{bc}=-IR$$

$$U_{cf}=\frac{1}{2}\varepsilon_1-I\cdot\frac{R}{2}$$

然后求其各段的电势差的代数和就得U_{ef}，即$U_{ef}=U_{eb}+U_{bc}+U_{cf}$。

例11 幻灯片高6厘米、宽10厘米，若放在凸透镜前4.1厘米处，能在3×4米^{2}幕上得到最大完整像，则此透镜的焦距是多少？

解题思路 根据透镜公式

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}$$

求得焦距公式，即

$$f=\frac{uv}{u+v} \qquad (1)$$

式子右边u为已知量，关键是求v。

又根据题给幕上画面高可达300厘米，宽可达400厘米，则放大率

$$m_{高}=\frac{300}{6}=50$$

$$m_{宽}=\frac{400}{10}=40$$

为了画面完整只能取$m=40$，

$$\therefore\quad m=\frac{v}{u}=40 \qquad (2)$$

由(1)、(2)两式可求得焦距f的值。

上面各例说明，倒退形成思路的特点是：从“未知”看“需知”，由“需知”看“已知”。同学们对于这种思路形成的途径，易于掌握，乐于运用。不过，应当注意：

① 例推法形成思路的全过程，都是在科学思维的分析法指导下进行的，因此，我们应当在形成思路的过程中，注意科学思维能力的提高。

② 逻辑性思路比之再生性思路，思维能力的要求要高一些，但总的说来思路还是比较刻板，对于一些讨论性问题，或者有多个答案的题目，困难较大。例如：

一质量为m_1的运动粒子与一质量为m_2的静止粒子发生正碰。已知机械能在碰撞过程中有损失。实验中测出碰撞后第二个粒子的速度为v_2，求第一个粒子原来速度v_0值的可能范围。

如果用倒推方法，思路很难形成，因为所求量v_0并没有一个明显的关系式可以表达。如果用顺摸方法，思路形成也难，因为从已知量开始顺摸，思路中要遇上一些讨论，这些都成了思路进程中的障碍。因此，这就需要借助科学思维的其它方法，指导我们形成解题思路。

三、探索性思路途径

如果给你这样一道题：

一个斜向上抛的物体，第1秒末的速度方向跟水平方向成45°夹角，第2秒末速度方向为水平方向，不计空气阻力，求它的射程。

这道题大多数同学都会做，而且知道采取逻辑性思路途径，求射程，即

$$v_0\sin\alpha - gt_1 = v_0\cos\alpha \qquad (1)$$

$$v_0\sin\alpha - gt_2 = 0 \qquad (2)$$

由(1)、(2)两式可得

$$v_0\cos\alpha = g(t_2 - t_1)$$

$$= 9.8\times(2-1) = 9.8(\text{米/秒})$$

抛体飞行时间

$$T = 2t_{上} = 2\times 2 \doteq 4(\text{秒})$$

所以，斜抛物体的射程

$$s = v_0\cos\alpha\cdot T = 9.8\times 4 = 39.2(\text{米})$$

但是，思维敏捷的同学，无需这样按步就班。他们由斜抛运动2秒末速度为水平方向，得知抛体飞行时间为4秒，并知道1秒末的竖直速度也是9.8米/秒；又由1秒末速度方向可知水平速度也是9.8米/秒，所以射程

$$s = 9.8\times 4 = 39.2(\text{米})。$$

相比之下，前者只能机械地把初速度、射角和射程通过公式联系起来，思路显得教条；后者则深刻理解了抛体运动，把握住各时刻的状态量（速度、加速度）和射体飞行全过程量（飞行时间、射程等）的关系，把未知量与已知量巧妙地联系起来形成解题思路，走出一条解题的“捷径”。

又如热学中的一道题：

一粗细均匀的圆筒，用一无摩擦且不漏气的活塞封闭筒口，筒内贮有一定质量的气体，活塞上方盛有水银并恰与筒口平齐（如图3—21所示）。已知筒内气压为H厘米水银柱高，现继续向活塞上方缓慢倒入水银，问起始时，空气柱h至

少多大，继续倒入水银才不会溢出（气体温度不变）。

该题若用逻辑性思路途径，就很困难。于是迫使我们认真分析物理过程，从题给的物理图景中寻找未知量与已知量间的关系。

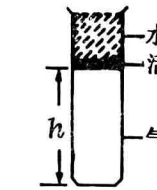


图 3—21

经分析可知，筒内气体为等温变化，于是利用玻一马定律，列方程

$$H\cdot h=(H+h_x)\cdot(h-h_x)$$

式中，h_x为继续倒入而不溢出的水银柱高，H和$H+h_x$均取“厘米水银柱高”为单位；h和$h-h_x$分别是以长度表示的加入h_x厘米水银柱高前后，筒内气体的体积。最后可解得空气柱h的最小条件：$h>H$。经检验，结果正确。

再看电学中的一道题：

如图3—22所示稳恒电路，$R_1=R_2=R_3=R_4=3$欧姆，电源电动势$\varepsilon_1=6$伏特，$\varepsilon_2=3$伏特，内电阻不计。求A点和C点的电势。

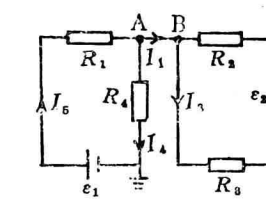


图 3—22

通常这类问题的思路是从设定电路各部分电流强度入手，如图示中的I_1、I_2、I_3、I_4和I_5，然后根据电流间的关系及欧姆定律求解。但这里有五个未知数，而节点和独立回路分别只有两个，只能列四个方程，无法求解。

这又迫使我们另辟思路，先求出I_1，使方程个数与未知数相等。具体探讨方法如下：

设在AB中，电流I_1或者流进B，或者从B流出，或者

为零。

如果I_1流进B或由B流出，则进入和出于电源ε_1的电流不相等，这与题给稳恒电流矛盾，所以$I_1=0$，$U_A=U_B$，然后由两独立电路分别求出U_C和U_A。

以上三例说明了一个解题事实，当用前面介绍的形成思路的途径有困难时，需要根据题给的物理图景，用多种方法探索已知量与未知量的联系，另辟一条解题思路。这种形成思路的途径，我们把它称之为探索性思路途径。

探索性思路的特点在于不套用过去的方法，它是根据建立的物理图景，依靠掌握的知识结构，采用灵活多变的方法寻找思路的突破口。这种思路的形成难度较大，需要有较敏锐的直觉能力。再如下例：

例12 如图3—23（甲）所示，在竖直平面内放置一个半径为R的圆环，现从同一平面内的一点A，引一条光滑直线轨道到圆环上任一点M。在重力作用下，一金属小环m从A点由静止开始下滑至M。问M点位于何处，金属小环m滑动到大圆环M点所用时间最短？

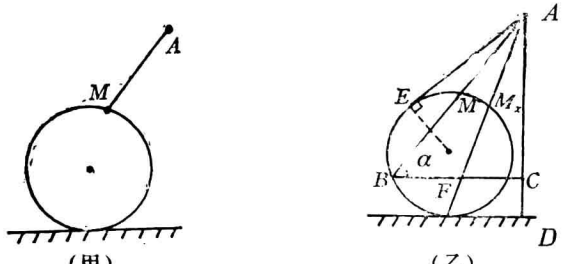


图 3—23

解题思路 进一步探索题述的物理图景，揭示能反映滑

行时间的运动规律，最后在描叙规律的方程式中讨论点M与时间的关系。

如图 3－23(乙)所示，延长AM与圆环交于B点，过A点作竖直线AD，又过B点作水平线与AD交于C点，并设$\angle ABC$为α。

金属小环下滑加速度

$a=g\sin\alpha=g\cdot\overline{AC}/\overline{AB}$，从$A$滑至$M$的时间为$t$，则由 $s=\frac{1}{2}\cdot at^2$得

$$t^2=\frac{2s}{a}=\frac{2\overline{AM}}{g\sin\alpha}=\frac{2\overline{AM}\cdot\overline{AB}}{g\cdot\overline{AC}}.$$

根据圆幂定理，$\overline{AM}\cdot\overline{AB}=(\overline{AE})^2=$常量，式中$AE$为过$A$点所作的圆环的切线，则

$$t^2=\frac{2(\overline{AE})^2}{g\cdot\overline{AC}}$$

式中g、$\overline{AE}$均为恒量，若使t为最小，则必须使$\overline{AC}$趋向最大，即等于$\overline{AD}$。于是，可以将大圆环与地面的相切点F和A相连，连线与大圆环相交一点M_x，则小金属环沿AM_x光滑直线下滑到大圆环上，所用时间最短。

通过详细的思路形成的介绍，我们进一步领会了探索性思路形成的途径。当然，学习中，必须先掌握前两种思路形成方法，才能进行这种思路形成方法的训练。只有这样循序渐进，才不会感到在思维要求上高不可攀。只要我们领会了探索性思路形成的原则，加强探索性思维训练，不断受到一些具体探索方法的启发，就能以不变(思路形成的原则)去应

万变（探索千变万化的例题），在探索中逐步掌握这种探索性思路的形成方法。

第三节　拓宽解题思路的方法

要想熟练而灵活地运用物理基础知识去解决实际问题，必须要拓宽自己的解题思路。先看下述两例：

电阻为R的导线，围成面积为S的圆环，让它处于磁感应强度为B的匀强磁场中，磁力线垂直穿过圆环（如图3—24所示）。把圆环绕直径匀速转过90°的过程中，流过圆环导线截面的电量为多少？

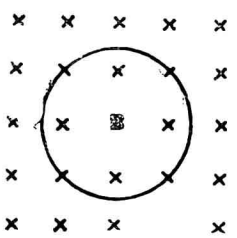


图3—24

如果在形成这道题的解题思路的过程中，不许在纸上立式运算，如何建立思路。

根据题问，若求电量，必须已知时间和电流；若知电流又必须求出感生电动势和电阻；若知感生电动势应需已知圆环旋转90°的快慢。然而，时间与圆环旋转90°的快慢都不知，于是思路遇到障碍。此时，若再深入探讨线圈转动过程中的各量关系，就会明了感生电动势大小受磁通量变化所用时间制约，通过导线截面的电量又受电流流过截面所用时间的制约，这两个时间都是圆环转动时间，可消去，题目答案就自然而得了。

有一钢块和木块，它们的体积和形状完全相同，将其叠放在水面上，如果不再碰及它们，能否想法使它们浮而不沉（如图 3—25 所示）？

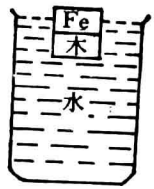


图 3—25

当我们读完这道题时，脑海里自然会浮现出阿基米德定律，并根据受力分析，作出不能使它们浮而不沉的判断。然而又猜疑题目原意可能是能使它们浮而不沉，在这种矛盾心理支配下，思路阻塞，不知所措。

究竟能否使它们浮起呢？如果拓宽原来的思路，联系失重现象，就很快可以回答。即将实验装置放在一个作加速运动的系统中，使其加速度大到某一定值($a=g$)，且加速度方向朝下，它们就可以浮而不沉了。

上述两例算得上“难者不会，会者不难”了。所谓会与不会，关键在解题思路是否被开拓。前一例采取纵向深化概念，使自己的解题知识系统化、条理化并形成结构，自然促进思路开拓。后一例采取横向扩张联系，激起发散性思维，在形成思路的过程中，灵活地、敏捷地将思维拓开，为原被阻塞的思路另辟蹊径。下面介绍几种具体拓宽解题思路的方法。

一、一题多思

“一题多思”即运用不同的物理规律或数学方法分析同

一物理问题，它是巩固和灵活应用知识的一种手段，也是锻炼思维、拓宽解题思路的一种好方法。

例13 在掷铅球的运动中，铅球出手时距地面的高度为h，若出手时的速度为v_0，求以什么角度掷球，水平射程最大？最大值是多少？（如图3—26所示）

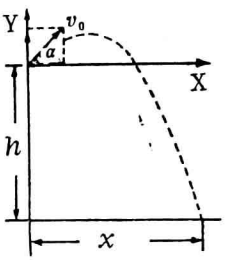


图3—26

分析 通常，这道题的思路，是根据合运动的观点，把掷铅球的运动（即斜抛运动）视为水平方向的匀速直线运动和竖直方向上的竖直上抛运动的合运动。于是可列方程：

$$x=v_0\cos\alpha\cdot t \tag{1}$$

$$-h=v_0\sin\alpha\cdot t-\frac{1}{2}gt^2 \tag{2}$$

式中t为铅球被掷出至落地的时间。

由(2)式得 $-h=v_0\sqrt{1-\cos^2\alpha}\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$

将上式移项并平方得

$$\left(\frac{1}{2}gt^2-h\right)^2=(v_0t)^2-(v_0t\cos\alpha)^2$$

整理上式得

$$(v_0\cos\alpha\cdot t)^2=(v_0t)^2-\left(\frac{1}{2}gt^2-h\right)^2 \tag{3}$$

当x有最大值时，则有$(x^2)_{max}=[(v_0\cos\alpha\cdot t)^2]_{max}$，于是(3)式右边也为极大，则解得

$$t=\frac{\sqrt{2v_0^2+2gh}}{g} \tag{4}$$

将(4)式代入(3)式解得

$$x_{max}=(v_0\cos\alpha\cdot t)_{max}=\frac{v_0\sqrt{v_0^2+2gh}}{g}$$

又将(4)式代入(2)式解得

$$\sin\alpha=\frac{v_0}{\sqrt{2v_0^2+2gh}}$$

所以，水平射程最远的最佳投射角

$$\alpha=\sin^{-1}\frac{v_0}{\sqrt{2v_0^2+2gh}}。$$

是否还有别的思路呢？这就涉及“一题多思”问题。一般说来另辟思路分为两种类型：

一类是从不同途径或不同角度去分析题中描叙的物理过程，运用不同的物理规律去建立解题思路。比如上例，又可采用下述思路：

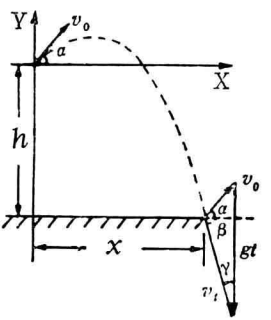


图 3—27

将抛物运动看作是沿v_0方向的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动的合运动，则可画速度的矢量图（如图 3—27 所示）。

在矢量三角形中，根据正弦定理

$$\frac{gt}{\sin(\alpha+\beta)}=\frac{v_0}{\cos\beta}\qquad(1)$$

水平射程

$$x=v_t\cos\beta\cdot t\qquad(2)$$

又根据机械能守恒定律得

$$v_t=\sqrt{v_0^2+2gh}\qquad(3)$$

由(1)、(2)、(3)式得

$$x=\frac{v_0\sqrt{v_0^2+2gh}}{g}\sin(\alpha+\beta) \qquad (4)$$

由(4)式可看出，当$\sin(\alpha+\beta)=1$时，即当$\alpha+\beta=90°$时，水平射程最远。

$$\therefore \quad x_{max}=\frac{v_0\sqrt{v_0^2+2gh}}{g}$$

又 $v_0\cos\alpha=v_t\cos\beta=v_t\sin\alpha$

则 $\operatorname{tg}\alpha=\frac{v_0}{v_t}=\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2+2gh}}$

所以，水平射程最远的最佳掷球角

$$\alpha=\operatorname{tg}^{-1}\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2+2gh}}$$

另辟思路的又一类型，是用不同的数学手段，运用不同的数学方法形成解题思路。这种训练可以熟练技巧，提高我们运用数学解决物理问题的能力。如上例，已用代数法展现思路，也可以选用求导法。再如下例：

如图3—28所示，如果支架中斜梁跟墙的夹角θ已知，物体重量大小为G，那么，重物对横梁和斜梁的作用力分别为多大？

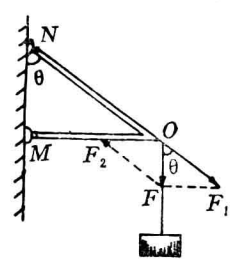


图3—28

这一简单问题，从数学方法上可以选取不同的思路。如用解直角三角形的三角函数关系，即

$F_1=F/\cos\theta$，$F_2=F\cdot\operatorname{tg}\theta$

也可用正弦定理，即

$$\begin{cases} \dfrac{F_1}{\sin 90^\circ}=\dfrac{F}{\sin(90^\circ-\theta)}=\dfrac{F}{\cos\theta} \\ \dfrac{F_2}{\sin\theta}=\dfrac{F}{\sin(90^\circ-\theta)}=\dfrac{F}{\cos\theta} \end{cases}$$

还可以用正交分解法、余弦定理等数学方法打通新的思路。

可见“一题多思”可以启迪我们解题思路多样化，但不要一味追求不同思路，而是在思索各种思路过程中促使知识系统、扎实，实现运用自如的目的。解题时，对于每一种形成的思路，都应比较、分析其优缺点和相互间的联系，从而总结出最简便、优越的解题思路。

二、一题多变

对一些典型的题目进行“开拓”、“扩充”、“变型”，将题目的已知条件和所求问题稍加变更，有的结构变化，有的复杂程度变化，使一题变为多题，俗称“一题多变”。这种一题多变的方法，是调动思维、拓宽解题思路的有效方法，其特点在于：

(1) 题述物理过程，随已知和未知条件的变化而演变，迫使思路必须针对变形而相应变化，从而培养我们对各种物理过程的分析、鉴别能力。

例14 一电阻$R=2$欧姆、圆心角为90°的扇形线框(扇形半径$r=0.2$米)，在外力作用下，起始位置如图3—29所示，图示磁场为匀强磁场，磁感应强度$B=0.5$特斯拉。在XY平面内，线框以O轴逆时针沿象限Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ→Ⅳ匀速旋转，若转速$n=50$转/秒，试定量画出感生电流随时间变化的

图线。

解题思路 根据法拉第电磁感应定律，分四个过程，求ε和I。

当$t=0\to\frac{T}{4}$及$t=\frac{1}{2}T\to\frac{3}{4}T$内，

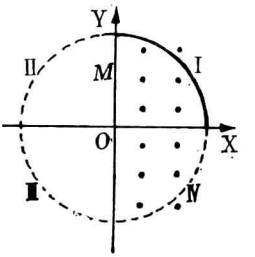


图 3—29

$$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=\frac{B\Delta S}{\Delta t}=\frac{B\cdot\frac{1}{4}\pi r^2}{\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi}{\omega}}$$

$$=\frac{1}{2}Br^2\omega=Br^2\cdot\pi n$$

$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{Br^2\pi n}{R}$，方向$O\to N\to M\to O$，为正值。

当$t=\frac{T}{4}\to\frac{T}{2}$及$t=\frac{3}{4}T\to T$内，

$\varepsilon=0$，$I=0$

相应可作$I-t$图线。

变形题 1 仅仅将原题的磁场加以变化。如图 3—30所示，在Y轴左方加一个磁感应强度相等但反向的匀强磁场，其它不变。

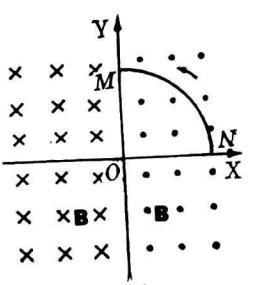


图 3—30

解题思路 与原题相比，该题磁场变成两个。可根据电磁感应定律，当$t=0\to\frac{T}{4}$内，OM和ON产生感生电动势：

$$\varepsilon_{OM}=\varepsilon_{NO}=Br\overline{v}=\frac{1}{2}Br^2\omega$$

又　$\omega=2\pi n$

$\therefore$　$\varepsilon=\varepsilon_{OM}+\varepsilon_{NO}=Br^2\omega=Br^2(2\pi n)$

线圈产生感生电流

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{2Br^2\cdot\pi n}{R}$$

以电流沿$ONMO$方向为正向，则

$t=\frac{T}{4}\rightarrow\frac{T}{2}$内：$\varepsilon=0$，$I=0$；

$t=\frac{T}{2}\rightarrow\frac{3}{4}T$ 内：$\varepsilon=\frac{2Br^2\pi n}{R}$；

$I=\frac{\varepsilon}{R}$，但方向与前相反。

$t=\frac{3}{4}T\rightarrow T$内：$\varepsilon=0$，$I=0$。

在$I-t$坐标上，可作出相应的电流随时间变化的图线。

变形题2　将原题中旋转轴由O轴改成OX 轴（如图3—31所示），其它已知条件和所求量均不变。

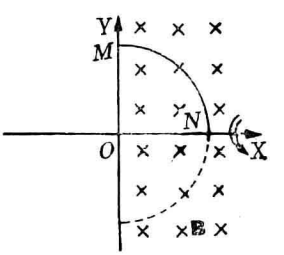


图3—31

解题思路　根据法拉第电磁感应定律，扇形线圈以ox轴旋转（先朝纸面外翻转），当

$t=0\rightarrow\frac{1}{4}T$内，平均感生电动势

$$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=\frac{B\cdot\Delta S}{\frac{1}{4}T}=\frac{B\cdot\frac{1}{4}\pi r^2}{\frac{1}{4}\cdot\frac{2\pi}{\omega}}$$

$$=\frac{1}{2}B\cdot\omega\cdot r^2=Br^2\cdot\pi n$$

$\therefore \quad I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{Br^2\pi n}{R}$，方向$O\to M\to N\to O$，为正值。

当 $t=\frac{T}{4}\to\frac{T}{2}$内，

$$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=Br^2\cdot\pi n,$$

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{Br^2\cdot\pi n}{R}$$，方向$O\to M\to N\to O$,为正值。

当 $t=\frac{1}{2}T\to\frac{3}{4}T$ 内，

$$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=Br^2\pi n$$

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{Br^2\pi n}{R}$$，方向$O\to N\to M\to O$，为负值。

当 $t=\frac{3}{4}T\to T$内，

$$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=Br^2\pi n,$$

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{Br^2\pi n}{R}$$，方向$O\to N\to M\to O$，为负值。

根据电流的变化可在坐标图上作出图线。

(2) 沟通关联的知识，使知识纵横交错，形成知识块。通过“一题多变”的训练，迫使我们深入分析不断变化的题目内容。为了寻找新的思路，又不断分析与变形相关联的物理规律，把许多相关联的知识有机地联系起来，使之融会贯通。反过来，这样的过程又使解题的思维更为活跃，解题思路更加宽广。例如：

质量为20克的子弹，以400米/秒的水平速度射向放在光滑水平桌面上的物体（如图3—32所示）。物体的质量为2千克。假设子弹以100米/秒的速度穿过物体，则物体获得的速度多大？



图3—32

题目可以作如下变形，仍求物体获得速度。

（1）子弹留在物体当中；

（2）子弹以100米/秒的速度被弹回；

（3）子弹和物体发生弹性碰撞。

题目还可以就子弹与物体作用后的不同情况，分别求：

（1）作用时间内子弹所受的冲量；

（2）转化为内能的能量有多少？

题目经这样变化后，从纵向和横向联系了许多知识，解一道题胜似解好几道题。

三、多题一解

中学物理习题中有一些题目，虽然类型不同、要求不同，但却有一条共同的解答思路。因此，往往可以运用同一种解法来解答一类题。如果我们能重视这些解法雷同的系列题的比较，那么，解答了一个问题，就熟悉了一类问题。在形成系列题中的关键题的解题思路时，对同类问题进行比较和延伸，思路得以拓宽，进而掌握该系列题的一般思路和规律。它与一题多解可以说是异曲同工。

“多题一解”中的多题，是属同类型的题目，那么，究竟是哪些题目呢？通常有两种：

(1) 物理过程相近的题。

这些题，反映的物理知识都是共同的，比如在电学范围或力学范围等，仅仅是在某些条件上稍有变更，但未使物理实质变化。这种“多题一解”促使我们的物理知识和解题思路向纵向发展。

图 3—33表示在磁感应强度为B的匀强磁场中，一条长度为L的金属棒以固定的转速n，在磁场中绕一固定点O或OO'轴转动（转轴与磁力线方向平行），四个图要求的均为金属棒两端的电势差。

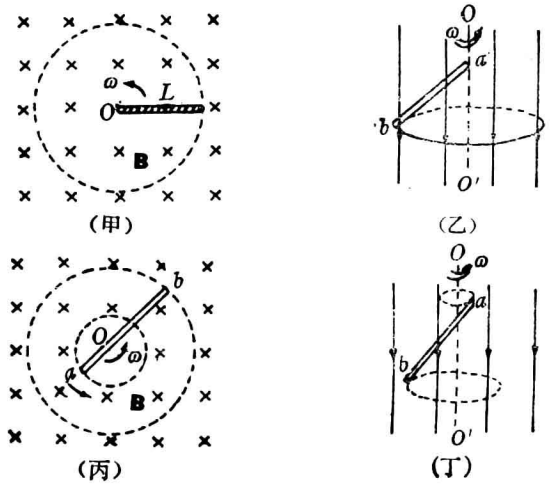


图 3—33

上述系列题中，最关键的题是图(甲)，该题思路有两条：

一条是“磁通量变化”的途径。由于金属棒中没有产生电流，所以它两端的电势差就等于棒中的感生电动势。

由法拉第电磁感应定律“磁通量变化”公式

$$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=\frac{B\cdot\Delta S}{\Delta t}=\frac{B\cdot\pi L^2}{T}$$
$$=\frac{B\cdot\pi L^2}{\frac{2\pi}{\omega}}=\frac{1}{2}BL^2\omega$$

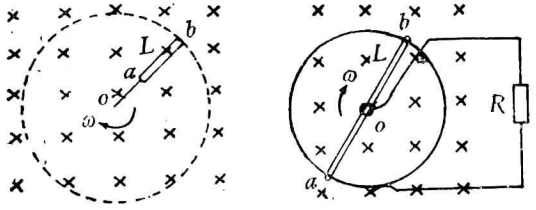
另一条是“切割磁力线”途径。即从金属棒切割磁力线考虑。由法拉第电磁感应定律“切割磁力线”公式

$$\varepsilon=B\cdot L\overline{v}\cdot\sin90^\circ=B\cdot L\overline{v}=B\cdot L\cdot\frac{L\omega}{2}$$
$$=\frac{1}{2}\cdot BL^2\cdot\omega$$

$\therefore\ U_a-U_b=\frac{1}{2}BL^2\omega$。

在此基本思路的基础上，思路很容易拓宽到图3—33（乙）、（丙）、（丁）几种情况，经过这样拓宽的训练，再遇到如图3—34所示情况，就能很快建立正确的解题思路。

（甲）图中，金属棒安在绝缘棒上，且绕绝缘棒端点旋转。（乙）图中，长为L的金属棒在金属圆环上旋转，已知磁感应强度B和负载电阻R，求感生电流。究竟如何建立解题思路，读者可以自行试试。



（甲）　　（乙）

图3—34

（2）都遵守某一规律的题。

这些题，虽然物理过程不相近，涉及的物理知识也不尽相同，但它们都遵守某一共同的规律。比如动量定理、机械能守恒定律、动能定理等。对于这类情况，我们可以理出一条共同的解题思路，使得思路不只是局限在某一节的局部知识上，而拓宽到整个中学物理知识范围。这种“多题一解”，促使我们的物理知识和解题思路向横向发展。

我们来分析下面的几个题目，看看能否有一个共同的解题思路，将其横穿起来。

*如图3—35所示，密度为2.0×10^3千克/米^{3}的石子，从离水面15米高处以10米/秒的初速度竖直落入水中，落到5米深处速度为10米/秒。如果空气阻力不计，求水的平均阻力和石子重量的比。

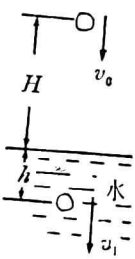


图3—35

*以v_0为初速度，竖直上抛一只质量$m=0.1$千克的小球，当小球返回出发点时，其速度大小为$v_0/4$。试求小球受到空气的平均阻力为多大？（g取10米/秒^2）

*如图3—36，小油珠q自D点受重力作用经C孔落入两板

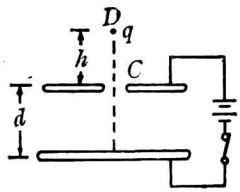


图3—36

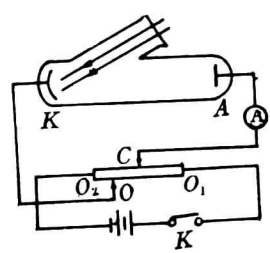


图3—37

间；h为20厘米，d为15厘米。油珠进入板间后，由于电场作用降落至下板时，速度恰好为零；油珠质量为3×10^{-9}千克，带电量为-8×10^{-14}库仑。求两板间的电场强度及电势差。

*用金属钠做阴极材料的光电管，连接到如图3—37所示电路中，已知能使钠产生光电效应的极限波长为5400埃，用波长为434毫微米的紫光照射阴极K。求将滑动变阻器的滑动头C，从图示的O_1位置向左移动过程中，到达A板的光电子的能量变化情况？截止电压多大？

稍加分析就可明白，这些题虽然分布在力学、电学和光的本性等有关章节，但它们的横向联系是能量关系，于是我们都可以通过动能定理很快建立正确的思路。

四、一题多议

一道题解完之后，结果经验讨无误，那么表明思路是正确的，可是思路是否最佳呢？如果思路较为简捷，那么在思考同类题目时应注意些什么？能否将成功的思路用于其它题目呢？总之，从各个方面议一议实践证明正确的解题思路，定会受益匪浅。

如图3—38所示，在两块竖直的平行金属板A、B上端的中点C处，放一带正电的小球。已知小球的质量$m=5\times10^{-6}$千克，带电量$q=-5\times10^{-8}$库仑。如果金属板A、B无限长，板间距离$d=0.04$米，板间电压$U_{AB}=400$伏，试问：

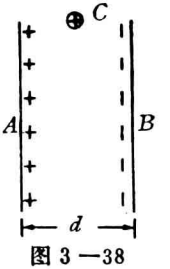


图3—38

(1) 带电小球从C点由静止下落后，在电场中运动的轨迹如何？

(2) 带电小球开始运动后经多少时间与金属板相碰？

一些同学建立的思路是这样的：由于物体初速度为零，在带电金属板间同时受二力：重力和电场力，于是它将沿合力方向作初速为零的匀加速直线运动，其轨迹是一条直线。于是可列方程

$$\begin{cases} a_x = \dfrac{F_{电}}{m} = \dfrac{qU_{AB}}{md} \\ \dfrac{1}{2}d = \dfrac{1}{2}a_x \cdot t^2 \end{cases}$$

经验算，其运算结果$t=0.02$秒是正确的。但是这些同学并没有认真思考自己的解题思路。不去思索多数同学为什么会错误地判断其轨迹是一条抛物线，而自己的思路为什么正确？要点是什么？因而再遇类似题目，思路就难以拓开，例如：

如图3—39所示，在两块竖直放置的平行金属板A、B上端中点C的正上方（$h=1.25$米）D点处，放一带正电荷的小球，小球质量$m=5\times10^{-6}$千克，带电量$q=5\times10^{-8}$库仑，板间距离$d=0.04$米，板间电压$U_{AB}=400$伏，两板仍为无限长．试问：

(1) 带电小球从D点由静止落下后，在电场中运动的轨迹如何？

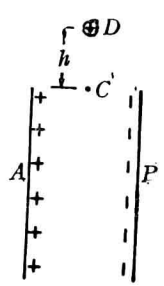


图3—39

（2）小球与金属板相碰时，离金属板上端的距离多大？（g取10米/秒^2）

这道题与前一题条件基本相同，仅是电荷q以某一初速进入板间电场。而且电荷在板间仍受电磁力和重力。一些同学由于受前一题思维定势的影响，将很快作出电荷运动轨迹是直线的错误判断，计算也必然错误。

如果在完成前一题后，回顾一下思路正确的重要因素是紧扣决定物体运动状态的条件，即初始状态和受力情况，那么在形成这道题的思路时，就不会局限在初速为零的状况，而把思路拓宽到当初速不为零的状况，甚至还能把握初速v_0与电场力和重力合力$F_{合}$同向，或v_0与$F_{合}$成一角度，这两种情况下运动的性质。前者是初速不为零的匀加速直线运动，后者是类似斜抛运动。

本题的小球正是作类似斜下抛运动，其轨迹是一条抛物线。

根据运动的独立性原理，类似斜下抛运动，在竖直方向上可列方程组

$$\begin{cases} v_0=\sqrt{2gh_0} \\ h=v_0t+\dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

这才是本题的正确思路。可见，多议正确的思路能拓宽思路，提高运用知识的灵活性。但是，我们也不应忽视多议那些错误的解题思路，分析思路错在什么地方，以便从中得到启示。

小方块A由静止沿光滑弧道滑下至最低点E，又沿摩擦系数为$\mu=0.1$的水平面前进。如图3—40所示，至F点与小

球B发生对心碰撞（$m_A=m_B$），碰撞过程中无能量损失。球B用长为l的细绳悬于水平面上方的O点。已知$h=2$米，$EF=2$米。若A、B规定只能相碰两次，则

（1）l应满足什么条件？

（2）A方块最后停在何处？

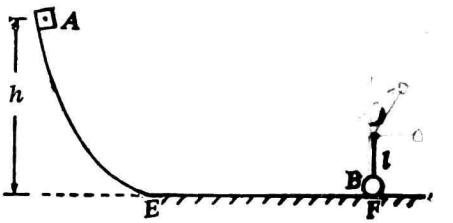


图 3—46

思路不宽的同学准会解错，其错误思路如下：方块滑下后，克服摩擦力以某一速度与球B发生弹性碰撞，碰后球B发生摆动，返回时再与A方块相碰……。

错在哪里？错在题给的物理过程没有透彻领会，错误判断球B被碰后只会象单摆一样摆动．思路没有覆盖到当速度足够大时球B能绕O点作圆周运动的情况，因而建立了错误的物理模型。随后的思路不用赘述，自然错了。

仔细议一议方块和小球碰后的运动，它们有哪些运动的可能呢？

当$m_A>m_B$时，A与B只能碰一次。

当$m_A\leqslant m_B$时，A与B可能再次相碰。

B球被碰后又会作哪些运动呢？

当球B碰后速度$v_B'\leqslant\sqrt{2gl}$时，球B摆动。

当球B碰后速度$v_B'\geqslant\sqrt{5gl}$时，球B作圆周运动。有兴趣的同学还可以思索一下：

当$\sqrt{2gl}<v_B'<\sqrt{5gl}$时，球$B$又将作何运动呢？

如果把细绳换成轻质细杆，情况又怎样呢？

经过这样从各方面对原题的思路进行一番议论，思路将会开阔起来，观察题述的物理过程的视线也会扩大，这就为全面正确解题提供了先决条件。

第四章

解题关键和突破口

解题的关键在哪里？关键在于明确题设物理图景、建立正确的解题方程。如何揭示解题关键？前面已经涉及了许多方法，本章想从技巧方面，谈谈这个问题。

揭示解题关键，首先就要牵涉到从哪里下手，解题的突破口在哪里？如何寻找解题突破口？这些问题也将在本章作小结性的论述。

第一节　揭示解题关键的技巧

一、物理技巧

1．正确选取参照物

运动学的习题中，牵涉到双体运动的题目一般难度都较大。这类题目，参照物的选取是否正确，往往对简化解题步骤起重要作用。例如：

一电梯匀加速上升，突然从电梯顶板上无阻力地落下一

个小球，经0.6秒落至电梯地板，已知电梯高2米，那么电梯上升的加速度约为多大？（g取10米/秒^2）

解答此题，若选电梯为参照物，则小球相对电梯作初速为零的匀加速直线运动，加速度$a'=a+g$，因此，可列方程

$$h=\frac{1}{2}(g+a)t^2$$

解得电梯加速度值$a\approx1.1$(米/秒^2)

这种解法是否简捷？读者不妨选地面作参照物，重解此题，进行比较。提示：小球作竖直上抛运动，电梯作初速不为零的匀加速直线运动，然后根据位移差求解。

例1 海面上一艘鱼雷快艇发现一敌舰在斜前方逃窜，它的方位在快艇正东偏北α角，航速为v_1，方向正北（如图4—1甲所示）。鱼雷在水中的速度为v_2（$v_2>v_1$）。试问快艇应超前敌舰多大角度发射鱼雷，才能命中敌舰？

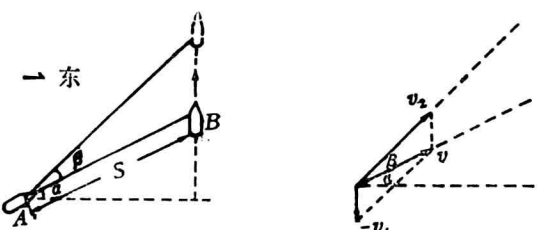


图4—1

分析 这类题目，通常选用地面或相对于地面静止的物体作参照物。本题如选海面作参照物，根据鱼雷击中敌舰的条件，可列方程组

$$x=S\cdot\cos\alpha$$

$$x=v_2\cdot\cos(\alpha+\beta)\cdot t$$
$$y=v_1\cdot t+S\cdot\sin\alpha$$
$$y=v_2\cdot\sin(\alpha+\beta)\cdot t$$

显然，解此方程组比较困难。如果选匀速运动的敌舰作为参照物，问题就简单得多。

解 以敌舰B为参照物，鱼雷A除了具有对海面的速度v_2，还具有相对敌舰B且与v_1等值反向的速度$-v_1$，于是鱼雷A相对敌舰B的速度为它们的合速度v（如图4—1乙所示）。由正弦定律

$$\frac{v_1}{\sin\beta}=\frac{v_2}{\sin(90^\circ+\alpha)}$$

解得鱼雷超前角$\beta=\arcsin(\frac{v_1}{v_2}\cdot\cos\alpha)$。

2. 等效电路的简捷作法

在中学物理直流电路的有关计算中，同学最感困难的是，怎样将形式复杂的混联电路改画成串、并联关系明显的等效电路。

画等效电路的方法很多，相比之下“独立支路法”比较简捷。这种方法的原则是：

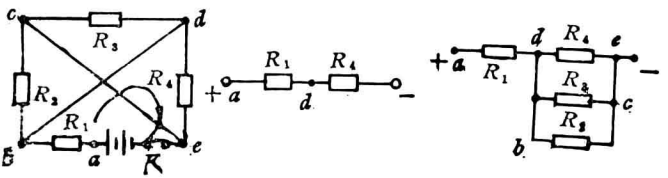
（1）独立支路的条数和选择方法的确定准则。在外电路，电流总是从电源正极开始，沿着电势降低的方向流动。在不重复经过同一电阻的原则下，有几条路可以流回负极，就有几条独立支路。

（2）选择最佳方案的依据。在选择独立支路时，应选独立支路条数尽可能多，每条独立支路中包含的电阻个数尽可

能多的方案。

（3）剩余电阻在等效电路中位置的确定方法。未包含在独立支路内的其它剩余电阻的接法，由它们的两端在独立支路中的电势决定。

例2 试画出图4—2（甲）的等效电路。



（甲） （乙） （丙）

图4—2

解 根据上述三条原则，作等效电路的步骤如下：

（1）分析电路中各点电势高低，确定独立支路的选择方案的个数。由图可知，U_a最高，U_e最低，$U_b=U_d$，$U_c=U_e$。所以U_a高于U_b（或U_d），U_d（或U_b）高于U_c或U_e。因为R_1在干路上，所以独立支路只能有一条。选择方案有：（+）→R_1→R_2→(−)；(+)→R_1→R_4→(−)；(+)→R_1→R_3→(−)。

（2）选取最佳方案，由于上述三种方案电阻的个数相等，因此三种方案等价。若选第二种，则画图如4—2（乙）。

（3）根据第三条原则，确定剩余电阻R_2、R_3的位置。因为$U_b=U_d$、$U_c=U_e$，因此R_2、R_3与R_4并联，作图如4—2（丙）。

下面再举几个画等效电路的题目，同学们可以根据上述原则，模仿例题，作一作。

* 试画出图 4—3（甲）的等效电路。

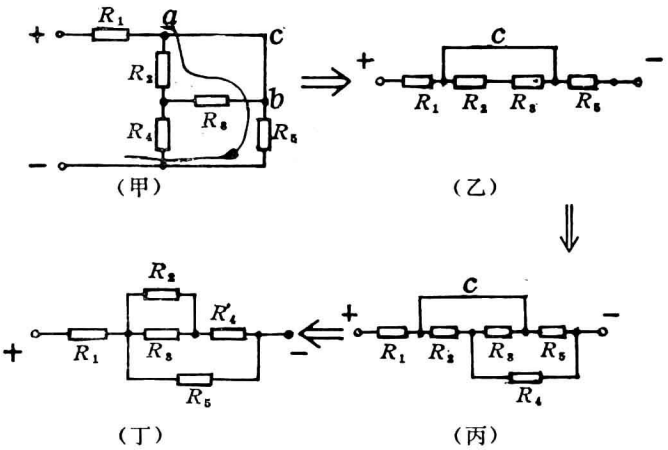


图 4—3

* 试画出图 4—4（甲）的等效电路。

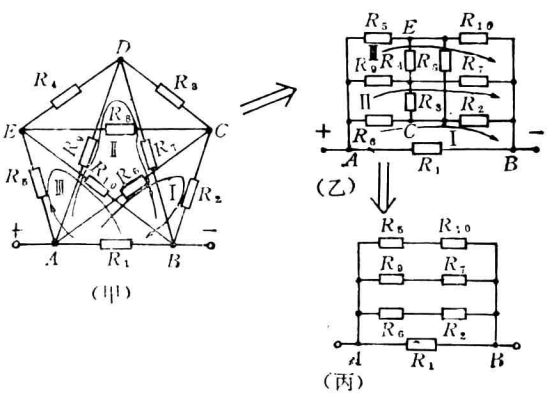


图 4—4

3. 对称法

物理学中也存在着对称法，它表明物理规律在某种变换下具有不变性。现代物理学证明，物理规律的每一种对称性，都存在一个守恒定律与之对应。例如物理规律不随时间推移和空间平移而变化，与之相对应的是能量守恒定律和动量守恒定律。又如竖直上抛运动，在不计空气阻力的情况下，它运动到最高点时，将时间反演，对称性表现为：

(1) 抛体经某一高度时，上行和下行的速度大小相等而方向相反。

(2) 抛体在通过任意一段竖直距离时，上行或下行的时间相等。

下面举两个例子说明。

例3 一支步枪的发射速度是30米/秒，若每隔一秒竖直向上发射一发子弹，在空气阻力不计的条件下，试求：

(1) 第一颗子弹经多久才能与第二颗子弹在空中相遇？(设子弹在空中不相碰，g取10米/秒^2)

(2) 后发的这些子弹在距地面多高的地方依次与第一颗子弹相遇？(设子弹在空中不相碰，g取10米/秒^2)

解 (1) 根据对称性质(1)，两子弹经t秒在空中相遇，则

$$v_1=v_0-gt$$

$$v_2=v_0-g(t-1)$$

$\because\ v_1=-v_2,\quad \therefore\ v_0-gt=-[v_0-g(t-1)]$

解得 $t=3.5$(秒)

(2) 子弹在空中飞行时间

$$t'=2t_{上}=2\cdot\frac{v_0}{g}=2\times\frac{30}{10}=6\text{(秒)}$$

即在第一颗子弹落地前，将有6颗子弹发射；它们与第一颗子弹的发射时间相隔分别为1秒、2秒、3秒、4秒、5秒、6秒。根据对称性质(2)，第一颗子弹从最高点下落0.5秒、1.0秒、1.5秒、2.0秒、2.5秒时会与后发的子弹相遇。相遇时距地面高度

$$h=H-\frac{1}{2}gt^2=\frac{v_0^2}{2g}-\frac{1}{2}gt^2$$

代入数值即得：$h_1=43.75$米，$h_2=40$米，$h_3=33.75$米，$h_4=25$米，$h_5=13.75$米。

光学中，光路具有时间反演不变性，通常称之为光路的可逆性。利用光路的可逆性质，往往给解题带来极大方便。

例4 在平静的水面上，浮着一块静止的半径$R=1$米的薄圆木板(如图4—5所示)。已知水深$H=5.3$米，水的折射率为4/3。问将一点光源S放在薄圆木板圆心的正上方何处时，水池平底上的影子半径R'为最大？这个高度h'多大？

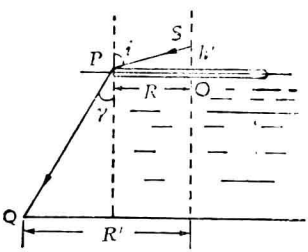


图4—5

解法1 一般解法。

遵照题意画示意图。影子的最大半径

$$R'=R+H\mathrm{tg}\gamma$$

又 $$\mathrm{tg}\gamma=\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma}=\frac{\sin\gamma}{\sqrt{1-\sin^2\gamma}}$$

由折射率 $$n=\frac{\sin i}{\sin\gamma}$$ 得 $$\sin\gamma=\frac{\sin i}{n}$$

上式中$$\sin i=\frac{R}{\sqrt{R^2+h'^2}}$$

$$\therefore \quad \mathrm{tg}\gamma = \frac{\sin\gamma}{\sqrt{1-\sin^2\gamma}} = \frac{\sin i/n}{\sqrt{1-\sin^2 i/n^2}}$$

$$= \frac{R}{\sqrt{n^2h'^2+R^2(n^2-1)}}$$

则 $$R' = R + H\mathrm{tg}\gamma = R + \frac{RH}{\sqrt{n^2h'^2+R^2(n^2-1)}}。$$

当分母取最小值时，R'值最大。由上式可知，只有当$h'=0$时，影子半径R'值最大。即光源应置于圆板的圆心处。

解法 2 用对称法，即可逆法求解。

光源S置圆木板上方，光路是$S\to P\to Q$（Q为影区的边缘）。影子半径R'最大，必定对应于γ角最大。

根据光路可逆，当光从$Q\to P$时，γ最大值必定为临界角，此时折射光线沿水面。反过来，光源S置于圆板正中央O点，SP光线入射角接近90°，则折射角$\gamma=A$（临界角），相应R'达最大。显而易见，光源S置于板的圆心上，即高度$h'=0$时，水池底圆板影子半径R'为最大。

通过本题解法1和2的比较，可见利用对称法解题相对要简捷方便些。但在具体应用对称法解题时，请读者注意两点：

（1）应用物体运动的可逆性解题的条件，是物体运动过程中无损耗力（如摩擦力、空气阻力）存在，否则就不能用运动的对称性去解题。

（2）除了物体运动和光路具有对称性以外，弹簧也具有对称性，某些电路也具有对称性。

4. 估算法

谁都会知道“九牛”与“一毛”相比，一毛的质量小得

不值一提。物理习题中，也存在这种处理问题的情况，比如从屋顶上落下的小石块，它的运动规律如何？石块受重力G和空气阻力f作用，通常$f \ll G$，因而空气阻力略去不计。石块的运动从而近似作为自由落体运动。这样算出的一些量与在真空中实验的量相差极小。当然这种近似处理是有条件的，如果物体很大，质量较小，又从很高处落下，运动的加速度就不再与重力加速度接近，此时下落运动不能再近似为自由落体了。

物理解题中，这种有条件的近似的定量计算方法，称为估算法。估算能使复杂问题简单化，也是一种解答物理习题的常用方法。

例5 估算地球的质量（最后结果取1位有效数字）。

解 物体的重量是地球对物体的引力的一个分力，如果在结果中只需取1位有效数字，则可把物体重量当作地球对物体的引力来估算地球的质量。即

$$mg \approx G \cdot \frac{mM}{R^2}$$

于是地球质量

$$M \approx \frac{gR^2}{G} \approx \frac{9.8 \times (6400 \times 10^3)^2}{6.67 \times 10^{-11}}$$

$$\approx 6 \times 10^{24}(\text{千克})$$

这是近似值，现在大家公认的地球质量是5.977×10^{24}千克，如果以1位有效数字取值，则估算结果与精确计算相同，但运算途径要简便得多。

例6 我国已成功发射了同步地球通讯卫星。试估算同步地球卫星的运行高度。

解 同步卫星的角速度等于地球自转角速度，即

$$\omega_{卫}=\omega_{地}=\frac{2\pi}{T_{地}^{2}} \tag{1}$$

卫星所处的高度，必须使地球的引力刚好是卫星作圆周运动所需的向心力，即

$$m\cdot r\omega_{卫}^{2}=G\frac{M_{地}\cdot m}{r^{2}} \tag{2}$$

上式中$M_{地}$是未知数，需利用例 7 进行估算，列式

$$mg\approx G\cdot\frac{M_{地}\cdot m}{R_{地}^{2}} \tag{3}$$

由(1)、(2)、(3)式解得卫星运行轨道半径

$$r=\sqrt[3]{\frac{T_{地}^{2}\cdot R_{地}^{2}\cdot g}{4\pi^{2}}}$$

$$=\sqrt[3]{\frac{(24\times3600)^{2}\times(6400\times10^{3})^{2}\times9.8}{4\times3.14^{2}}}$$

$$\approx4.2\times10^{7}(米)$$

因此，同步地球卫星的运行高度

$$h=r-R_{地}\approx4.2\times10^{7}-0.64\times10^{7}$$

$$\approx3.6\times10^{7}(米)$$

例 7 图 4—6 是一个研究灵敏电流计的实验电路。各电阻数值如图所示。试求：

(1) 当K合上时，估算电源ε的外电阻；

(2) 当K断开时，估算电流计的分流电阻。

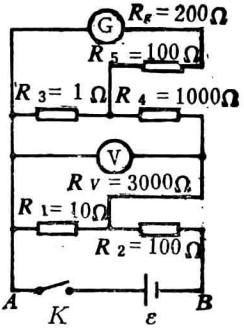
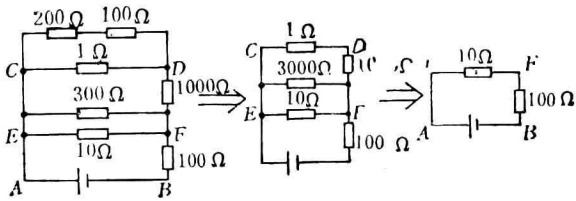


图 4—6

解 (1) 当K合上，电源 ε 的外电阻是指整个电路除ε 以外

的所有电阻的总和，包括电流计和伏特计的内阻在内。为了解题方便，我们可以将图 4 — 6 画成等效电路图（如图 4 — 7 甲所示）。



（甲）　　（乙）　　（丙）

图 4 — 7

图中电流计内阻用一个200欧电阻替代，伏特表内阻用3000欧的电阻替代，整个电路共有七个电阻，如果用串、并联公式计算，显然过程非常繁杂。但是，若用估算法，问题就简单了。从图 4 — 7 甲的上方往下研究，R_x与R_0串联电阻为300欧，300欧又与1欧并联，其合电阻

$$R_{CD}=\frac{300\times 1}{300+1}\approx 1\text{（欧）}$$

上式表明并联电阻阻值悬殊时，并联后主要是小电阻起作用，电路变成图 4 — 7 乙，R_{EF}可视为1001 欧、3000欧和10欧三个电阻并联。同理，1001欧≫10欧，3000欧≫10欧，并联后主要是10欧电阻起作用，则$R_{EF}\approx$10欧。电路就演变成图 4 — 7 丙，最后剩下总电阻R_{AB}=110欧。

（2）K断开后，K与电源ε这条支路不起作用，此时电流计的分流电阻就是除电流计以外，所有电阻串并联以后的总电阻，即R_1、R_V、R_3、R_4和R_5等串并联后的等效电阻。读者不妨自己动手估算一下，估算的原则是，两电阻串联，且阻

值悬殊时，则阻值大的电阻起作用；并联则相反。

5．实验法

物理学是一门实验科学，物理实验对一些疑难问题的解答起重要作用。

比如有这样一道选择题：

从一定高度下落的乒乓球，碰到地板后弹起上升到某一高度，在整个过程中能量转化的顺序是

①势能——→动能——→势能。

②势能——→动能——→动能——→势能。

③势能——→动能——→势能——→动能——→势能。

这道题对于初中学生来说，算是一道难题，因为初中学生没有学习物体碰撞的知识，碰撞时乒乓球的弹性形变小，难以观察。因此，绝大多数同学可能会选择答案②，是吗？

事实并非如此。不妨借一个排球，充气不要太足，在桌面上弹几下，仔细观察，会发现排球与桌面接触时会陷凹一部分。如果排球陷凹形变不明显的话，再作模拟实验，即将球用手由上而下压向桌面，形变就够明显了。形变说明什么？说明排球刚接触桌面时，动能——→势能，片刻后球又恢复形变被弹起，说明势能——→动能。这样，实验帮助我们认识了乒乓球发生形变与恢复形变的整个过程，自然迅速地选择正确答案是(3)。

如图 4—8 所示，将细绳绕过两定滑轮A和B，绳的两端各挂一重量为G的物体，A、B的中点C挂一重量为Q的小球。已知$Q<2G$，AB的长度等于$2L$，求小球可能向下达到的最大距离。（滑轮及绳的质量、绳与滑轮间的摩擦力

不计）

这道题很容易被误认为是静力学问题，认为小球处于平衡（合力为零）位置时，该点离C的距离为小球下降的最大距离。

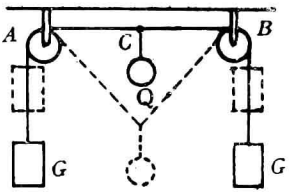


图4—8

实际情况是不是这样呢？如果照图示装置做实验，先可以让它们处于静止状态，即小球平衡在某一高度，在其旁边做一个记号，然后按题叙过程让小球从C点向下运动，结果发现小球经过记号处并没有立刻停止，而是继续运动到某一位置才暂时停下。

为什么不在平衡点立刻停止呢？原来在平衡点处，Q和G都还具有动能，要继续向系统的势能转化，直到$E_K=0$时，速度降为零。根据能量守恒定律可列方程

$$-Qh+2G(\sqrt{h^2+L^2}-L)=0$$

式中$\sqrt{h^2+L^2}-L$为G上升的高度。

解方程可得　$h=0$　　（不合题意）

$$h=\frac{4GQL}{4G^2-Q^2}\ .$$

实验法不仅能给物理题，还能给数学题带来解题方便。

一段公路呈光滑曲线形（如图4—9所示）。现为A、B居民点设一汽车招呼站，使A、B两居民点到招呼站的距离之和最小。试问：汽车招呼站应建造在哪里？

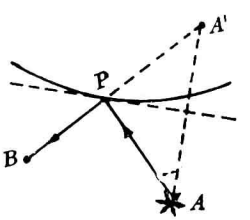


图4—9

这道题若用数学方法来解比较复杂，甚至要用高等数学知识，若用物理实验方法，就显得直观简捷。

实验法是这样的：在桌上放一个反光的柱面，柱面底的形状和公路形状相同，当按比例缩小，再按相同的比例将A、B与公路的实际位置在桌上定出A、B的实验位置，然后在点A处放一小光源，再从点B看柱面，很快可观察到光源A经柱面反射入眼的光的反射点P，然后将模拟实验按比例还原出反射点的实际对应位置，这就是招呼站应设的位置。

二、数学技巧

物理解题中应用到的数学技巧比较多，通常应用的有算术法、图象法、代数法、三角函数法、解析几何法、极限法、极值法……等等，这里不一一枚举，只从解题技巧的角度出发，通过举例说明如何针对不同的问题采取相应的数学方法，以达简捷解题之目的。

1．比较法

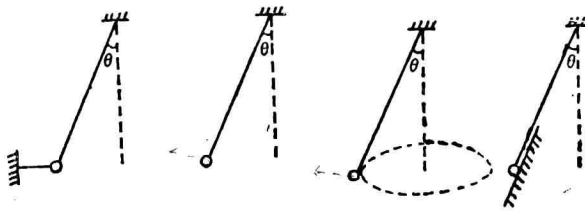
对一些有关联的物理问题，用比较的方法，分析它们的共同性和各自的特殊性，找出内在联系，使解题简便。

例8 如图4—10所示各种情况，球质量相等，悬线等长且偏角均为θ。图(1)水平方向有细线系拉小球，图(2)则为水平拉线被剪断瞬间；图(3)中球作圆锥摆运动；图(4)中球靠在斜面上，斜面与悬线平行。分析各图，悬线张力将是：

① $T_1=T_2=T_3=T_4$；　② $T_1=T_4$，$T_2=T_3$；

③ $T_1<T_2$，$T_4>T_3$；　④ $T_3>T_4$，$T_1>T_2$，

解 比较四个小球的运动状态，可知图(1)与(3)是类似



（1） （2） （3） （4）

图 4—10

的，图(2)与(4)是类似的，于是只需比较图(1)和(2)。设小球质量为m，则悬线张力分别为$T_1=\frac{mg}{\cos\theta}$和$T_2=mg\cos\theta$。所以$T_1>T_2$，比较而得$T_3>T_4$。

例 9 把自由落体的高度分成相等的三段，则经过这三段的时间之比是：

① $1:\sqrt{2}-1:\sqrt{3}-\sqrt{2}$；② $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$；

③ $1:2:3$；④ $1:4:9$；⑤ $1:3:5$。

解 这道选择题若用计算的方法来判断，比较麻烦。如果用比较法，则很快发现五个答案中后四个答案有共同的特点，即比例式的前项小于后项，唯独第一个答案，比例式的前项大于后项。自由落体运动中，速度会越来越大，通过相等距离所经历的时间也就越来越小。因此，很快得出正确的答案是(1)。

例10 从显像管电子枪射出的电子束中，每个电子具有1.2×10^4电子伏特的能量。显像管的放置方向如图 4—11所示。电子束水平地由南向北运动，由于存在着地磁场（已知地磁场的垂直向下的分量是$B=5.5\times10^{-5}$特斯拉），电子束

将偏转。

(1)由于地磁场的作用，电子束将向什么方向偏转？

(2)如果电子枪口与萤光屏之间的距离是$L=20$厘米，试问当电子到达萤光屏时，对直线路（图中为虚线方向）来讲，将偏移多远？

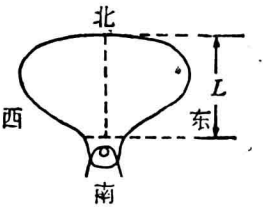


图 4—11

错解 (1) 电子由南→北，相当于电流由北→南，根据左手定则判断出电子束向东偏转。

(2)
$$\begin{cases} f_{洛}=Bqv=ma \\ E_k=\dfrac{1}{2}mv^2 \end{cases}$$

由上述二式解得电子速度$v=0.65\times10^8$(米/秒)，加速度$a=6.29\times10^{14}$(米/秒^2)。

又 $$t=\frac{L}{v}=\frac{0.2}{6.5\times10^7}=0.03\times10^{-7}(秒)$$

偏转距离

$$\Delta x=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times6.29\times10^{14}\times(0.3\times10^{-8})^2$$
$$=0.28\times10^{-2}(米)$$

上述解答对吗？我们用比较法来检验。题述电子是在磁场力作用下发生偏转，而不是在电场中偏转；磁偏转电子作的是圆周运动，电偏转电子作的是类似平抛运动。解答中将电子开始在磁场力作用下获得的加速度，作为偏转水平侧移加速度，这就错了。

通过磁偏转与电偏转的比较，正确的解答就会不难得到。

正确解法 如图 4—12所示，电子偏转轨迹（圆弧）的半径

$$r=\frac{mv}{qB}=\frac{9.1\times10^{-31}\times0.65\times10^{8}}{1.6\times10^{-19}\times5.5\times10^{-5}}=6.72(\text{米})$$

又 $d=\sqrt{r^2-L^2}=\sqrt{6.72^2-0.2^2}$

$=6.717(\text{米})$

$\therefore\ \Delta x=r-d=6.72-6.717$

$=0.3\times10^{-2}(\text{米})$

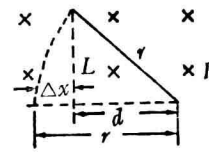


图 4—12

从结果来看似乎数值相近，但需明确，这是本质不同的偏转，不可混淆。

例11 如图 4—13所示，两端封闭、粗细均匀的玻璃管内，有一长为 L 的水银柱将管内空气分为两部分。将管与水平方向摆成 α 角，待稳定后，全部浸入热水中，水银柱将向什么方向移动？

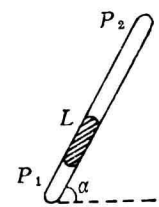


图 4—13

解 假设被水银隔开的上下两部分气体体积不变，比较水银两方的压强在升温后有何变化，然后判断水银柱的移动方向。

设上、下方气体原温度为 T 时，压强分别为 P_2 和 P_1，升温后，即 T' 时，压强分别为 P'_2、P'_1。

初状态 T 时，$P_1=P_2+L\cdot\sin\alpha$

末状态 T' 时，根据查理定理，得到在假设体积不变的条件下，两部分气体的压强

$$P'_1=\frac{T'}{T}\cdot P_1\text{和}\ P'_2=\frac{T'}{T}\cdot P_2$$

$$\therefore \quad P_1' = \frac{T'}{T} \cdot (P_2 + L \cdot \sin\alpha)$$

$$= \frac{T'}{T} P_2 + \frac{T'}{T} L \cdot \sin\alpha$$

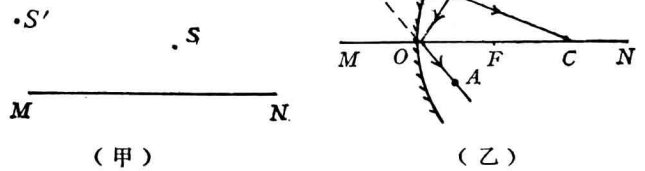
$$= P_2' + \frac{T'}{T} \cdot L \cdot \sin\alpha > P_2' + L \cdot \sin\alpha$$

由此可见，水银柱向上移动。

2．图解法

通过作图及相应的计算求解物理问题的方法，称之图解法。

例如图 4—14甲中，S'是球面镜所成的像点，S为一发光点，MN线为球面镜的主轴。如果要问球面镜的顶点O在哪里？球心C和焦点F的位置又在哪里？像是虚像还是实像？我们用什么方法解答呢？读者可先试一试。



（甲）　　（乙）

图 4—14

这里我们采取图解法。由题意可知，像点S'和物点S同在主轴上方，且像点离主轴较物点离主轴远。因此，像点是属于放大虚像的情况，于是面镜可以断定是凹面镜，作图步骤如下。

先用铅笔连线段$S'S$，并延长与主轴交于一点，这就是

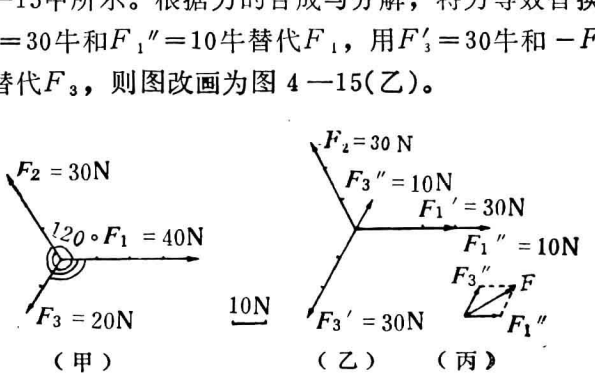
球面镜的球心位置C。然后找出镜的顶点，以主轴为对称轴，找物点S的对称点A。连接$S'A$线段并适当延长，与主轴的交点就是面镜的顶点O。以OC为半径画面镜，取半径OC的中点F，便是面镜的焦点。

最后，用钢笔画虚、实线完成光路图（如图4—14乙所示），问题得解。

读者想想，图解的道理在哪里。

例12 20牛顿、30牛顿和40牛顿的三个力作用于物体的同一点，它们之间的夹角都是120°，求合力的大小和方向。

解 这是高中教材中的一道题目。根据题意画力的图示，如图4—15甲所示。根据力的合成与分解，将力等效替换，即用$F_1'=30$牛和$F_1''=10$牛替代F_1，用$F_3'=30$牛和$-F_3''=10$牛替代F_3，则图改画为图4—15(乙)。



（甲） （乙） （丙）

图 4—15

这样，三个力变成五个力。因为F_1'、F_2和F_3'三个力大小相等、方向交成120°角，其合力必为零。剩下F_1''与F_3''二力再求合力，画力的图示（如图4—15丙），$F_1''=F_3''=10$牛，交角为60°，根据三角知识，合力$F=10\sqrt{3}$牛$=17.3$牛。

例13 轮船用10分钟的时间垂直横渡过600米宽的河流。已知轮船用2米/秒的速度(方向跟河岸成一定角度)航行，求水流的速度及轮船航向与河岸的夹角。

解 该题属速度合成问题。船在水中同时要作两个方向运动：一是沿与岸成α角的方向作速度$v_1=2$米/秒的匀速运动；另一是随水匀速下淌，速度$v_2=v_{水}$。结果船表现为垂直河岸的合速度。

建立坐标，x轴为水流方向即河岸走向，y轴为横渡方向；取单位长为1米/秒，在y轴上取OA即合速度v，过A点作x轴平行线AD；再以2米/秒为单位长，以O为圆心画弧交AD线于B点，连OB即为v_1。过A点作OB平行线AC，则OC即为水速。α为轮船航向与河岸夹角(如图4—16所示)，数据可以由图测得。为了取得稍精确数据，可以作如下计算：

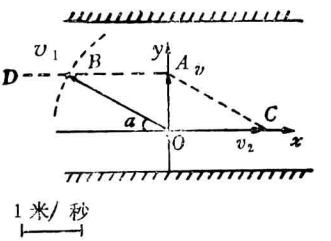


图 4—16

$$\alpha=\arcsin\frac{v}{v_1}=\arcsin\frac{1}{2}=30^\circ$$

$$v_{水}=v_2=v_1\cdot\cos30^\circ=1.73(米/秒)$$

上述二例都属力学中利用矢量合成和分解来解题，力学中还常利用运动图线来解题，前面几章中已作过介绍，这里不再重复。除此，图解法在电学和光学中也常被应用。

例14 求电阻$R_1=40$欧和$R_2=60$欧并联后的总电阻。

解 第1种图解方法：

在坐标纸上画任意长线段AB，分别过A、B点作AB线

的垂线，并以标准长度单位取$AC=R_1=40$欧，取$BD=R_2=60$欧（如图4—17所示）。分别连BC和AD交于E点，由E引AB的垂线EF，则EF的长度即表示R_1和R_2的总电阻值，即

$$R=EF=24\text{欧}$$

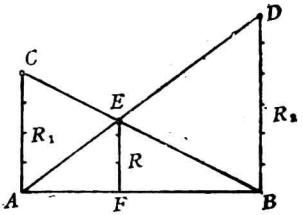


图4—17

这与计算结果相符。为什么可以这样图解呢？道理很简单：

$$\because\quad \triangle AFE\sim\triangle ABD,\ \therefore\quad \frac{AF}{EF}=\frac{AB}{BD}\qquad (1)$$

$$\text{又}\because\quad \triangle BFE\sim\triangle BAC,\ \therefore\quad \frac{BF}{EF}=\frac{AB}{AC}\qquad (2)$$

$$(1)+(2):\quad \frac{AF}{EF}+\frac{BF}{EF}=\frac{AB}{BD}+\frac{AB}{AC}$$

$$\therefore\quad \frac{AB}{EF}=\frac{AB}{AC}+\frac{AB}{BD},\ \text{即}\quad \frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

第2种图解方法：

如图4—18所示，在直角坐标系xoy中，在x轴上取$OA=R_1=40$欧，在y轴上取$OB=R_2=60$欧，OC为$\angle xoy$（直角）的平分线，且交AB于E，则EF的长度表示并联总电阻，即

$$R=EF=24\text{欧}$$

这种图解方法为什么可以求并联总电阻？请读者自证。

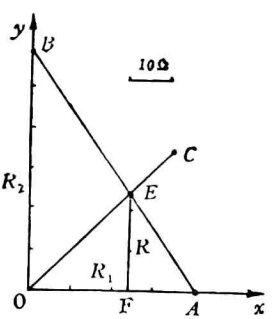


图4—18

例14是两个电阻并联的情况，若多个电阻并联求总电阻怎

么办？基本方法还是一样。比如三个电阻并联，这种情况请看图4—19。R_{12}是R_1与R_2的合电阻，R_{123}则是R_1、R_2、R_3等的并联总电阻。其余由此类推。

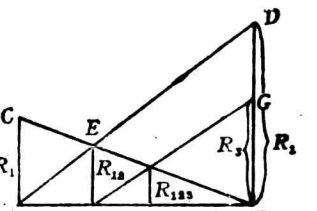


图4—19

这种图解法对于光学问题也是适用的，比如求透镜成像的焦距。成像公式$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$具备并联电阻的求解公式，方法雷同。

3．比例法

物理量间的关系常用比例形式给出，如牛顿第二定律$F=ma$，若m一定，则$a\propto F$，即$a_1/a_2=F_1/F_2$；同样，若a一定，则对于不同质量的物体，也可以写成比例式$F_1/F_2=m_1/m_2$。这种比例关系简单。

又如单摆振动周期$T=2\pi\sqrt{L/g}$，比较两个单摆振动周期，则可列比例关系如下：

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}}\cdot\frac{\sqrt{g_2}}{\sqrt{g_1}}$$

这种比例关系稍微复杂些。如果解题中，善于用比例法，则往往使解题明确简单。

例15 三个电容器，$C_1=1$微法、$C_2=2$微法、$C_3=3$微法，把它们串联在220伏的电源上，求每个电容器两端的电压？

解 一般解法是先求总电容，后算电容器极板上电量，

最后根据电容量和电量再算电压。

我们用比例法，根据串联电容器带电量相等，于是可列比例式

$$U_1 : U_2 : U_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3} = 6 : 3 : 2$$

所以，$U_1 = \frac{6}{6+3+2} \times 220 = 120$（伏）

$$U_2 = \frac{3}{6+3+2} \times 220 = 60\text{（伏）}$$

$$U_3 = \frac{2}{6+3+2} \times 220 = 40\text{（伏）}$$

例16 用一根电阻丝绕制成的电炉，10分钟就可以把一壶水煮沸，如果把这根电阻丝均匀拉长为原来的2倍，接到同一电源上，加热同样一壶水，需要多长时间水才能煮沸？（热损耗不计）

解 设电阻丝拉长前后的长度、横截面积及电阻分别为L_1、S_1、R_1和L_2、S_2、R_2。因形变前后总体积不变，所以$L_1S_1 = L_2S_2$。又由电阻定律得 $R_1 = \rho L_1/S_1$和$R_2 = \rho L_2/S_2$。于是电阻之比

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho L_2/S_2}{\rho L_1/S_1} = \frac{L_2S_1}{L_1S_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2$$

所以，$R_2 = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2 \cdot R_1 = 2^2 \times R_1 = 4R_1$

又根据电热关系，煮沸一壶水所需热量

$$Q = \frac{U^2}{R_1} \cdot t_1$$

即 $\frac{t_1}{R_1} = \frac{Q}{U^2} =$ 恒量

所以 $t_2/R_2=t_1/R_1$

$$t_2=(t_1/R_1)\cdot R_2=(R_2/R_1)\cdot t_1=4\times 10$$
$$=40\text{（分钟）}$$

运用比例法，可以加深对物理概念和规律的理解；反之，概念清楚、规律明确，则能得心应手地使用比例法，提高解题速度。

例17 一半径是地球的3倍、质量是地球的36倍的星体，它表面的“重力”加速度是地球的：

① 18倍；② 9倍；③ 4倍；④ 1/9倍。

解

$$\frac{g_{星}}{g_{地}}=\frac{M_{星}}{M_{地}}\cdot\left(\frac{R_{地}}{R_{星}}\right)^2=36\times\left(\frac{1}{3}\right)^2=4$$

这题用比例法运算多么简捷，可是这必须对万有引力定律有较深刻的理解，脑海里很快浮现下列变换式：

$$\because\quad F_{地}=mg_{地}=G\cdot\frac{mM_{地}}{R^2_{地}}$$

$$\therefore\quad g_{地}=G\frac{M_{地}}{R^2_{地}}$$

运用比例法解题时，如果题中未知量较多，则可先假设未知量已知，且用相应物理量符号表示，以后在比例运算中，往往会自然消去。

例18 在容积相等的绝热的玻璃容器中，各封入1大气压、27℃的同种气体，容器A中置有电阻$R_A=50$欧的电阻丝，容器B中置有电阻为R_B的电阻丝（如图4—20所示）。当通相同时间

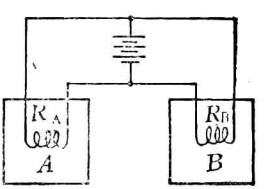


图4—20

的电流时，电阻丝产生的热量全部为气体所吸收；容器的热膨胀不计，A中气体压强变为1.05大气压，B中气体压强变为1.15大气压。求R_B的值。

解 设容器A、B加热前状态量分别为p_A、T_A，p_B、T_B，加热后状态量分别为p_A'、T_A'，p_B'、T_B'。由等容变化遵从的查理定律

$$\frac{p_A'}{T_A'}=\frac{p_A}{T_A}$$

知 $$T_A'=\frac{p_A'}{p_A}\cdot T_A=\frac{1.05}{1}\times 300$$

$$=315(\mathrm{K})$$

同理 $$T_B'=\frac{p_B'}{p_B}\cdot T_B=\frac{1.15}{1}\times 300=345(\mathrm{K})$$

A、B容器温升分别为

$\Delta T_A=15\mathrm{K}$，$\Delta t_A=15℃$；

$\Delta T_B=45\mathrm{K}$，$\Delta t_B=45℃$。

两电阻丝产生热量比

$$\frac{Q_A}{Q_B}=\frac{cm\Delta t_A}{cm\Delta t_B}=\frac{(U^2/R_A)\cdot t}{(U^2/R_B)\cdot t}$$

式中t为通电加热时间，c为气体比热，m为气体质量，

$$\therefore\quad \frac{R_B}{R_A}=\frac{\Delta t_A}{\Delta t_B}=\frac{15}{45},\quad R_B=\frac{1}{3}R_A=\frac{1}{3}\times 50=16.7(\text{欧})$$

4. 极值法

极值法是中学物理中广泛应用的一种重要的数学方法，包括条件法、代数法、三角法、几何法和求导法，这里仅通过几个例题加以说明。

例19 一个光滑的圆锥体固定在水平的桌面上，其轴线沿竖直方向，母线与轴线之间的夹角$\theta=30°$（如图4—21甲所示）。一条长度为L的绳子（质量不计），一端固定在圆锥体的顶点O处，另一端拴着一个质量为m的小物体（物体可看作质点），绕锥体的轴线作水平匀速圆周运动且始终未离开锥面，求：

（1）物体最大线速度v_m；（2）绳子对物体最大拉力。



（甲）　　（乙）

图4—21

分析 这是一道动力学问题，涉及力的分析、匀速圆周运动和牛顿定律等知识。题求绳对物的最大拉力T_m和物体最大线速度v_m。何时才能达到这种临界状态呢？首要问题是要寻找达T_m和v_m的条件，这种求极值的方法叫条件法。

如图4—21（乙）所示，物体在斜面上，受重力、绳子拉力和锥面弹力，线速度最大时，必是物体欲离锥面又未离锥面的临界状态。此时锥面对物体的弹力$N=0$，这就是线速度达最大的条件。当$v\to v_m$时，绳子的张力也必然最大，于是可列方程

$$\begin{cases} T\cdot\sin\theta=mv^2/L\cdot\sin\theta \\ T\cdot\cos\theta=mg \end{cases}$$

解方程可得T_m和v_m。

例20 一个宇航员连同装备，总质量为$M=100$千克，他在与飞船相距$d=45$米的地方，与飞船处于相对静止的飞行状态之中。在他的贮氧筒中还有$m_0=0.5$千克的氧气。氧气除使他呼吸外，在他返回飞船时，还必须向相反方向释放氧气。为此，贮氧筒有一个可以使氧气以$v=50$米/秒的速度喷出的特别喷嘴。如果宇航员呼吸的耗氧率为$R=2.5\times10^{-4}$千克/秒，试问宇航员要安全返回到飞船中，向宇宙空间放出的氧气至少是多少？最多只能是多少？相应的最短时间与最长时间各是多少？

解 这是高中物理甲种本上一道动量习题改编题，读者可先自己解一解，然后再往下看。

设宇航员获得返回飞船的速度为V，返回时向宇宙空间放出的氧气质量是m，根据动量守恒定律，数值上有下列关系

$$(M-m)V=mv$$

因为$m\ll M$，所以上式变为$MV=mv$，即

$$V=\frac{m}{M}\cdot v$$

返回所需的飞行时间

$$t=\frac{d}{V}=\frac{Md}{mv}$$

剩余氧气可供宇航员呼吸使用的时间

$$t'=\frac{m_0-m}{R}$$

若要安全返回，必须是$t'\geqslant t$，即

$$\frac{m_0-m}{R}\geqslant\frac{Md}{mv}$$

整理得 $vm^2-m_0vm+RMd\leqslant 0$

解得 $\dfrac{m_0v-\sqrt{(m_0v)^2-4vMRd}}{2v}\leqslant m\leqslant$

$$\frac{m_0v+\sqrt{(m_0v)^2-4vRMd}}{2v}$$

将数值代入后得

0.05千克$\leqslant m\leqslant$0.45千克

相应得 200秒$\leqslant t\leqslant$1800秒

上述结果要解一元二次不等式求得，这种求极值的方法为代数法。初等数学中还有三角法，请看下例：

例21 如图4—22所示，OC为俯视的窗门，O点为转轴，AB为防风钩。AB与墙的夹角α为多大时，防风的效果最佳？

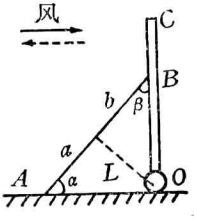


图4—22

解 防风的最佳效果是指在钩长一定的条件下，钩对窗门的力矩越大越好，即力臂L越大越好。于是问题归结为寻找L最大时的α角，因而列方程

$$\begin{cases}\operatorname{tg}\alpha=L/a & (1)\\ \operatorname{tg}\beta=L/b & (2)\end{cases}$$

将(1)+(2)、(1)×(2)并利用三角函数积与和转换公式综合整理得

$$L=\frac{a+b}{2}\sin 2\alpha$$

可见，当$\alpha=45°$时，力臂L趋向最大值，即

$$L_{max}=\frac{a+b}{2}=\frac{\overline{AB}}{2}$$

所以，防风效果最佳时，$\alpha=45°$。

用极值求解物理题的几种特殊方法中，还有一种是几何法，即用几何学中的一些极值规律来解物理问题。

例22 有一封闭软导线长为L，所张面积为零（如图4—23甲所示），现置于磁感应强度为B的匀强磁场中，当迅速在t秒内张开，所张曲线围成的平面与磁场垂直时，求所能产生的平均感生电动势的最大值。

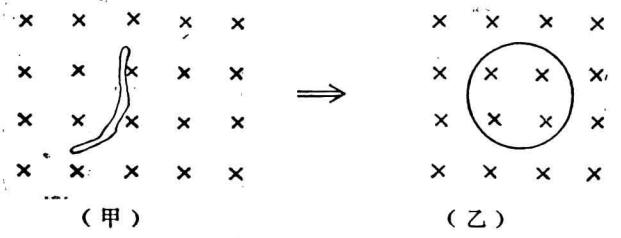


图4—23

解 根据平面几何知识可知，在周长一定的所有封闭平面曲线中，圆周所围的面积最大（如图4—23乙所示）。

根据法拉第电磁感应定律

$$\varepsilon=\frac{B\Delta S}{t}=\frac{B\pi(L/2\pi)^2}{t}=\frac{BL^2}{4\pi t}$$

以上是初等数学中求极值的几种基本方法，考虑到微分知识已出现在高中数学中，再举一例介绍求导法。

例23 一颗雨滴仅在重力作用下降落，同时均匀地蒸发着。试求雨滴下降经多少时间后的动能最大？

解 设雨滴开始落下时质量为m_0，单位时间内水蒸发的质量为K，下落t秒后动能为$E=\frac{1}{2}mv^2$，式中$m=m_0-Kt$为t秒后雨滴质量。雨滴下落质量尽管变化，加速度不变，仍

为重力加速度，于是t秒末速度$v=gt$，则t秒末雨滴动能

$$E=\frac{1}{2}(m_0-Kt)g^2t^2$$

$$E'(t)=\frac{1}{2}g^2(2m_0t-3Kt^2)=0$$

解得 $t=\frac{2m_0}{3K}$

又 $E''(t)=g^2(m_0-3Kt)$

$$=g^2(m_0-3K\frac{2m_0}{3K})<0$$

所以在 $t=\frac{2m_0}{3K}$时，动能E有极大值。

讨论 如果雨滴落地的时间为t_0，当$0<t<t_0$时，经$t=\frac{2m_0}{3K}$后，雨滴动能最大；当$t\geqslant t_0$，则$t=t_0$时，动能达最大。

第二节 怎样找到解题关键的突破口

抓住解题关键就是掌握了解题的核心，然而从哪里下手去抓关键呢？解题关键的“突破口”在哪里呢？如何去寻找呢？这又是解题关键的关键。

一、科学思维为寻找突破口导向

大量的题例表明，科学思维能帮助我们寻找揭示物理解题的关键，并能使解题简捷、巧妙。同样，寻找解题关键的突破口，科学思维方法也起着重要的向导作用。

例24 如图4—24甲所示是一分压器，已知电源的路端电压$U=120$伏，$R_1=500$欧，用电器所需的电压$U_3=70$伏，电流强度$I_3=0.03$安，求R_2应等于多少？



（甲） （乙）

图4—24

分析 为了便于分析，将原电路改画成等效电路（如图2—24乙所示），原分压电路改画成等效的R_2、R_3并联后与R_1串联电路。可以根据部分电路欧姆定律求解，但何处是突破口呢？我们采用数学中常用的一种逻辑思维方法——逆推法（即从要求的量开始向前分析，最后找到突破口），来分析这道题目。

该题要求的量是电阻R_2的值，寻找突破口的思路如下：

$$\boxed{R_2=\frac{U_2}{I_2}} \dashrightarrow \boxed{I_2=I_1-I_3} \longrightarrow \boxed{I_1=\frac{U_1}{R_1}}$$

（$U_2=U_3$ 已知） （I_3 已知） （R_1 已知）

$$\dashrightarrow \boxed{U_1=U-U_3}$$

（U、U_3已知）

显然，计算R_1上的电压就是解题的突破口。具体运算正好与逆推方向相反。

在第三章中讲过解题思路的形成途径，这可以帮助我们寻找突破口，但必须注意应用一种思维方法不能解决问题时，应灵活变换方法。例如用逆推法难以找到突破口时，则应迅速选用其它方法。

例25 如图4—25所示装置，甲和乙与斜面间的摩擦系数均为0.2，若甲物质量 m_1 =2.5千克，乙物质量 m_2 = $2\sqrt{2}$ 千克，求物体组运动的加速度。(g取10米/秒^2)

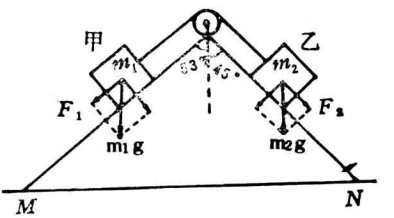


图 4 —25

分析 该题由于斜面存在摩擦，不可能用牛顿第二定律直接列式。必须设法得知物体向何方运动或者仍保持不动，这就是要寻找的解题关键的突破口。我们用另一种思维方法——演绎推理法来分析本题。高一同学在语文课中已经学习了演绎推理，它包括三段论、假言推理和选言推理等形式，第一章已经介绍了三段论形式的应用，这里着重讲述后两种形式推理法。

假言推理过程可用如下公式简单描叙：

只有甲，才有乙　　（大前提）

非甲　　（小前提）

所以非乙　　（结论）

于是，由图 4 —25可知，物块甲、乙下滑力分别为

$$F_1=m_1g\cdot\sin37^\circ$$

$$=2.5\times10\times\frac{3}{5}=15(\text{牛})$$

$$F_2=m_2g\sin45^\circ$$

$$=2\sqrt{2}\times 10\times\frac{\sqrt{2}}{2}=20(\text{牛})$$

甲、乙与斜面间最大静摩擦力分别为

$$f_1=\mu m_1 g\cos 37^\circ$$
$$=0.2\times 2.5\times 10\times\frac{4}{5}$$
$$=4(\text{牛})$$
$$f_2=\mu m_2 g\cos 45^\circ$$
$$=0.2\times 2\sqrt{2}\times 10\times\frac{\sqrt{2}}{2}$$
$$=4(\text{牛})$$

因为$F_1>f_1+f_2+F_2$时，物体组才向M端下滑，但

$$F_1<f_1+f_2+F_2=28(\text{牛}),$$

所以，物体组不能向M端下滑。

又因为只有$F_2>f_1+f_2+F_1$，物体组才向N端下滑。但

$$F_2<f_1+f_2+F_1=23(\text{牛}),$$

所以，物体组不能向N端下滑。

选言推理若用公式简单描叙，则为：

或甲、或乙、或丙，　　（大前提）

非甲、非乙，　　（小前提）

所以为丙　　（结论）

于是，结合本题，则有物体组或向M端下滑，或向N端下滑，或静止；根据前一推理结果，现物体组不能向M端下滑，又不能向N端下滑，所以，物体组保持静止。

找到了解题关键的突破口，题解也就不是难事了。因为物体组静止，所以物体组运动的加速度$a=0$。

其实，运用科学思维的方法寻找解题关键的突破口的实

例，已经在前面的章节中不只一次地介绍过了，读者可以前后对照，仔细体会。

二、题中关键词句暗示着突破口

一些难度大的题，所述的物理图景不是明显的给出，而是通过一些关键词句予以暗示。解题时，必须推敲这些关键词句，分析解题关键的突破口之所在。

例26 质量为0.1×10^{-3}千克的小球，带有5×10^{-4}库仑的正电荷，并套在一根与水平方向成$\theta=37°$角的长绝缘杆上，小球与杆面的摩擦系数$\mu=0.4$。这个装置又放在磁感应强度$B=0.5$特斯拉的匀强磁场中，方向如图4—26所示。求小球无初速释放后沿杆下滑的最大速度。（设小球的带电量不变，取$g=10$米/秒^2，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$）

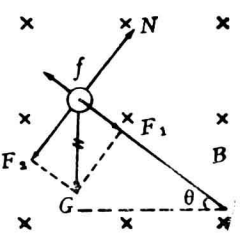


图4—26

分析 此题交代物理图景的最关键性的词句在哪里？就在题目最后的“最大”两个字。速度“最大”，表示小球速度不再增加，即以此速度沿斜杆下滑作匀速直线运动。

小球何时速度达到最大？开始时小球静止，受三个力作用：重力$G=mg$，杆的弹力$N=mg\cos\theta$，摩擦力$f=\mu mg\cos\theta$。

因下滑力$mg\sin\theta>\mu mg\cos\theta$，小球将加速下滑，由于小球在磁场中运动，还会受到洛仑兹力的作用，方向如图4—27

所示。

杆对球的弹力N（$=F_2-f_{洛}=mg\cos\theta-Bqv$）随速度增大而减小，摩擦力$f=\mu N$，于是当$N$减小时，$f$也变小。又根据牛顿第二定律，加速度逐渐增大，直到当$Bqv=mg\cos\theta$时，$N=0$，相应$f=0$，则a达最大。

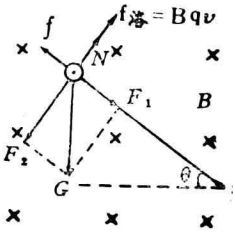


图 4 —27

此后小球速度继续增大，当$Bqv>mg\cos\theta$时，杆对球的弹力方向就要改变，弹力大小变为$N=Bqv-mg\cos\theta$，N逐渐增大，f也增大，a逐渐减小。当$f=mg\sin\theta$时，$a=0$，v达最大，即$\mu(Bqv-mg\cos\theta)=mg\sin\theta$时速度最大。

这样，通过突破口“最大”二字的分析，关键问题解决了，剩下的问题只是将上式进行运算求解。可见，题目中涉及物理图景的关键词句往往正是解题突破口的暗示。但要注意，题中的关键词句，不少比上述例题要含蓄得多，解题时需用心解剖。如下例：

例27 汽车在一条单行平直窄道上以20米/秒的速度行驶，突然发现前方120米处有一轮式拖拉机，它正以6米/秒的速度与车同向匀速前进，汽车立即制动减速，若以0.8米/秒^{2}的加速度减速，能否保证汽车和拖拉机不会撞车。

分析 该题的关键在哪里？在“撞车”二字上。在什么情况下不发生撞车呢？是不是当汽车制动后t秒停止，车与拖拉机在这段时间内相距$\Delta s=s_{拖}-s_{车}+120米>0$时呢？请读者考虑一下。

车与拖拉机相距最近时，是不是在车停时刻？仔细琢磨：车与拖拉机相距最近时，应是它们的相对速度为零的时刻，即它们的速度相等的时刻。汽车制动后，$v_{车}'=v_{拖}'$时，若车与拖拉机相距$\Delta s=s_{拖}-s_{车}+120>0$，则车与拖拉机不会相撞；若$\Delta s=s_{拖}-s_{车}+120\leqslant 0$，车与拖拉机会相撞。

由此可见，“撞车”的条件分析，确实是解题的突破口。突破口找到以后，选取解决关键问题的最佳渠道就成了关键。比如这一题，如果我们以拖拉机为参照物，则车在制动前相对拖拉机的速度为$v_0=20-6=14$（米/秒）。设车以初速v_0作匀减速运动，前进120米停止，并恰与拖拉机相撞。比较其加速度a与已知加速度a_0的大小，数值上当$a_0\leqslant a$时，便会撞车。解答过程简叙如下：

$$v_t^2=v_0^2+2as=0$$

则 $$a=-\frac{v_0^2}{2s}=-\frac{14^2}{2\times 120}=-\frac{49}{60}(\text{米/秒}^2)$$

已知加速度 $$a_0=0.8=\frac{48}{60}(\text{米/秒}^2)$$

所以$a_0<a$，题给加速度小于这个加速度的临界值，车与拖拉机会撞车。

例28 如图4--28所示，JK和PQ为平行放置的完全相

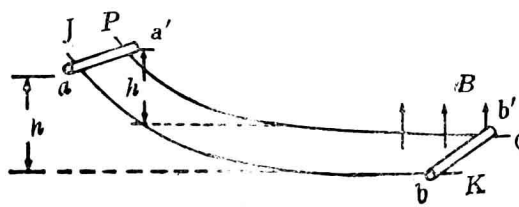


图 4--28

同的金属轨道，轨道的水平部分有一竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为B。若在轨道水平部分的底端，横放着一根质量为m的金属杆bb'，并让质量为M的金属杆aa'从轨道高h位置自由滑下。设导轨足够长且光滑，并始终在磁场中，aa'又不与bb'相接触，那么aa'的最后速度是多大？

分析 要求aa'的最后速度，须先分析aa'金属杆在导轨上的运动情况。aa'金属杆的整个运动比较复杂，涉及到的知识也超出高中物理范畴，所以题问——aa'的最后速度，自然就成了解题的突破口。而要不涉及aa'的运动过程，只能从aa'和bb'“碰撞”的理论考虑问题。

金属杆aa'滑入水平轨道进入磁场后，只与bb'相互作用。这种作用是电磁力相互作用，结果使aa'速度减小，bb'速度增加，二者的总动量保持不变。当它们的速度相同时，$aa'bb'$电路中磁通量不再发生变化，感生电流为零，aa'和bb'以共同速度作惯性运动。这一运动过程属完全非弹性碰撞。根据动量守恒定律：

$$Mv=(M+m)V$$

式中v是aa'滑入磁场与bb'开始相互作用时的速度。根据能量守恒可知，$v=\sqrt{2gh}$；式中V是aa'和bb'的共同速度，即aa'的最后速度

$$V=\frac{M\sqrt{2gh}}{M+m}$$

解答过程如此简捷明快，何故？在于找到了解题的突破口，即从求aa'最终速度，联想到碰撞只研究初、末状态，可避开中间的复杂过程。可见突破口的选择是何等重要。

三、题中过程关联量是寻找突破口的航标

有一类物理习题，它们的特点在于物理图景有时需要变换（涉及几个物理图景），那么解题的关键仍是明确题述物理过程，分析物理关系。分析中，应该注意各部分图景间的联系，其中存在起纽带作用的“关联量”，它是寻找解题关键的突破口的航标。

例29 如图4—29所示，实心木球的质量为0.1千克，被长为0.2米的细绳（质量不计）系着。绳的一端固定在O点，若拉紧绳，使木球从水平位置A处，由静止自由下落。若下落到竖直位置B处时，绳断了，木球落入水中。水对木球的粘滞阻力不计。若OC距离为1米，木球的密度为0.5×10^3千克/米^3，则木球入水处和再次露水处，分别离C点多远？（g取10米/秒^2）

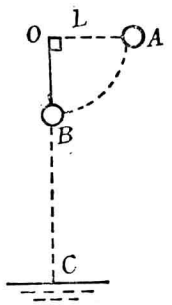


图 4—29

分析 木球的运动可分三个阶段：①从A点到B点作圆周运动；②从B点向左作平抛运动，入水；③在水中运动，最后露出水面。与三个运动状态都有关的物理量（关联量），是球到B点时，水平方向的速度v_B，它就是解题关键的突破口。

解 根据能量守恒定律可得$v_B=\sqrt{2gL}$。

设落水点与C点距离为s_1，根据平抛运动规律

$$s_1=v_B\cdot t=\sqrt{2gL}\cdot\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$=\sqrt{2\times10\times0.2}\times\sqrt{2\times(1-0.2)\div10}$$

$$=0.8(\text{米})$$

球从落水到露出水面的过程中，水平方向的速度

$$v_x=v_B=\sqrt{2gL}$$

球在竖直方向的运动为匀减速运动，其受到的浮力

$$F_{浮}=m(g-a)=\rho_{水}\cdot g\cdot\frac{m}{\rho_{木}}$$

由上式解得加速度$a=-g$（负号表示二者反向）。

落水时的竖直分速度$v_y=\sqrt{2gh}$，

小球在水中下降时间

$$t'=\frac{v_y}{g}=\frac{\sqrt{2\times10\times0.8}}{10}=0.4(\text{秒})$$

所以，球出水点离C点的水平距离

$$s_2=s'+s_1=v_B\cdot2t'+s_1$$

$$=2\times2\times0.4+0.8=2.4(\text{米})$$

本题的演算清楚的说明，关联量v_B作为几个过程的纽带，确是解题突破口的航标，解题时抓住这个关键量，就抓住了解题的关键。

例30 如图4—30所示，质量为m的小球Ⅰ，用长度为l的绳子悬挂在O点。把球Ⅰ拉到A点，OA是水平线。另一质量相等的小球Ⅱ静止放在B点（B点在O点的竖直下方，$OB=l$），BC是半径$R=l/2$的一段圆弧轨道（圆心在OB的中点）。当在A点的小球Ⅰ从静止下落到B点时，跟小球Ⅱ作弹性碰撞，使小

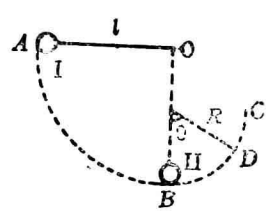


图4—30

球Ⅱ沿轨道BC滑出（不考虑摩擦）。求小球Ⅱ经过D点时对轨道的压力（圆弧轨道BD所对的圆心角$\theta=60°$，小球质量$m=1$千克，g用10米／秒^2）。

分析 该题由三个物理过程组成。

第一，小球Ⅰ由$A\rightarrow B$作圆周运动。绳对球的拉力与球运动方向垂直，不做功，只有重力做功（空气阻力不计），所以球Ⅰ由$A\rightarrow B$机械能守恒。

第二，球Ⅰ与球Ⅱ发生弹性碰撞，两球总动量和总动能都守恒；

第三，球Ⅱ被撞后沿圆弧轨道从$B\rightarrow C$，只有重力做功，机械能守恒。

三个过程全由动能联系起来，反映动能情况的速度成了过程的关联量，这个关联量，就是解题关键的突破口。

解 第一个过程中，由机械能守恒定律

$$\frac{1}{2}mv_1^2=mgl$$

可得球Ⅰ与Ⅱ相撞前的速度

$$v_1=\sqrt{2gl}$$

第二个过程中，两球作弹性碰撞，球Ⅱ被碰后速度

$$v_2'=v_1=\sqrt{2gl}\quad(\because\ m_1=m_2=m)$$

第三个过程中由机械能守恒或动能定理

$$\frac{1}{2}mv_0^2+mg\cdot\frac{l}{2}(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_2'^2$$

或 $$-mg\cdot\frac{l}{2}(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_2'^2$$

可得球Ⅱ经D点速度

$$v_D=\sqrt{1.5gl}$$

解得v_D，要求球Ⅱ经D点时对轨道的压力，可谓水到渠成了。

通过受力分析可知

$$N=m\frac{v_D^2}{R}+mg\cos\theta$$

$$=m\frac{1.5gl}{l\div 2}+mg\cdot\cos 60^\circ$$

$$=1\times\frac{1.5\times 10\times l}{l\times 0.5}+1\times 10\times 0.5$$

$$=35(牛)。$$

对于那些物理过程不太复杂，但过程前后有变化的习题，也要学会抓住衔接前后过程的关联量。如下例：

例31 如图4—31所示，平行板电容器的带电极板沿水平方向放置，电子束从电容器左边中间a处，沿水平方向入射（电子的初速都是v_0）。在电场力的作用下，电子束刚好从图中所示的c点射出，射出时的速度为v。假如保持电场不变，再加一个匀强磁场，磁场的方向跟电场和电子入射的方向都垂直（图中垂直于纸面向里），使电子刚好由图中d点射出（c、d两点的位置相对于中线ab是对称的），则每个电子射出时的动能为多大？

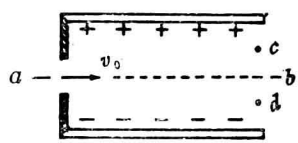


图4—31

分析 该题过程很简单，仅是电子束从平行板电容器带电极板间通过。使过程发生变化的情况有两种：一种是电子仅在电场中通过；另一种是在电场中叠加了一个匀强磁场，电子通过叠加场。

无论哪种情况，磁场对电子动能的变化都不作贡献，只有电场起作用。因此，电子在电场中电势能的变化，是解题的突破口。

解 第一种情况，电子电势能的减少量

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

第二种情况，电子从d点射出，其沿电场方向上的移动距离同第一种情况。于是，电子势能的增加量$\Delta E_d = \Delta E_c$

$$= \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

因此，电子经d点的动能

$$E_{kd} = \Delta E_d + E_{ka}$$

$$= \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$= mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2。$$

第五章

中学物理问题分类例析

解题，除了我们反复强调的那样，是理解和巩固基础知识、基本概念的重要手段外，它对于培养学生解决问题、观察分析问题的能力，关系重大。因此，读者在认识和掌握中学物理解题方法、思路和技巧的前提下，应乐于多做练习。作者安排这一章：中学物理问题分类剖析，用意也在于此。

题海浩茫，五彩纷呈。作者只能按照通常的题型分类方法，将“题海”分成三个区域，即标准化题、综合题、实验题，并极自己所能，分析各种题型的解题特点和方法。

第一节　标准化题

标准化命题是国际上广为流行的考试方法。我国高考命题也随着计算机技术的发展而逐步采用标准化形式。标准化试题能有效地测量学生的知识水平、能力和智力，加强标准化试题的解答练习，对于学生巩固物理基本概念、基础理论，大有裨益。因此，我们就常见的标准化物理题型，举例分

析、归纳，引导读者掌握这类试题的解题方法和技巧。

一、物理标准化的题型

标准化题型，根据评分是否客观来分，可分为客观性题目与非客观性题目。前者在物理题中有选择题、是非题、匹配题、填空题、排列题等能客观评分的试题；后者指传统综合题、论叙题等难以客观评分的试题。题型繁多、结构不同、功能各异，我们逐类分析比较，探索它们的结构和特点。

1．选择题

这是标准化考试中最常采用的一种题型，其结构为

$$\text{题干}+\text{选择支}\begin{cases}\text{正确答案}\\ \text{错误答案}\end{cases}$$

其中正确答案有一个或多个。只有一个正确答案的，称为单一选择题；有多个正确答案的，称为多重选择题。错误答案一般为 3 ～ 4 个，通常是模棱两可、似是而非的选择支。

单一选择题的特点是选择支中正确答案只有一个，如果选择支有n个，则学生凭主观猜测得出正确答案的概率为$1/n$。为了减少这种主观偶然性，评分时采用选错倒扣的方法。因此，答题者必须谨慎从事，不做无把握的选择。

例 1　从加速上升的气球上落下一重物，物体离开气球的瞬间具有：

① 向上的加速度；　② 向下的加速度；

③ 没有加速度；　④ 没有加速度但有向上的速度。

分析 物体具有加速度，是物体受到合外力作用的缘故。脱离气球后的物体，仅受到重力的作用（空气阻力的影响很小），因此，具有重力加速度（方向向下）。故应选②。

多重选择题的特点是，选择支中正确的或合适的答案可以是1个、2个……全对或全错，按答对的情况分层次给分。

例2 日光灯电路主要由镇流器、起动器和灯管组成，在日光灯正常工作的情况下：

① 灯管点燃发光后，起动器中两个触片是分离的；

② 灯管点燃发光后，镇流器起降压限流作用；

③ 镇流器起整流作用；

④ 镇流器为点燃日光灯提供瞬时高电压。

分析 该题常犯的错误是：错选③、漏选②，也有漏选①的。若想作出全部的正确选择，必须掌握日光灯管工作原理和日光灯电路的工作过程。该题的正确选答为①、②、④。

通常将单一选择题包含于多重选择题之中，又不明确指明，从而增加了解题的难度。无论是单一选择题还是多重选择题，都有多种形式，命题中经常采用的有以下几种题型：

（1）定性选择题。根据物理概念、规律设计题干；选择支中采用迷惑性语言，通过似是而非或似非而是的概念差异，考查学生概念的理解程度，以及区别相近概念的内涵、外延和分析推理论证的能力。

例3 下列何处的电场强度一定为零？

①带电体的质量中心；②载流导体内部；

③带静电的金属材料中；④带电绝缘体的内部；

⑤相等电量的两个同号点电荷连线的中点。

答　③⑤。

上例是通过语言定性叙述的，还有通过图象配合叙述的。

例 4　物体竖直上抛后又落向地面。物体在整个运动过程中速度v（设方向向上的速度为正）跟时间t的关系（如图 5—1 所示）是

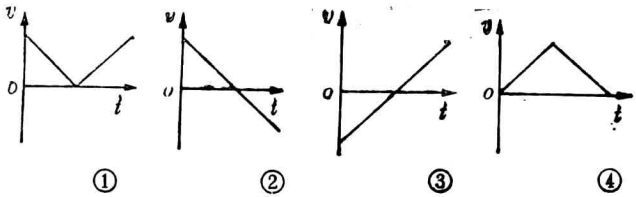


图 5—1

答　②。

定性选择题，除了选择正确答案的外，还有选择最佳答案的。

例 5　小球正落在竖直放着的弹簧上，把弹簧压缩后又被弹起来（空气阻力不计）。下列几种说法中，哪些准确。

① 小球机械能守恒；② 小球作匀变速运动；③ 小球和弹簧只有重力和弹力对它们做功，所以机械能守恒；

④ 小球和弹簧作弹性碰撞，所以机械能守恒。

答　③。

（2）定量选择题。根据题给条件，选用相应的物理定律、公式，经过适当的定量计算后进行选择判断。这类题主要考查和训练学生灵活运用知识、计算技巧和速算能力。定量选择题，仍是以物理规律、公式具体应用为主，计算为辅，通常表现为简单运算（或速算）、文字运算和求取比

值。

例 6 一股粗细均匀的镍铬丝，横截面的直径是 d，电阻是 R。把它拉制成直径为 $\frac{1}{10}d$ 的均匀细丝后，它的电阻变成

① $\frac{1}{10000}R$；　② $10000R$；

③ $\frac{1}{100}R$；　④ $100R$。

分析 镍铬丝横截面积跟半径平方成正比，拉制后面积 $S'=(\frac{1}{10})^2\cdot S$，由于体积一定，则拉后长 $L'=(10)^2L$。

由于镍铬丝的电阻与其长度成正比，与其横截面积成反比，所以 $R'=10000R$，应选答案②。

例 7 如图 5—2 所示，一个箱子放在水平地面上，箱内有一固定的竖直杆，杆上套着一个环。箱和杆的质量为 M，环的质量为 m。已知环沿着杆加速下滑，杆对环的摩擦力的大小为 f，则此时箱对地面的压力

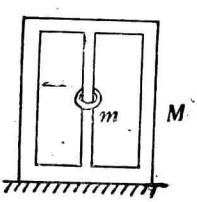


图 5—2

① 等于 Mg；

② 等于 $(M+m)g$；

③ 等于 $Mg+f$；

④ 等于 $(M+m)g-f$；

⑤ 无法确定。

分析 根据牛顿第三定律，环对杆的摩擦力也等于 f（方向竖直向下）。由于箱作用在地面上，作用力也因之增加，地面受箱的压力变为 $Mg+f$，即应选答案③。

例 8 在匀强磁场中，一个原来静止的原子核，由于放出一个a粒子，结果得到一张两个相切的圆(径迹)的照片（如图 5—3 所示）。测得两个相切的圆的半径之比是44∶1，这个原子核原来所含的质子数是

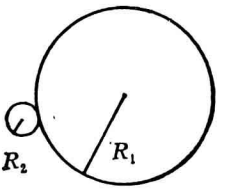


图 5—3

① 44；　② 46；　③ 88；

④ 90。

分析 半径之比

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{m_1v_1/Bq_1}{m_2v_2/Bq_2}=\frac{q_2}{q_1}\ (\because\ m_1v_1=m_2v_2),$$

则 $q_2=\frac{R_1}{R_2}\cdot q_1=\frac{44}{1}\times 2=88$，　$z=88+2=90$，

所以，应选答案④。

(3) 程序选择题。这类题一般是以一个物理问题作为知识中心，根据它所涉及到的物理基础知识，按照思维的逻辑次序，有步骤地设计出一系列由易到难、由简到繁、纵横交错、相互联系的问题。它比一般选择题容量大，涉及的知识面宽。

例 9 在场强为E的匀强电场中，画出一个以O点为圆心、r长为半径的圆。将圆周八等分，各等分点分别用a、b、c、d、e、f、h、s表示，且直径ea与场强E的方向平行，如图 5—4 所示。再在O点固定一个带电量为$+Q$的点电荷。回答下列各问：

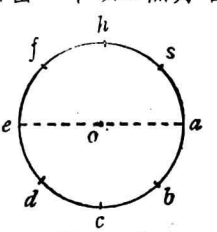


图 5—4

(1) 如果把电量为$-q$的检验电荷放在e点，它所受点电

荷$+Q$的作用力与匀强电场的作用力恰好平衡，那么匀强电场的场强等于：

① $\frac{kq}{r^2}$；② $\frac{kQ}{r^2}$；③ $k\frac{Q\cdot q}{r^2}$；④ $\frac{kQ^2}{r^2}$；

⑤ $\frac{k\frac{q^2}{Q^2}}{r^2}$；⑥ $\frac{kQ\cdot q}{r}$；⑦ $\frac{kq}{r}$；

⑧ $\frac{kQ}{r}$。

(2)若将检验电荷$-q$由e点移到h点，则在h点，此检验电荷所受力F的大小等于：

① $2qE$；② qE；③ $\sqrt{2}qE$；④ QqE。

⑤ $2QE$；⑥ QE；⑦ $\sqrt{2}QE$；⑧$\sqrt{2}QqE$。

(3) 图5—5中八条附有标号的射线分别由圆心指向a、b、c、d、e、f、h、s各点。则与上问中力F方向相同的射线的标号是：〔　　〕。

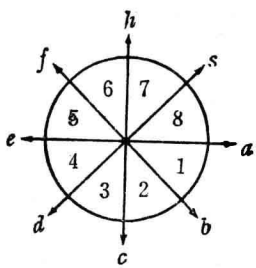


图5—5

(4) 将检验电荷$-q$由h点沿圆周经s点移到a点，外力反抗电场力所做的功等于：

① $\frac{QEr}{\sqrt{2}}$；② QEr。③ $\sqrt{2}QEr$；④$2QEr$；

⑤ $\frac{qEr}{\sqrt{2}}$；⑥ qEr；⑦ $\sqrt{2}qEr$；⑧$2qEr$。

答　(1) ②；(2) ③；(3) ④；(4) ⑥。

(4) 实验选择题。实验选择题是物理选择题的特点之一。这类题有的是将各种物理实验的器材设备混杂在一起，要求

从中选择出适合某个实验的器材设备；有的是将一些形同质异的物理现象交织在一起，要求从中辨析出某实验的真实面貌；有的则将实验步骤和操作次序先后颠倒，要求理出正确步骤，鉴别出正确操作规程。

例10 在“研究平抛物体运动”的实验中，哪些组器材是必须的？

① 弧形斜槽、弹簧秤、木板和白纸；

② 有孔纸卡片、刻度尺、小球和木板；

③ 白纸、小球、天平和木板；

④ 纸带、铅笔、刻度尺和小球；

⑤ 铅笔、图钉、重垂线、刻度尺。

答 ②、⑤。

例11 若利用天平来量度物体的质量，下列叙述中，正确的是：

① 利用有固定转动轴的物体的平衡条件；

② 所测得的物体质量与重力无关，故在无重力的太空中，也能测量；

③ 在地球上和月球上所得结果相同；

④ 在匀加速上升的电梯中比在静止的电梯中所测得的物体质量大；

⑤ 在匀速下降的电梯中与在静止的电梯中所测得的物体质量相等。

答 ①、③、⑤。

例12 把物与光屏的位置固定，在两者连线的中点放一个凸透镜，这时光屏上出现一个清晰的像；若再移动透镜到某些位置时，光屏上：

① 还可以出现一个缩小的像；

② 还可出现一个放大的像；

③ 先后出现一个缩小的像和一个放大的像；

④ 不再出现像。

答 ④。

例13 用伏安法测定一个阻值约为25千欧、额定功率为1/20瓦的电阻的阻值，采用电路如图5—6所示。请在备用仪器及元件中选出合适的：

① 直流电流表：量程0～100微安，内阻约2千欧；

② 直流电流表：量程0～500微安，内阻约300欧；

③ 直流电压表：量程0～1伏，内阻约10千欧；

④ 直流电压表：量程0～10伏，内阻约100千欧；

⑤ 直流电压表：量程0～50伏，内阻约500千欧；

⑥ 干电池：每节1.5伏，共两节；

⑦ 直流稳压电源：输出电压15伏，额定电流1安；

⑧ 直流稳压电源：输出电压50伏，额定电流0.5安；

⑨ 滑动变阻器：阻值1千欧，额定功率1瓦；

⑩ 电键，导线。

答 ②、④、⑦、⑨、⑩。

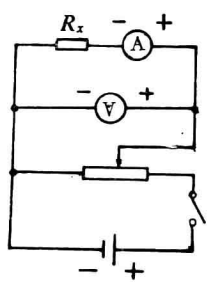


图5—6

2. 是非题

这种题型通常提出一个论点，比如关于某一物理现象的认识，某一物理规律的复叙，某一物理概念的再现等等，让

测试者判断正确与否，在题后括号内填对或错。

例14　在下述正确说法后面的括号中画“✓”，错误说法的后面括号中画“×”。

① 人站在地面上，受方向向下的重力作用；它的反作用力是地面对人的支持力，方向向上。（×）

② 马拉车、车拉马，理论上作用力等于反作用力，但实际上马拉车的力总要大一点，否则车就拉不动了。（×）

③ 热量是物体内能的量度。（×）

④ 如图5—7所示，绝缘导体在电荷Q形成的电场中。当导体处于静电平衡后，尽管A端带正电、B端带负电，但导体A、B端电势还是一样高。（✓）

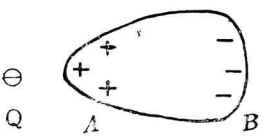


图5—7

⑤ 矩形线圈在匀强磁场中转动，当线圈平面转到与磁力线平行时，穿过线圈的磁通量为零，此时线圈中感生电动势也为零。（×）

⑥ 当氢原子中的电子由离核较远的轨道跃迁到离核较近的轨道上时，原子放出光子。（✓）

3. 匹配题

列举两组物理概念、规律或物理内容，用线条或编号把有关的概念、规律或内容联系起来，这种题型就叫做匹配题。

例15　下面左边列出了科学家（或实验名称），右边列出物理理论（或证实过的物理事实），试将左右相互对应的项找出来。

(A) α粒子散射实验　　(a) 光的波动说。
(B) 奥斯特　　(b) 磁现象的电本质。
(C) 赫兹　　(c) 原子的核式结构。
(D) 特斯拉　　(d) 电流的磁效应。
(E) 罗兰实验　　(e) 原子核由质子中子组成。
(F) 惠更斯　　(f) 电磁波客观存在。

答　(A)——(c)；(B)——(d)；(C)——(f)；
(E)——(b)；(F)——(a)。

例16　请在下面右边一列单位中找出与之对应的物理量，并把该单位的编号填在左列各物理量后的空格里。

(A) 加速度(e)。　　(a) 焦耳
(B) 冲　量(c)。　　(b) 摩尔
(C) 能　量(a)。　　(c) 千克·米/秒
(D) 物质的量(b)。　　(d) 千克
(E) 热　量(a)。　　(e) 米/秒^2

4.填空题

提出一个不完整的陈述，要求测试者把空缺的物理内容填上，空白处多为单空，也有多空的。填写的物理内容，一般分定性描述、定量分析、实验内容等三类。

例17　一群氢原子处于$n=4$的激发态，当它们自发地从$n=4$的能级_____到$n=1$的能级时，释放波长最短的光子。

答　直接跃迁。

例18　某金属，用频率为ν_1的光照射时，比用频率为ν_2的光照射时产生的光电子的最大初动能大1倍，则这种金属的逸出功$W=$_____。

答 $h(2v_2-v_1)$。

例19 用游标卡尺（如图5—8所示）测一根金属管的内径和外径时，卡尺上的游标位置分别如图5—9甲、乙两图所示。

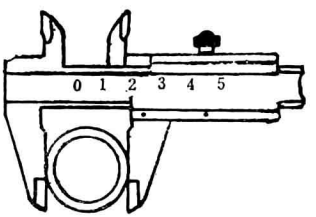


图5—8

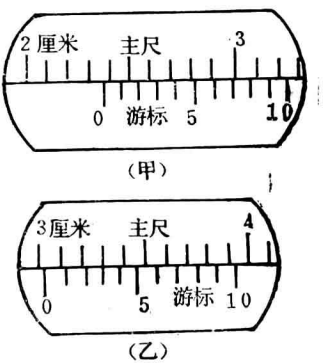


图5—9

这根金属管的内径读数是____厘米，外径读数是____厘米，管壁厚是____厘米。

答 2.37；3.03；0.33。

5．排列题

这种题型是将反映物理内容的事物，依据大小、实验操作步骤或物理规律，有顺序地排列起来。

例20 图5—10所示为一可供使用的万用表。S为选择开关，Q为欧姆档调零旋纽。现在要用它检验两个电阻的阻值（图中未画出电阻），已知R_1和R_2的阻值分别为60欧和470千欧。下面提出了在测量过程中一系列可能的操作。请你选出能较准确地测定各阻值，且符合于万用表安全使用

规则的各项操作，然后将它们按合理顺序填写在后面的横线上。

（A）旋动S，使其尖端对准欧姆档×1K（即$OHMS \times 1K$）。

（B）旋动S，使其尖端对准欧姆档×100。

（C）旋动S，使其尖端对准欧姆档×10。

（D）旋动S，使其尖端对准欧姆档×1。

（E）旋动S，使其尖端对准$\underset{\sim}{V}$ 1000。

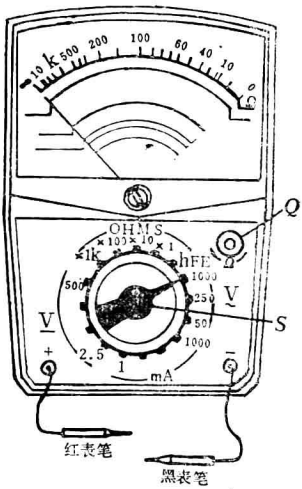


图5—10

（F）将两只表笔分别接到R_1的两端，读出R_1的阻值，随后即断开。

（G）将两表分别接到R_2的两端，读出R_2的阻值，随后即断开。

（H）两只表笔短接，调节Q，使表针对准欧姆档刻度盘上的0，随后即断开。

所选操作及其顺序为（用字母代号填写）：

_____。

答 D、H、F、A、H、G、E。

例21 我们已经知道：电磁波有下列光波：A．可见光；B．无线电波；C．紫外线；D．红外线；E．γ射线；F．X射线等。如果按波长由大到小顺序排列，应该是：_____

。

答 B、D、A、C、F、E。

6．被改造的传统综合题

综合题可以弥补标准化题的缺陷，即可以检查和训练学生运算、综合分析及发散性思维的能力。但综合题评分主观，不可靠，要朝两个方向进行改造。一方面将大问题化为一系列小问题，每一个小问题都对应于一个教学目标，并有相应给分标准，以加强评分的客观性。另一方面，适当降低试题难度，增加试题数，以扩大覆盖面，减小考查的局限性和偶然性。例如：

一列横波在x轴线上传播着，在$t_1=0$和$t_2=0.005$秒时的波形曲线，如图5—11所示。

（1）由图读出波的振幅和波长。

（2）设周期大于(t_2-t_1)。如果波向右传播，波速多大？如果波向左传播，波速又是多大？

（3）设周期小于(t_2-t_1)，并且波速为6000米/秒，求波的传播方向。

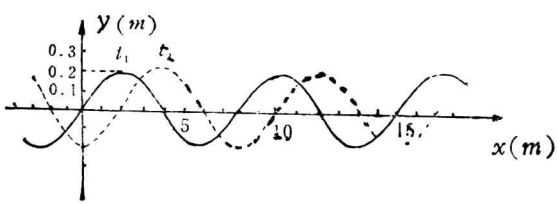


图5—11

7. 论述题

论述题是针对某个物理现象、概念及规律提出问题，由测试者应用物理语言说明道理。论述的过程，也是巩固和加深对物理概念和规律理解的过程。这类题有利于培养学生分析解决实际问题的能力和逻辑思维能力。但是，由于试题知识覆盖面窄，评分的随意性大，因此，也要向标准化靠拢。例如：

盛夏的中午，想用下列三种方法来降低室内的平均温度，是否可能？为什么？

（1）将房内所有的电风扇都打开；

（2）将房中正在工作的电冰箱的门打开；

（3）将一块大冰砖搬进房内。

通常条件下，你能有什么比较好的方法？（简略论述）。

二、选择题的求解

在客观题类型中，是非题被猜中的可能性高达50%，匹配题和排列题比较偏重机械记忆，且题目本身易为测试者答题提供额外线索。填空题跟其它题型比较，介于中间，因此，应用比上述三种稍广。最理想的要数选择题，因为无论从测试效果、试题信度来看，还是从知识涉及面、评分电脑化来看，选择题都是首屈一指的，尤其是多重选择题。因此，在标准化考试中，选择题的使用最广泛。

如何解答选择题？这要根据具体题目具体分析。但通常根据命题目的，选择题有三类：第一类是从理论出发，侧重

于考查被试者对基本概念和基本定律的掌握情况；题目表现为概念性强、涉及面宽。第二类是从应用出发，侧重于考查被试者运用物理基本理论，分析与解决实际问题的能力，包括定性、定量两个方面的分析能力；题目表现为灵活多变。第三类是从物理实验出发，侧重考查被试者对实验原理和技能掌握的情况；题目表现为实践性强、综合面大。

基于上述情况，解答选择题的先决条件和解其它类型题一样，需要熟练掌握物理基本概念和物理定律，重视实验，加强实验技能和运用数学解决物理问题能力的训练。在具体方法上，仍以科学思维方法为武器，充分运用物理方法，并注意发挥数学方法的作用。下面介绍通常采用的方法：

1。直判法

所谓直判法，就是从题给条件出发，应用物理规律，经过推理或简单演算，直接判断，获得答案的方法。此法适于那些涉及记忆性、常识性物理知识的题目，以及题叙物理过程简单且能直接应用物理概念和公式解答的题目。

例22 放在斜面上的物体所受到的重力

① 可以分解为，平行于斜面、使物体下滑的力和垂直于斜面、使物体压紧斜面的力。

② 可以分解为，沿斜面向下的下滑力和垂直于斜面对斜面的正压力。

③ 可以分解为，使物体在斜面上向下作加速运动的力和跟斜面垂直、数值上等于对斜面的正压力的力。

④ 物体平衡时，重力沿斜面下滑的力，一定等于最大静摩擦力。

答 ①、③。

例23 用相同的两束紫外线，分别照射两种不同的金属表面时，都产生了光电效应，则逸出的电子的：

① 初动能不同；② 初速率不同；

③ 初动量不同；④ 单位时间内逸出的光电子数不同。

分析 因为光电子的最大初动能与被照金属材料有关，这就牵涉到速率、动量都不同。另外，在单位时间内从被照金属发射出的光电子数跟入射光的强度成正比，强度不变，光电子数也不变。因此，本题应选答案①、②、③。

例24 一个静止的、质量为M的不稳定原子核，当它放射出质量为m、速度为v的粒子后，原子核剩余部分的速度u等于：

① $-v$；　② $-\frac{m}{M-m}v$；

③ $-\frac{m}{m-M}v$；　④ $-\frac{m}{M}\cdot v$。

分析 依据动量守恒定律，原子核放射出粒子前动量为零，放射粒子后总动量$mv+(M-m)u$，所以，$mv+(M-m)u=0$，即$u=-\frac{m}{M-m}\cdot v$。

故本题应选答②。

例25 两个质量相同的物体1和2，紧靠着放在光滑水平桌面上，如图5—12所示。如果它们分别受到水平推力F_1和F_2作用，且$F_1>F_2$，则物体1施于物体2的作用力的大小为

① F_1；　② F_2；

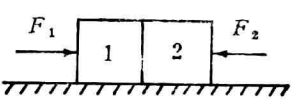


图5—12

③ $(F_1+F_2)/2$；　④ $(F_1-F_2)/2$。

分析　把物体1和2当作整体，则$F_1-F_2=2m\cdot a$；再用隔离法列出其中任一物体的方程，即$F_1-F=ma$（或$F-F_2=ma$），与上式联立解得$F=(F_1+F_2)/2$，即应选答③。

2. 逼近法

针对题给的选择支，根据题设条件，进行推理或演算，迅速排除可能性较小的答案，估计出可能性较大的选择支。这样，把选择的范围逐步缩小，从而向正确的答案逼近。

例26　一扁平条形磁铁与一圆形线圈同在一平面内，磁铁中央与圆心O重合。为了在磁铁开始运动时，使线圈中得到一方向如图5—13所示的感生电流，磁铁的运动方向应为：

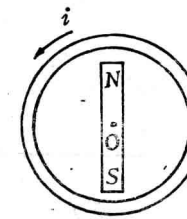


图5—13

① 使磁铁绕O点转动；N极向纸内、S极向纸外；

② 使磁铁绕O点转动；N极向纸外，S极向纸内；

③ 使磁铁沿垂直于线圈平面的方向向纸外作平动；

④ 使磁铁沿垂直于线圈平面的方向向纸内作平动；

⑤ 使磁铁在线圈平面内绕O点沿顺时针方向转动；

⑥ 使磁铁在线圈平面内绕O点沿逆时针方向转动。

分析　根据感生电流产生的条件：穿过闭合电路的磁通量要发生变化。显然⑤、⑥两种情况，线圈内无磁通量变化，不可能产生感生电流；③、④两种情况，分别就磁铁两极来

说，运动中能使线圈内磁通量变化，但二者的总体效应，使线圈内磁通量变化仍为零；①、②是线圈内有磁通变化的情况，于是选择的范围大大缩小，被逼近到①、②两项。最后根据楞次定律，判断电流方向，得出应选择①的结果。

例27 在图5—14甲所示的电路中，当可变电阻R的阻值增大时，

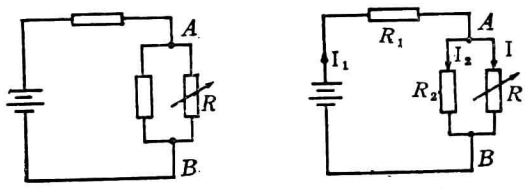
① AB两点间的电压U_{AB}增大；

② AB两点间的电压U_{AB}减小；

③ 通过R的电流I增大；

④ 通过R的电流I减小；

⑤ 通过R的电流I不变。



（甲）　　（乙）

图5—14

分析 当R变化时，电路总电阻变化，通过R的电流不变是不可能的。又因选择支①、②对立，③、④对立，因此，问题变成讨论A、B两点间电压U_{AB}和流过R的电流I（如图5—14乙所示）。分析思路如下：

当 $R\uparrow \longrightarrow R_{AB}\uparrow \longrightarrow I_1\downarrow \longrightarrow U_{AB}\uparrow$

$$R_{AB}=\frac{R_1R}{R_2+R} \qquad I_1=\frac{\varepsilon}{r+R_1+R_A} \qquad U_{AB}=\varepsilon-I_1R_1-I_1r$$

又 U_{AB} ↑——→ I_2 ↑——→ I ↓

R_2不变，$I_2=U/R_2$　　$I=I_1-I_2$

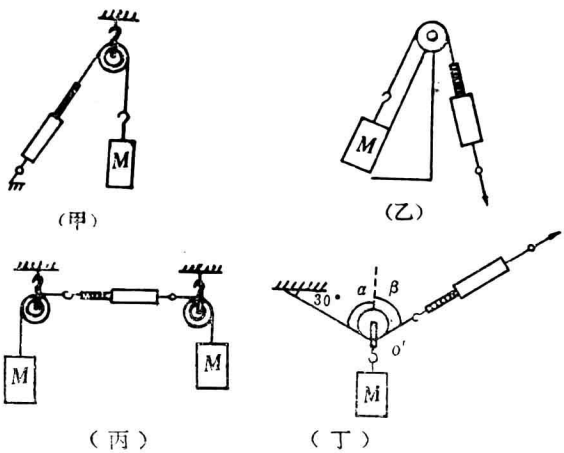
很明显，本题应选答案①和④。

3．比较法

科学思维方法中的比较法，是选择题解答中行之有效的一种解法。

例28　下列装置中，如果弹簧秤、绳子、滑轮的重量及摩擦都不计，则弹簧秤的读数都为Mg的装置有：

①　甲图；②　甲、乙、丙图；③　甲、丙图；④　甲、丙、丁图。



（甲）　（乙）　（丙）　（丁）

图 5—15

分析　这是一道受力分析的题目，甲、乙、丙三个图中用的是定滑轮，丁图中用的是动滑轮。我们知道，定滑轮只

改变力的方向，不改变力的大小。因此比较甲、乙、丙三图，甲与丙图弹簧秤读数应为Mg；丁图容易判断错误，一般常把动滑轮与绳接触点O看作是固定点，从而误认为题给条件不充分。其实该点是活动点，讨论张力时要进行比较：若是固定点，α可以不等于β；若是活动点，则平衡时$\alpha=\beta$，即滑轮左右端绳子张力大小相等。从受力图5—16可知，$\alpha=\beta=60°$，所以，左、右端绳子张力$T_1=T_2=Mg$。

即通过比较，正确答案是④。

上述比较属于具体的比较，还有抽象的比较，需要深入到物理本质，才能鉴别出正确答案。

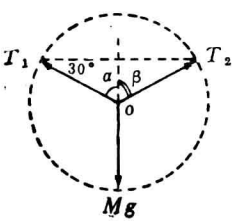


图 5—16

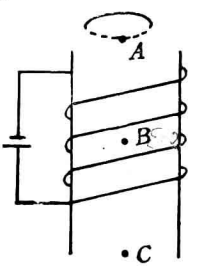


图 5—17

例29 如图5—17所示，一竖直放置的螺线管通有直流电流；一个金属圆环，由螺线管正上方，沿其轴线竖直下落；下落过程中圆环面恒保持水平，则圆环经图中A、B、C三点时的加速度大小为：

① $a_A<a_B<a_C$；　② $a_A<a_C<a_B$；

③ $a_C<a_A<a_B$；　④ $a_B<a_A<a_C$；

⑤ $a_B>a_A=a_C$。

分析 读者很可能选⑤。果真这样，那么你忘了一个影

响加速度的因素：$v_A < v_C$，即圆环经A点的速度小于经C点的速度。于是，圆环经A点时，其中磁通量变化率比经C点时小；相应地，圆环中感生电流及对圆环起阻碍作用的磁场力，也是如此。所以，正确答案应是③。

4．逆推法

逆推法来自科学思维方法中的分析法，它是从结论出发，逆向推证，得出前因，再与选择支比较，从而获得正确答案。

例30 如图5—18所示，矩形线圈一部分处在有限匀强磁场中。若线圈由静止开始运动，起动瞬间，边ab所受磁场力的方向向下，则线圈的运动情况应是：

① 向下平动；

② 以ab边为轴转动；

③ 以cd边为轴转动；

④ 以bc边为轴转动；

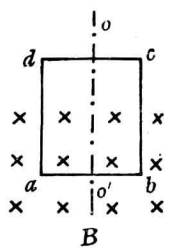


图5—18

⑤ 以oc'为轴转动（o、o'分别为cd和ab边的中点）。

分析 五个选择支提供的条件，有可能得出的结论是什么？是ab边所受的磁场力的方向向下。那么，我们就从这一结论逆推，推出产生这一结论的条件。

根据左手定则，ab边受方向向下的磁场力，则线圈中必定具有一个顺时针方向的感生电流，则线圈内的磁通量必定减少了。

因此，产生题给结论的条件是“使线圈内磁通量减少”，通览所有选择支，可见③、④、⑤是正确答案。

5．作图法

若使用常规的数学、物理方法解答选择题陷于困境时，别忘了还有一种几何作图的方法，如矢量图、坐标图、光路图等。这些几何作图的方法，往往使你“绝处逢生”。

例31 有一物体AB（如图5—19甲所示），从远处向凹面镜移近至镜的球心$2f$处的过程中，下列情况哪些是正确的？

①像的大小总是不断增加；②像的大小总是大于物体；③像的大小总是小于物体；④像总是正立；⑤像总是倒立。

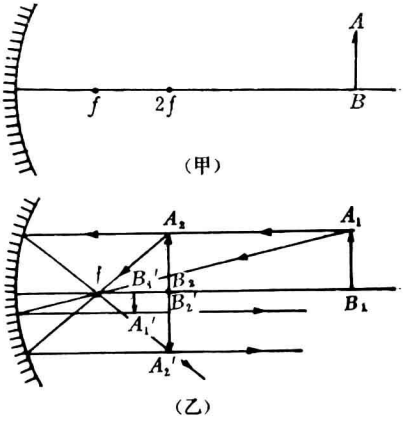


图5—19

分析 用作图法来判断。作光路图（如图5—19乙所示）。A_1B_1为远处物体，成像为$A_1'B_1'$，A_2B_2为移近至$2f$处物体，其像为$A_2'B_2'$。像均为倒立，且相应AB移近凹面镜的过程，像$A'B'$由$A_1'B_1'$逐渐增大到$A_2'B_2'$。显然该题的正确答案是①和⑤。

6．简算法

对于定量分析的选择题，通常需要作简略计算，常用的一种简算方法是比例法。

例32 在图5—20所示的电路里，r是电源的内阻，R_1和R_2是外电路中的电阻。如果P_r、P_1和P_2分别表示电阻r、R_1和R_2上所消耗的功率，当$R_1=R_2=r$时，$P_r=P_1=P_2$等于

① 1∶1∶1；

② 2∶1∶1；

③ 1∶4∶4；

④ 4∶1∶1。

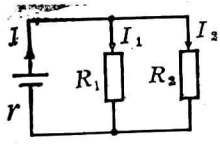


图5—20

分析 因为$R_1=R_2$，且R_1与R_2并联，所以两者功率之比一定为1∶1，又因为通过r的电流强度是通过R_1或R_2的电流强度的2倍，即$I=2I_1=2I_2$。根据功率$P=I^2\cdot R$，可得$P_r:P_1:P_2=4:1:1$，即应选④。

简略计算的另一途径是，寻找覆盖各选择支的物理公式，进行综合分析。

例33 匀强磁场中有一圆环形线圈，其轴线与磁场方向成30°角（如图5—21所示），若磁感应强度随时间均匀变化。则采用下述哪种办法，可使线圈中的感生电流减小为原来的1/2？（若更换线圈，导线规格一致）

① 把线圈的匝数减小一半；

② 把线圈的直径减小一半？

③ 把线圈的面积减小一半？

④ 把线圈的轴线对磁场的方向改变。

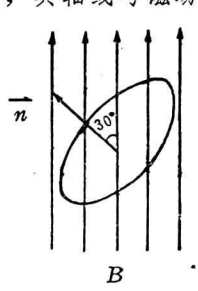


图5—21

分析 选择支所涉及的问题，是使感生电流减小为原来的一半。根据欧姆定律，感生电流与感生电动势ε和线圈电

阻R的关系为

$$I=\varepsilon/R \qquad (1)$$

又根据法拉第电磁感应定律，感生电动势与磁通量的变化率和线圈匝数的关系为

$$\varepsilon=n\cdot\Delta\phi/\Delta t=n\cdot\pi\cdot r^2\cos\theta\,\Delta B/\Delta t \qquad (2)$$

再根据电阻定律，电阻与线圈绕线的长度和线径大小的关系为

$$R=\rho\cdot l/S'=\rho\cdot n\cdot 2\pi r/S' \qquad (3)$$

式中r是线圈的半径，S'是导线的横截面积。

联立(1)、(2)、(3)式可得

$$I=\frac{r\cdot S'\cos\theta}{2\cdot\rho}\cdot\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

式中S'、ρ、$\Delta B/\Delta t$为恒量。因此，要使I减小一半，可将线圈半径r减小一半或使$\cos\theta$减小一半。设线圈的轴线与磁场间夹角θ变为θ'，则$\cos\theta'=\frac{1}{2}\cos\theta=\sqrt{3}/4<1$，$\theta'$有一确定值，所以该题应选答案②、④。

定量分析的选择题中，也有提供的选择支为非精确值的，这类题目只需进行估算便能迅速、准确地选择出正确答案。估算方法可参阅本书第四章第一节。

第二节　综合题

传统的物理综合题所涉及的物理现象比较广，包含的物理过程比较多，因此，解题所需的知识跨度大、难度高，学

生普遍感到棘手。那么，如何解答综合题呢？方法和技巧问题前面已经介绍过了，这里针对综合题的特点，着重分析如何抓住综合题的解题关键。

一、综合题的特点

1．涉及知识面宽

中学物理包含力、热、电、光、原子等五部分知识内容。如果物理题涉及的知识面渗透几个部分，其物理过程又复杂，这类综合题属大范围综合题。如果物理题涉及的知识虽局限在其中某一部分，但物理过程较多，涉及面较宽，这类题仍属综合题，只不过是小范围内综合。

例34　如图5—22所示，两个带电粒子Q_1和Q_2，先后以相同的速度从P点飞入竖直放置的带电平行板组成的匀强电场中（沿垂直于电场方向），并分别落于A板的C、D两点，且$GC=CD$。Q_1所带的电量是Q_2的3倍（重力忽略不计），回答下列问题：

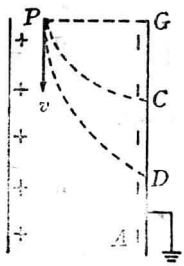


图5—22

（1）求两带电粒子的质量之比？

（2）求电场力对两带电粒子所做的功之比？

（3）若欲使两带电粒子沿竖直向下的方向，以速度v作匀速运动，则应加一个什么方向的匀强磁场？磁感应强度多大？

解 该题是力学与电学综合题，涉及力学中的平抛运动、匀速直线运动以及电学中电场和磁场方面的知识。

(1) 带电粒子进入电场后作类似平抛运动。

设场强为E，带电粒子Q_1和Q_2带电量分别为q_1、q_2，质量分别为m_1、m_2，在电场中获得的加速度分别为

$$a_1=\frac{F_1}{m_1}=\frac{q_1E}{m_1},$$

$$a_2=\frac{F_2}{m_2}=\frac{q_2E}{m_2}。$$

两带电粒子在电场中飞行的时间分别为

$$t_1=\frac{\overline{GC}}{v},\quad t_2=\frac{\overline{GD}}{v}=\frac{\overline{2GC}}{v}=2t_1$$

因为两粒子在电场中沿场强方向的位移相同，所以，

$$\frac{1}{2}a_1t_1^2=\frac{1}{2}a_2t_2^2$$

则
$$\frac{a_1}{a_2}=\frac{t_2^2}{t_1^2}=(\frac{t_2}{t_1})^2=(\frac{2}{1})^2=4$$

又因为

$$\frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}\cdot\frac{q_1}{q_2}$$

得
$$\frac{m_1}{m_2}=\frac{a_2}{a_1}\cdot\frac{q_1}{q_2}=\frac{1}{4}\times\frac{3}{1}=\frac{3}{4}$$

(2) 应用电场力移动电荷做功计算。

因为 $U_C=U_D=U_G$

所以电势差

$$U_{PC}=U_{PD}=U_{PG}。$$

电场力移动两电荷做功之比

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{q_1U_{PC}}{q_2U_{PD}}=\frac{q_1}{q_2}=\frac{3}{1}$$

（3）涉及磁场与电场对电荷作用规律。

带电粒子落在A板，说明所受电场力方向与电场强度的方向相同，即水平向右。若使带电粒子运动轨迹为直线，则必须再受一磁场力$F_{洛}$作用，且必须$F_{洛}=F_{电}$，方向相反。

于是，根据左手定则，若带正电的粒子受水平向左的洛仑兹力，则磁场方向必定是垂直于纸面向外（如图5—23所示）。

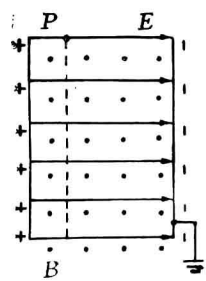


图5—23

又 $$\frac{q_1E}{q_2E}=\frac{B_1q_1v}{B_2q_2v}$$

所以，所加磁场的磁感应强度值

$$B=B_1=B_2=\frac{E}{v}。$$

2．解题方法灵活

由于综合题覆盖的知识面宽，涉及的物理量多，遵从规律也多。于是，题目中的已知量，必有一些不是直接给出，而要通过推理间接得到。因此题问也要借助一组公式才能最后解出。

例35 采用量热器测定物质熔解热的装置，如图5—24所示。电量热器的电阻值为R，电压表的示数为U，电流表的示数为I。量热器中装有固、液共存状态的物质，其中固态物质的质量为m。从固液共存状态到全部熔解的通电时间为t。试根据题给数据，计算物质的熔解热λ。

分析　这是一道电学和热学的综合题，下面列举甲、乙、丙三位同学的不同解答：

甲：根据热平衡方程　$Q_{吸}=Q_{放}$

$Q_{放}=W_{电}$（焦耳）

$=IUt$（焦耳）

$Q_{吸}=\lambda m$（焦耳）

所以　$\lambda=IUt/m$（焦/千克）

乙：由于电能

$W_{电}=I^2Rt$（焦耳）

因此，按甲的解答过程得

$\lambda=I^2Rt/m$（焦/千克）

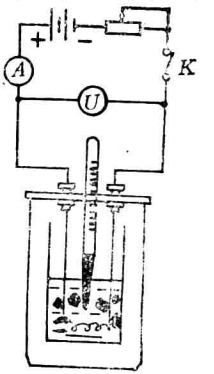


图 5—24

丙：根据原理图，由于电压表有分流作用，因此，电流表所得的电流强度，要比实际通过电量热器的电流强度大一些。考虑应尽可能减小误差，电能计算式采用

$$W_{电}=(U^2/R)\cdot t$$

所以　$\lambda=(\dfrac{U^2}{R})\cdot\dfrac{t}{m}$（焦/千克）

三种答案，谁正确？

回答不能一概而论，要由被测物质是否导电来定。当被测物质不导电时，丙解答正确。若被测物质导电，则又当别论了。

若被测物质导电，电流表显示的电流强度，包括通过电阻丝和被测物质两部分，电热器表现的电阻不再是电阻丝的电阻了。因此，算式中凡有“R”的式子就不太准确，此时，甲解答正确。

二、综合题的解题关键

1．分清物理过程的层次

综合题的物理过程虽然比较复杂，但也不是无序可循。如果题目包含几个物理过程，则各个过程往往对应于不同的物理定律，因此，可根据过程的规律划层次，依次求解；如果题目是多变化的单一过程，则也可根据不同变化阶段划层次，然后逐一求解。

例36 静止在匀强磁场中的一个${}^{6}_{3}Li$粒子，因俘获一个速度为7.7×10^{4}米/秒的中子而发生核反应，产生一个氦核（${}^{4}_{2}He$）和另一个新核。若测得${}^{4}_{2}He$粒子的速度为2×10^{4}米/秒，方向与反应前中子的运动方向相同（如图5—25所示）。

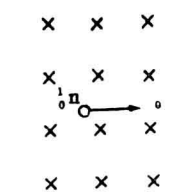


图5—25

（1）写出核反应方程。

（2）画出反应后两个粒子的运动轨迹及旋转方向。

（3）求出${}^{4}_{2}He$与另一新核的轨道半径之比。

（4）${}^{4}_{2}He$粒子转6圈，另一新核转几圈？

解 该题物理过程清晰，可按过程的先后顺序，有条不紊地求解。

（1）${}^{6}_{3}Li$粒子与${}^{1}_{0}n$粒子发生核反应，符合质量守恒、电荷守恒定律。

根据质量守恒定律，新粒子质量数为3；根据电荷守恒

定律，新粒子电量数为1。于是新粒子为${}_{1}^{3}\mathrm{H}$，核反应方程为

$$ {}_{3}^{6}\mathrm{Li}+{}_{0}^{1}\mathrm{n}\rightarrow{}_{2}^{4}\mathrm{He}+{}_{1}^{3}\mathrm{H} $$

(2) ${}_{3}^{6}\mathrm{Li}$粒子与中子碰撞，遵守动量守恒定律，即

$$ m_1v_1+m_2v_2=m_3v_3+m_4v_4 $$

解得$v_4=-10^3$米/秒，负号说明新粒子运动方向与原中子运动方向相反。

(3) 产生的${}_{2}^{4}\mathrm{He}$和新粒子在磁场中运动，受洛仑兹力作用，作匀速圆周运动（如图5—26所示）。

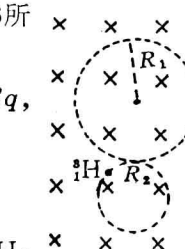


图5—26

由$Bqv=mv^2/R$ 得 $R=mv/Bq$，于是它们轨道半径之比

$$ \frac{R_1}{R_2}=\frac{m_1v_1}{m_2v_2}\cdot\frac{q_2}{q_1}, $$

代入数值得 $R_1/R_2=40/3$，即${}_{2}^{4}\mathrm{He}$粒子与${}_{1}^{3}\mathrm{H}$粒子的轨道半径之比为40∶3。

(4) 它们的角速度之比就是所转圈数之比。由

$\omega=\dfrac{v}{R}=\dfrac{B\cdot qR}{mR}$，得 $\omega=\dfrac{Bq}{m}$，于是它们角速度之比

$\dfrac{\omega_1}{\omega_2}=\dfrac{q_1}{q_2}\cdot\dfrac{m_2}{m_1}$，代入数值得，$\omega_1:\omega_2=6:4$，可见当${}_{2}^{4}\mathrm{He}$粒子转6圈时，${}_{1}^{3}\mathrm{H}$粒子转4圈。

例37 如图5—27所示，两根可以滑动的金属杆ab、cd，套在两根竖直放置的光滑导轨上（导轨电阻不计）。整个装置放在水平磁场中。ab、cd长度各为20厘米，电阻各为0.1欧，质量均为0.01千克。两杆间用0.5米长细线oo'相连，当

磁场以2特斯拉/秒的变化率均匀减小时，求：

(1) 回路中感生电流的大小（回路$abcd$面积不变）。

(2) 当B减小到1特斯拉时，要保持$abcd$静止，需在ab上加一个向上的多大的力？此时细线中的张力多大？

(3) 将细线oo'断开，回路保持处在$B=1$特斯拉的匀强磁场中，施加外力，使ab杆以5米/秒的速度匀速向上运动，则cd杆将以什么速度做匀速运动（$g=10$米/秒^2）

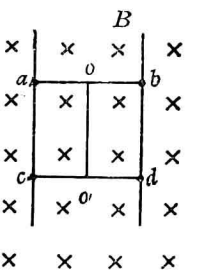


图5—27

解 本题(1)、(2)求解比较简单，困难的是问题(3)。问题(3)物理过程复杂，一个物理量的变化要影响到几个物理量。同时涉及反电动势内容（超出高中物理教学大纲），难度自然稍大一些。

(1) 根据法拉第电磁感应定律和全电路欧姆定律

$$I=\frac{\varepsilon}{2r}=\frac{S\cdot\Delta B}{2r\cdot\Delta t}$$

$$=\frac{0.2\times0.5\times2}{2\times0.1}=1\text{(安)}$$

(2) 根据楞次定律和受力分析（如图5—28所示）

$$\begin{cases}F_{外}+F_{磁}-T-mg=0\\T-F_{磁}-mg=0\end{cases}$$

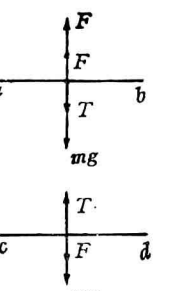


图5—28

代入数值得

$$F_{外}=0.2\text{牛}；\ T=0.3\text{牛}。$$

(3) 线断后，其物理过程比较复杂。此时ab杆以$v=5$米/秒上滑，要产生感生电动势ε。cd杆上受磁场力和重力作用，若不平衡，也要运动，产生感生电动势ε'，从而影响回路感生电流。cd杆直到所受合力为零时，才以v'作匀速运动。

当cd杆以v'作匀速运动时

$$F_{磁}=BIL=mg \qquad (1)$$

电流I由ε和ε'决定。设cd也随之向上运动，即

$$I=\frac{\varepsilon-\varepsilon'}{2r}=\frac{BLv-BLv'}{2r} \qquad (2)$$

由(1)、(2)解得

$$v'=v-\frac{mg\cdot 2r}{B^2\cdot L^2}=5-\frac{0.01\times 10\times 2\times 0.1}{1^2\times 0.2^2}$$

$$=4.5\text{（米/秒）}$$

v'为正值，说明方向向上（与假设方向一致）。

2. 沿三条主线寻关联量

有些综合题反映的物理现象和物理规律错综复杂，相互渗透，难以实现划层次求解。这就迫使我们去寻找起纽带作用的关联量，从关联量展开解题思路。那么，根据什么线索去寻找关联量呢？纵观整个中学物理的知识结构，力、能量和动量是寻找关联量的三条主线。这三条主线往往把不同部分知识紧紧地联系在一起，抓住这些主线，也就抓住了解综合题的关键。下面结合例题来具体分析。

第一，力 这条主线的理论基础是牛顿运动定律和运动学规律。综合题所表现的形式有两类：一类是从受力分析去研究运动；另一类是从运动状态的变化去追溯受力。这里的

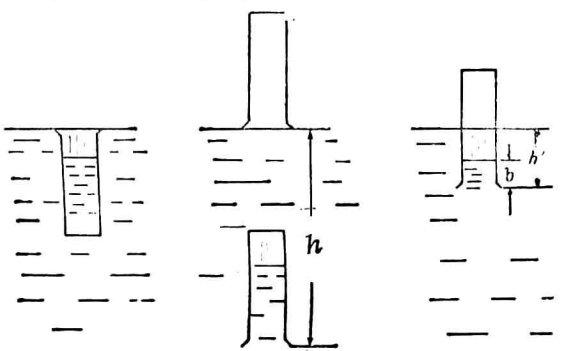
“力”不只在力学中，热学、电学和原子物理学中也有，常见的有万有引力(或重力)、弹力、摩擦力、电场力、磁场力等。

例38 有一高90厘米的圆桶容器，开口向上放入水中，当容器注入60厘米高的水时，它恰能平衡地浮在水中，且容器的口面与容器外水面平齐。若将容器倒过来，开口朝下压入水中，问：要将容器口面压入水中多深，撤去外力后，容器才能平衡在水中而不浮起？（设大气压为10^5帕斯卡，水的密度为1×10^3千克/米^3，g取10米/秒^2，容器壁厚不计，容器中空气质量不计，过程中温度不变。）

分析 这是一道气态方程、流体压强和浮力定律等知识综合运用题，力是联系这些知识的一条主线。

根据题意，容器开口无论朝上还是朝下，容器平衡时，浮力都要与容器所受重力相等，可见容器所受重力就是起纽带作用的关联量。

于是，题解便可从计算容器重量入手。当容器开口朝上且平衡时（如图5—29甲所示），所受浮力$F_{浮}$与重力G大



（甲） （乙） （丙）

图 5—29

小相等，即$F_{浮}=G$。因此容器重量

$G=F_{浮}=(0.9-0.6)S\rho g=0.3S\rho g$(牛)

容器重量G求得后，继续沿着力的平衡这一线索，通过关联量得知满足新的平衡时的$F_{浮}$，然后再根据阿基米德定律、玻一马定律找所求量。

设容器开口朝下压入水中，至某深度h时平衡，此时容器所受浮力$F_{浮}=G$。根据阿基米德定律，水进入容器但容器上方仍有$0.3S$米^{3}的空间（S米^{2}为容器横截面积，是假设量），原容器空气被压缩（如图5—29乙所示）。

由流体压强知识，平衡时容器中气体压强

$p_2=p_1+(h-0.6)\rho h$（p_1为初态压强，即10^5帕斯卡）

又根据玻一马定律

$10^5\times 0.9S=[10^5+(h-0.6)\times 1\times 10^3\times 10]\times 0.3S$

解得　$h=20.6$(米)

这是一个答案。根据二力平衡这条力的主线，是不是还有其它能满足　$F_{浮}=G$的情况呢？不难分析，还有一个如图5—29丙所示的情况。

设水进入容器的高度为b米，在液面下容器空间高度应为0.3米。以容器中原来气体为研究对象，初态：$p_1=1\times 10^5$帕斯卡，$V_1=0.9\times S$米^3；末态：$p_2'=p_1+0.3\rho g$帕斯卡，$V_2=(0.9-b)S$米^3。由玻一马定律可解得$b=2.6\times 10^{-2}$(米)，此时容器口压入水中，离水面深度$h'=32.6\times 10^{-2}$米，这是符合题意的又一答案。可以说，如果不是以力为主线，本题的这一答案难以求得。

第二，能量　能量是表示物质运动状态的物理量，不同形式的运动状态对应着不同形式的能量。力学中，机械运动

对应着机械能；热学中，分子的热运动对应着物体的内能；电场中，电荷的移动对应着电势能的变化；此外，交直流电路中，具有电能；原子核具有结合能等等。尽管物质的各种运动形式不同，但是它们都具有不同形式的能量。能量可以相互转化，能量转化的途径是做功或热传递，转化过程中，总能量守恒。

比如有这样一个简单问题：

一根质量为m千克的条形磁铁，在光滑的水平塑料板上向右运动，穿过一固定着的金属圆环。如果它通过位置A时的速度是v_1米/秒，通过位置B时的速度是v_2米/秒（如图5—30所示）。那么，在磁铁经过AB这段路程的时间内，金属环中电流产生的热量是多少？

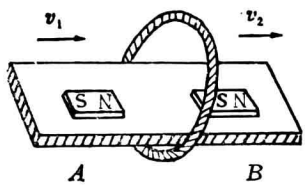


图5—30

这道题虽然简单，但涉及三种物质运动形式：磁铁的机械运动、圆环中产生电磁感应现象、电流的热效应。这些运动形式如何联系起来呢？我们说，贯穿这几种运动形式的主线索是能量，沿着这条线索，利用能量守恒与转化定律（即磁铁机械能的减少转化为电能，最后转化为内能），很容易导出答案：环中产生热量$Q=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2$（焦耳）。

例39 如图5—31所示，S处的电子经电压U_1加速，由孔C进入匀强磁场，然后沿竖直放置的带电平行板的边缘处D，进行板间匀强电场，最后又从另一板的边缘处离开。如果已知电子的质量为m，电量为q，板长为L。

(1) 平行板间电压为U_2，计算电子离开电场时的末速度值v_2；

(2) 左移正极板，使板间距离增大到原来的2倍，但仍要求电子从一板边缘进入板间电场，又从另一板边缘飞出，求其末速度值v_2'。

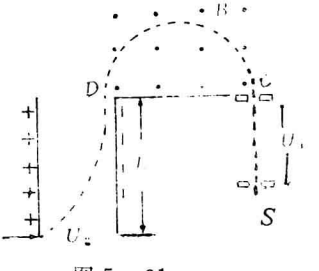


图 5—31

分析与解 这道题描叙了电子在电场中加速后，接着在匀强磁场中作匀速圆周运动，最后进入匀强电场发生偏转。整个过程涉及几种运动形式，但可以用能量联系起来。

(1) 对于电子，重力可略，磁场对电子的洛仑兹力与速度方向垂直，对电子的能量不作贡献。因此，设电子在D处的速度为v_1，应用动能定理可以把几个过程串起来，即：

$$\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=qU_2$$

电子在C处时 $qU_1=\frac{1}{2}mv_c^2$

$$\therefore\ v_c^2=\frac{2qU_1}{m}$$

由于$v_1=v_c$ $\therefore\ v_1=\sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$

$$\therefore\ v_2=\sqrt{\frac{2qU_2}{m}+v_1^2}=\sqrt{\frac{2q(U_1+U_2)}{m}}$$

(2) 当正极板左移，使板间距$d'=2d$(d为原极板间距)时，电子在板间沿竖直方向的速度相同，所以电子穿过板间电场区的时间t前后未变；水平方向上，电子逆着电力线作初速度为零的匀加速运动，根据$d=\frac{1}{2}at^2$（式中$a=F_{电}/m$

$=qE/m=qU/dm$），即

$$d=\frac{1}{2}\cdot\frac{qU}{dm}\cdot t^2$$

可得 $U\propto d^2$，于是

$$\frac{U_2'}{U_2}=\frac{d'^2}{d^2}=(\frac{2d}{d})^2=4$$

即 $U_2'=4U_2$

同理，$v_2'=\sqrt{\frac{2q(U_1+U_2')}{m}}=\sqrt{\frac{2q(U_1+4U_2)}{m}}$。

这道题若不抓住能量这条主线，解答将非常困难。读者不妨一试。

例40 钚239进行α衰变时放出$E_\gamma=0.09$MeV的γ光子，求钚核衰变时放射出的α粒子的速度。

分析与解 钚在衰变前，其核处于静止状态，动能为零。衰变后γ光子、反冲核及α粒子都具有能量。能量从何而来？毫无疑问，是平均结合能较小的核衰变成平均结合能较大的核时释出的能量。

钚衰变的方程式

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu}\rightarrow{}^{235}_{92}\mathrm{U}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}+0.09\mathrm{MeV}$$

根据能量守恒定律，衰变产物$^{235}_{92}$U和α粒子的总动能

$E=931(m_{Pu}-m_V-m_a)-E_\gamma$

$=931\times(239.051223-235.043941-4.002603)-0.09$

$=4.266149(\mathrm{MeV})$

由动量守恒定律，

$$m_U v_U+m_a v_a=0$$

将上式移项后平方 $m_U^2v_U^2=m_a^2v_a^2$

$$\frac{m_U^2 v_U^2}{m_a^2 v_a^2}=\frac{\frac{1}{2}\cdot m_U v_U^2 m_u}{\frac{1}{2}\cdot m_a v_a^2 m_a}=\frac{E_U}{E_a}\cdot\frac{m_U}{m_a}=1$$

$$\therefore\quad \frac{E_U}{E_a}=\frac{m_a}{m_U}=\frac{4}{235}$$

又 $E_U+E_a=4.266149\ \text{MeV}$

解得$E_a\approx 4.3\text{MeV}$

因此，α粒子的速度值

$$v_a=\sqrt{\frac{2E_a}{m_a}}=\sqrt{\frac{2\times 4.3\times 10^6\times 1.6\times 10^{-19}}{4\times 1.66\times 10^{-27}}}$$

$$=1.41\times 10^7\ (\text{米/秒})$$

方向与$^{235}_{92}U$的速度方向相反。

本题的解答以原子核的结合能变化为主线，以动量为“粘合剂”，把核能、光子能量及α粒子机械能及其转换串连为一体。

第三，动量 动量是量度物体机械运动的物理量，动量守恒定律是自然界最重要的最普遍的规律之一。当物体系所受的冲量为零时，系统的总动量不变化。系统中由于内部相互作用，会使单个物体动量不守恒，运动状态发生变化，但系统的总动量仍然守恒。这条重要规律能帮助我们处理许多复杂的物理问题，其中包括力学、电学、原子物理等各类定量计算题。

例41 质量为m_1的马蹄形磁铁直立在光滑平面上（如图5—32所示）；一颗铁质小球（其质量为m_2，且$m_2=m_1$），沿磁场中心线oo'穿过磁铁（初速为v）。问：小球运动状态稳定后，它和磁铁的速度各为多大？（涡流损耗不计）

分析与解 仔细研究小球穿过磁铁时的运动情况，发现无论是小球还是磁铁，运动情况都比较复杂。在小球靠近磁铁阶段中，小球加速，磁铁反向加速；在小球穿出磁铁阶段中，小球减速，磁铁也减速，方向相反。由于小球与磁铁间的作用力随着之间的距离变化而改变，因此它们各自作变加速运动。这已超出中学物理研究范围。中学生无法沿着力的线索去求解答案。同样，能量线索也无能为力。但是，贯穿整个运动过程的另一条主线——动量，能帮助我们撇开复杂的运动变化，直接解得答案。

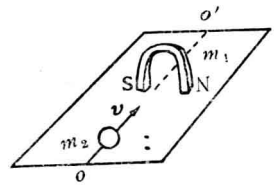


图 5—32

由于平面光滑，对小球与磁铁组成的系统来说，合外力为零，只存在相互作用。因此，无论它们怎样运动，小球从开始运动到运动稳定，系统内总动量和总动能守恒，即

$$\begin{cases} m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \\ \dfrac{1}{2} m_1 v_1^2 = \dfrac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \dfrac{1}{2} m_2 v_2'^2 \end{cases}$$

式中v_1为小球开始运动速度，v_1'和v_2'分别为运动稳定后小球和磁铁的运动速度。

解上列方程组可见，运动稳定后，小球的运动速度$v_1' = v_1$，磁铁的运动速度$v_2' = 0$。

这道题属于由动量直接起纽带作用的情况，只要抓住动量守恒定律，就抓住了解题的关键。如果象例40那样，动量作为一种“粘合剂”，将问题的各环节连结起来，同时还伴随能量的纽带作用，解题的难度就提高了。其实，只要根据

需要，交替抓住动量、能量两个主线索，难题也不足为难。

例42　甲、乙两个小孩各乘一辆冰车在水平冰面上游戏（如图5—33所示），甲和他的冰车的质量共为$M=30$千克，乙和他的冰车的质量也是30千克。游戏时，甲推着一个质量为$m=15$千克的箱子，和他一起以大小为$v_0=2.0$米/秒的速度滑行，乙以同样大小的速度迎面滑来。为了避免相撞，甲突然将箱子沿冰面推给乙，箱子滑到乙处时乙迅速把它抓住。若不计冰面的摩擦力，求

（1）甲至少要以多大的速度（相对于地面）将箱子推出，才能避免与乙相撞？

（2）甲在推出箱子时，对箱子做了多少功？



图　5—33

分析　本题若以力为线索，很难解得答案。根据题意，分别以动量和能量为主线，才能迅速得到正确解答。

在甲推出和乙抓住箱子过程中，小孩、冰车和箱子的总动量守恒。恰好避免相碰，是问题的关键，这个关键的突破口是乙抓住箱子后，甲和乙的速度必须相等。

解　（1）设箱子被推出后，箱子速度为v，甲孩的速度为v_1，根据动量守恒可得

$$mv+Mv_1=(m+M)v_0 \qquad (1)$$

又设乙孩抓住箱子后其速度为v_2，根据动量守恒可得

$$(m+M)v_2=mv-Mv_0 \qquad (2)$$

刚好不相碰的条件为$v_1=v_2$　　(3)

由(1)、(2)、(3)三式可解得

$$v=\left(\frac{m^2+2mM+2M^2}{m^2+2mM}\right)\cdot v_0$$

代入数值可得　$v=5.2$米/秒。

（2）设甲孩推出箱子时，对箱子做功为W，根据功能关系可知

$$W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

代入数值可得$W=1.7\times10^2$焦耳。

例43　相对于地面静止的一球爆炸成两块，质量分别为M和m，M相对m的速度为V。求：（1）内力（气体压力）的总功；（2）内力对M、m所做的功之比。

解　本题属动量和能量两条线索交织在一起的情况。

（1）设M对地的速度为v_1，m对地的速度为v_2（如图5—34所示）。

爆炸时，由于相互作用时间很短，M和m系统的内力远远大于外力，系统的动量近似守恒。根据动量守恒定律可得

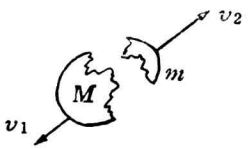


图5—34

$$mv_2-Mv_1=0$$

$$\therefore\quad v_1=(m/M)\cdot v_2 \qquad (1)$$

相对速度　$V=v_1+v_2=(m/M)v_2+v_2$

$$=(m+M)/M\cdot v_2$$

$$\therefore\quad v_2=\frac{M}{m+M}\cdot V \qquad (2)$$

根据动能定理，内力的总功

$$W=\Delta E_{k1}+\Delta E_{k2}=\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$$

$$=\frac{1}{2}M\left(\frac{m}{M}v_2\right)^2+\frac{1}{2}mv_2^2 \qquad (3)$$

将(2)式代入(3)式得

$$W=\frac{1}{2}\cdot\frac{Mm}{M+m}\cdot V^2$$

(2) 根据(1)式得 $mv_2=Mv_1$ (1)′

将(1)′两边平方后乘以1/2，即

$$\frac{1}{2}(mv_2)^2=\frac{1}{2}(Mv_1)^2$$

变形后得

$$m\cdot\frac{1}{2}mv_2{}^2=M\cdot\frac{1}{2}Mv_1{}^2$$

$$\because\quad \Delta E_{k1}=\frac{1}{2}Mv_1{}^2-0$$

$$\Delta E_{k2}=\frac{1}{2}mv_2{}^2-0$$

$$\therefore\quad \frac{\Delta E_{k1}}{\Delta E_{k2}}=\frac{m}{M}。$$

综上所述，力、能量和动量是解综合题的三条主线。三条主线可能分别贯穿于题目中，也可能其中两条贯穿于同一题的不同部分，甚至还可能三条主线交织于同一题，构成难度更高一些的综合题。无论哪种情况，只要掌握了前述的抓关键的方法，就会事半功倍。

第三节　实验题

物理学是一门以实验为基础的自然科学。俗话说：物理、物理，以物论理，离开实验，无从谈起。作为中学生，在中学阶段就要掌握一定的从事实验工作的能力，这不仅是为今

后的学习和工作奠定基础，也是学好物理知识的基础。物理实验题就是用来检查和培养学生实验能力的一类物理题。

一、实验题的类型

中学物理中，实验题的型式很多，几乎包括所有的标准化题型。不同的题型，有不同的特点，但作为实验题，它又有自身内在的特点。根据实验题的特点，可以把它归纳为六种类型。

1．基本仪器的使用题

这类题主要是检查基本仪器掌握情况，其中包括仪器的名称，如刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器、天平、弹簧秤、打点计时器、温度计、量热器、电流表、电压表、滑动变阻器、电阻箱、万用表、示波器等。除此以外，这类题还往往用来检查基本仪器的使用原理、操作顺序、读数常识、注意事项等等。



图 5—35

如图 5—35所示，被测物体长度是多少厘米？你能准确地从刻度尺上读出吗？（答案：2.00厘米）

例44 用螺旋测微器测量一矩形小零件的长和宽时，螺旋测微器上的示数如图 5—36所示。图甲的读数是_____毫米；图乙的读数是_____毫米。（1986年高考题）

分析 这道题是考查螺旋测微器的读数知识，我们应当在理解其构造、原理的基础上熟练掌握读数方法，即在读数

时要用有效数字表示。毫米、毫米的十分位、毫米的百分位



（甲）　　（乙）

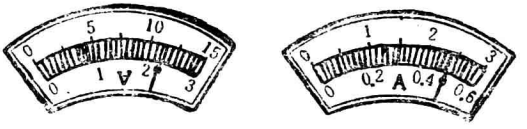
图 5—36

数字都可直接从刻度上读出，作为可靠数字；而毫米的十分位数字要通过观察来估计，作为不可靠数字。有效数字由可靠数字与不可靠数字组成，这在前面已经讲过，读数时应当注意。该题的答案分别为8.474毫米和6.576毫米。

例45　把答案填写在题中横线上。

（1）用伏特表的 0～3 伏特档测电路中某两点间的电压时，表的指针位置如图 5—37甲所示。从伏特表读出的电压是_____。

（2）用安培表的 0～3 安培档测某一电路中的电流时，表的指针位置如图 5—37乙所示。从安培表读出的电流是_____。



（甲）　　（乙）

图 5—37

分析　本题在读数时，除了明确上题已述的有关读数知识外，还要注意多量程而共用一个刻度盘的仪器，“对号入

座”地根据档别相应刻度读数。该题答案分别为2.20伏特和2.40安培。

2. 测量性实验题

利用测量仪器测量基本物理量，如长度、质量、力、即时速度、加速度、温度、电阻、电流强度、电压、电源电动势和内电阻、光波的波长等。其中一些物理量如长度、力、电流强度、电压、温度等，能利用测量工具直接测得，它们的测量方法与相应的基本工具使用方法是一致的。其它一些物理量，必须在基本物理量测定基础上，运用物理规律间接测得。

例46 如图5—38所示，S是侧壁上开有一个三角形小孔的光源箱，M是平面镜，L是凸透镜。图中上方所画的是各个器材在光路图中采用的符号。现在要用这些器材和光具座，并根据凸透镜焦点的性质，即从焦点发出的光线经凸透镜折射后平行于主轴，这些光线经凸透镜折射后会聚在焦点这一规律，测定凸透镜L的焦距。

（1）画出反映测量原理的光路图；（2）扼要说明实验步骤。

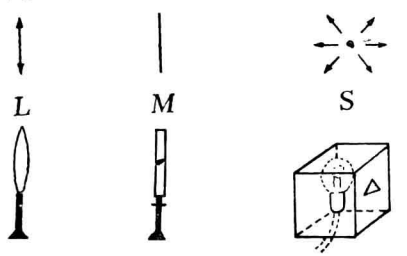


图 5—38

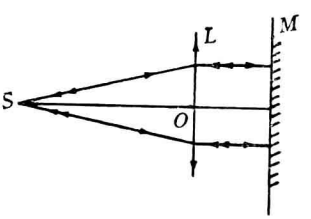


图 5—39

解 （1）图5—39为反映测量原理的光路图。

（2）实验步骤：

① 把光源箱、凸透镜、平面镜按照原理图那样放在光具座上，并调整它们的高度，使光源箱小孔、透镜光心和平面镜的中心在一条直线上。

②调节光源箱和凸透镜间的距离，直到从三角形小孔射出的光线，经透镜折射和平面镜反射后，在光源箱侧壁上出现三角形孔的倒像。其底边与原来的三角形底边重合。（图5—39中S为三角形孔底边上任一点发出的光源）

③ 量出透镜与三角形孔间的距离，从而得到透镜的焦距。

3. 观察性实验题

法拉第曾经说过：没有观察，就没有科学。科学发现诞生于仔细的观察之中。无论是自然界还是物理实验中所表现的物理现象，我们都要注意观察，并把观察和思维紧密结合起来。因此，为了检查观察能力，实验题中出现了一种从现象归纳出规律，或者由物理规律分析会发生什么现象的观察性实验题。

例47 在一块磁铁下放一个铜盘，铜盘可自由绕轴转动（如图5—40所示）。当磁铁迅速旋转时：

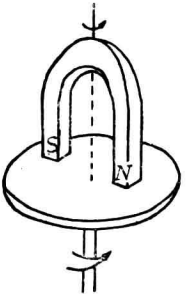


图5—40

① 由于铜盘内产生感生电流，磁场对电流作用使得铜盘也随同转起来；

② 铜盘相对切割磁力线，于是

相当于无数根辐条形导体组成的圆盘产生感生电动势，但没有感生电流，因此，第①种说法是错误的；

③ 磁铁对非铁磁性物质的铜盘没有作用，故铜盘转不起来；

④ 根据作用和反作用定律，铜盘反转。

答 ①。

例48 肥皂泡呈现的彩色，通过狭缝看到的电灯泡灯丝的彩色条纹和天空中出现的彩虹，分别属于

① 光的色散、干涉、衍射。

② 光的干涉、色散、衍射。

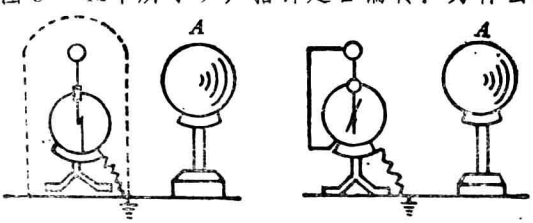
③ 光的衍射、色散、干涉。

④ 光的干涉、衍射、色散。

答 ④

例49 用静电计做以下三个实验，开始时静电计不带电，试简要回答：

① 将静电计用金属网罩罩住后，用带电体A靠近静电计时（如图5--41甲所示），指针是否偏转？为什么？



（甲） （乙）

图5—41

② 把金属网罩去掉，用导线将静电计的金属球和外壳连接起来，再将带电体A靠近静电计时（如图5--41乙所示），

指针是否偏转？为什么？

答 甲、乙两种情况指针都不偏转，理由请读者自行考虑。

4．验证性实验题

验证性实验是将有关的物理规律通过实验予以验证。这类实验有利于学生加深对物理知识的理解，如验证牛顿第二定律，机械能守恒定律、玻—马定律、气体状态方程、楞次定律等等。相关的实验题构成验证性实验题，其中一部分是采用课本中学过的实验装置，如下例：

某同学利用重物自由下落来验证机械能守恒定律，实验时得到一条打点纸带（如图5—42所示），打点计时器打点频率是25赫兹，其它数据由纸带可得。

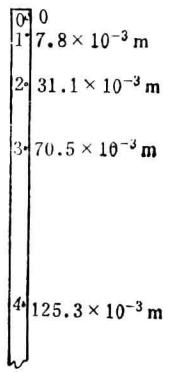


图 5—42

（1）根据打点纸带数据列表；

（2）根据表中数据验证机械能守恒定律。设$g=9.813$米/秒^2。

这类验证性实验题比较多，还有一种是利用不同于课本所采用的实验装置，通过别的渠道进行验证。例如：

用下面的方法可以验证向心力公式$F=mv^2/R$。按图5—43示意的那样，在半径为R的光滑半球面内放一刚性光滑小球，半球面内侧有0～90°的均匀刻度线，且半球面可绕轴OO'

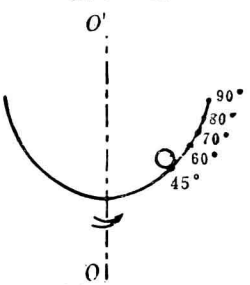


图 5—43

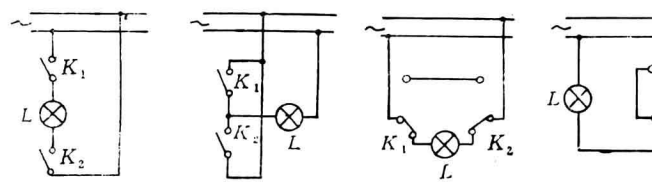
匀速转动，转速可调。

试简明叙述实验步骤及所需测量的数据。

5．应用性实验题

所谓应用性实验题，是指根据所学知识，运用有关的仪器设备解决实际问题的实验题。这种实验，是训练应用仪器的能力的实验。例如，初中物理中的安装简单的照明电路题：

楼梯（或楼道）的照明灯L，要求在楼梯的上、下两头都能控制它，即拨动楼梯上下开关K_1、K_2中的任一个，都能开灯或关灯。为此，下列电路中正确的应是：① 甲；② 乙；③ 丙；④ 丁。



（甲）　（乙）　（丙）　（丁）

图 5—44

这就是一道应用性实验选择题，毫无疑问，该题的正确答案应是④。

高中物理中，这种应用性实验题涉及面较广，难度也大。

如图 5—45，给出仪器：电源（电动势$\varepsilon=2$伏，内电阻$r=0.2$欧。）、滑线变阻器（阻值范围为0～8欧）、安培计（量程为0～100毫安，0～200毫安，内阻$r_A=2$欧）、伏特表

（量程为0～1伏，0～2伏，内阻r_V＝50千欧）和被测电阻 R（阻值估测为10～20欧）。试将它们联成分压电路，使电阻 R 上所得到的电压可以从零逐渐变大，并使该电路能测量电阻R，且要求测量误差尽可能小。

（1）画出电路原理图；

（2）按原理图连接实物；

（3）通过计算说明你所选择电表的量程是正确的。

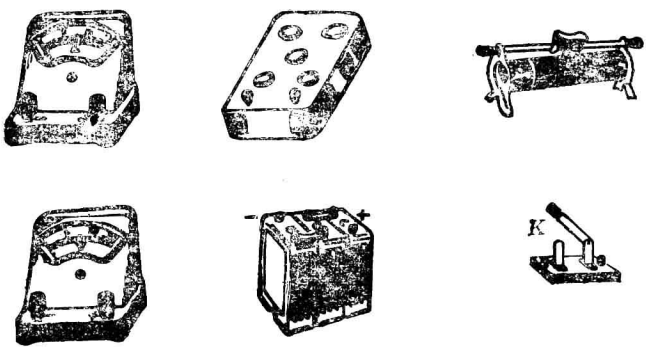


图 5—45

还有一些应用性实验题，是应用物理规律分析寻找实验故障，如在“用惠斯通电桥测电阻”实验中，就经常出现故障。如图5—46所示电路，随着滑动触头 D 由 A 移向 C，电流表 G 中的电流逐渐增大；当 D 向左移动时，电流表 G 中的电流逐渐减小，直至移到端点 A 时，电流表指针才不发生偏转，如果提出：这是什么

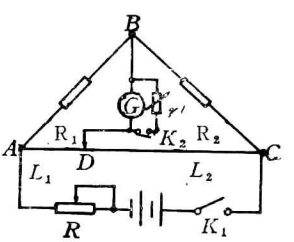


图 5—46

原因？故障出在什么地方？如何排除？这就成了一道应用性实验题。

6．探索性实验题

学生分组实验中，有相当一部分是属探索性的实验，即要求通过实验找出尚未学习过的物理知识或规律。例如，“研究弹簧秤的刻度”、“研究滑动摩擦”、“研究液体的压强和深度的关系”、“研究杠杆的平衡条件”、“研究匀变速直线运动”、“研究弹性碰撞”、“电场中等势线的描绘”、“研究电磁感应现象”、“研究变压器的作用”等实验。近年来，不少教师把课堂的演示实验变成探索性实验。这些实验的特点是引导学生独立思考，运用已有知识创造性地去获取新的知识。把这些探索性实验改编成实验题，就成为探索性实验题。例如，给你下列实验器材：

（1）量程为0～0.5～2.5安的安培表一只，量程为0～3～30毫安的毫安表一只。

（2）量程为0～1.5～3伏的伏特表一只，量程为0～3～6伏的伏特表一只。

（3）规格为1千欧、0.1安和20欧、2安的滑动变阻器各一只。

（4）三节作为电源的干电池串联，还有电键和导线。

现要较准确地测定电源的电动势和内阻，试回答：① 选用哪些器材？注明规格，并画出实验原理图；② 简要说明实验步骤；③ 分析电路中接入的电表对测量结果有什么影响？

这类实验题由于学生做过相应的实验，解答并不困难，

困难的是一些根据已学物理知识，另编的探索性实验题。例如：

有两只伏特表A和B，量程已知，内阻未知。另有一干电池，内阻不可忽略，但数值未知。只需用这两只伏特表、电键和一些导线，就能通过测量计算出这个电池的电动势（已知电动势不超出伏特表的量程，干电池不许拆开）。

这类题跟常规题比较，缺少了一个条件：电阻已知；但多给了一只伏特表，难度加大。因而只得根据题给条件，另行设计电路（如图5—47所示）。并根据全电路欧姆定律列方程：

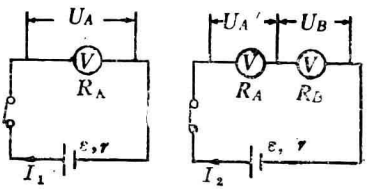


图 5—47

$$\begin{cases}\varepsilon=I_1(R_A+r)\\ \varepsilon=I_2(R_A+R_B+r)\end{cases}$$

又$U_A=I_1R_A$；$U_A'=I_2R_A$；$U_B=I_2R_B$。

由以上各式解得电池电动势$\varepsilon=\dfrac{U_A\cdot U_B}{U_A-U_A'}$。

这类实验题已经涉及实验方案的设计。再举一例：

例50 给你一把很轻的有刻度的直尺，一个已知重量为G的可悬挂的物体，怎样才能粗略地测出一根棉线所能承受的最大拉力？（要求说明理由并画出装置图）

分析 这是一道很好的探索性实验题，如果能思想到如图5—48所示装置图，则答案就能很快得到，即棉线能承受的最大拉力是

$$F=\frac{\overline{AO}}{\overline{OB}}G。$$

实践表明，这种探索性实验题，有利于培养学生创造性运用知识和解决实际问题的能力。现行高中物理（乙种本）中出现的一种所谓“黑匣子”问题，包括电路“黑匣子”和光路“黑匣子”等，也属探索性实验题。例如：

在图5—49中，盒内有由导线和三节干电池组成的简单电路，A、B、C、D是四个接线柱，用伏特表测量任意两点

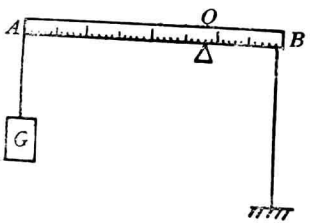


图 5—48

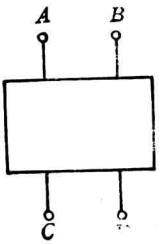


图 5—49

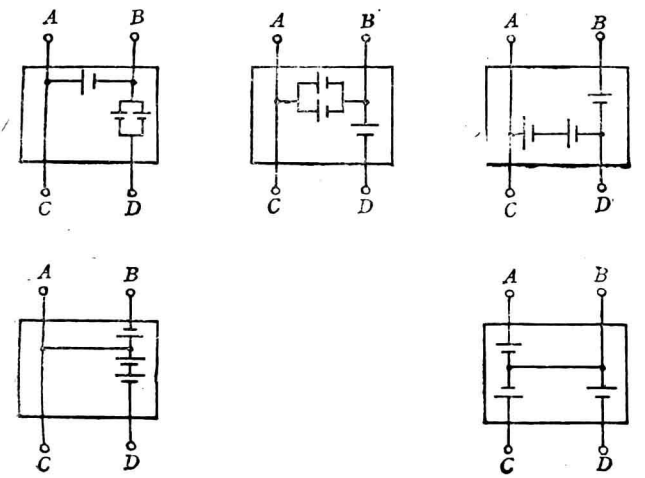


图 5—50

间的电压，其结果为：$U_{AC}=0$，$U_{BD}=U_{AB}=U_{CB}=1.5$伏，$U_{AD}=U_{CD}=3$伏，试判断盒内电池是怎样连接的？

这类题能启迪思维，读者可运用推理的方法判断。该题盒内电池有五种连接的可能（如图5—50所示）。

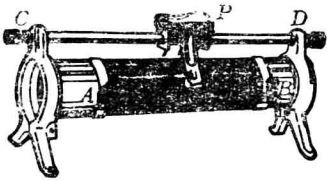
二、实验题的解题特点

物理实验题是提高学生实验素质的一种辅助手段，它能帮助我们掌握实验的原理、操作和技巧，还能从知识、能力两个方面检查我们对实验的掌握情况。但物理实验题终究不能代替观察和实验，如果只重视实验题的解答，而忽视去直接进行实验，那就本末倒置了。因此，要想提高实验题的解题能力，关键在于运用科学的思维方法，观察并分析自然界和实验中的物理现象和物理过程，动手与动脑相结合，独立完成学生实验。这里，我们从几个方面进一步说明。

1．正确熟练地使用基本仪器

无论是关于基本仪器使用的实验题，还是测量性实验题，正确熟练地使用基本仪器是基础。这就要求根据测量的需要，选用适当规格和量程的仪器，掌握仪器的调节和使用要领，并能准确读出测量结果。例如滑动变阻器（如图5—51所示），这是电学实验中常用的基本仪器之一，初中物理就已学过，然而即便是高中生也常把接线柱接错。例如把滑动变阻器绕组的两个端点A和B接入电路，使变阻器成了固定电阻，失去了调节变阻的作用；或把变阻器滑杆的两个端点C、D接入电路，使变阻器短路。

实验时要注意将图物对照，弄清各接线柱在电路图中的对应位置（如图5—51乙所示），变阻器的限流和分压作用



（甲）　　（乙）

图 5—51

以及在实际电路中如何接线，实验中如何选择变阻器的规格等等。这些概念性问题都必须在实验中牢牢记住。否则，一道实验题常由于滑动变阻器的使用错误，而导致全题性的错误。近年来我国高考中就常出现这种情况，例如1984年高考物理试题中的一题：

图5—52所示的器件中，一部分是将电流表改装为伏特表所需的，其余是为了把改装成的伏特表跟标准伏特表进行核对所需的。首先画出改装和核对都包括在内的电路图（要

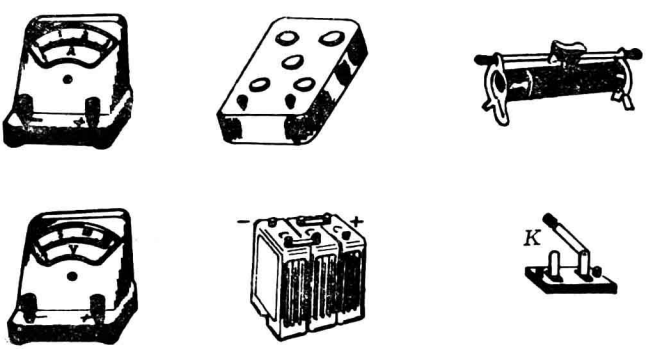


图 5—52

求对0～5V的所有刻度都能在实验中进行核对）；然后在图中画上连线，将所示器件按以上要求连接成实验电路。

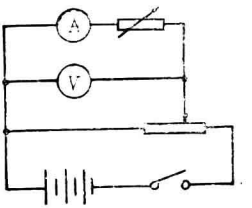


图 5—53

正确的答案如图 5—53和图 5—54所示。但是，从试卷分析来看，因滑动变阻器接线错误（包括原理图的画法和实物接线的错误）比例相当大。常错的类型如下。

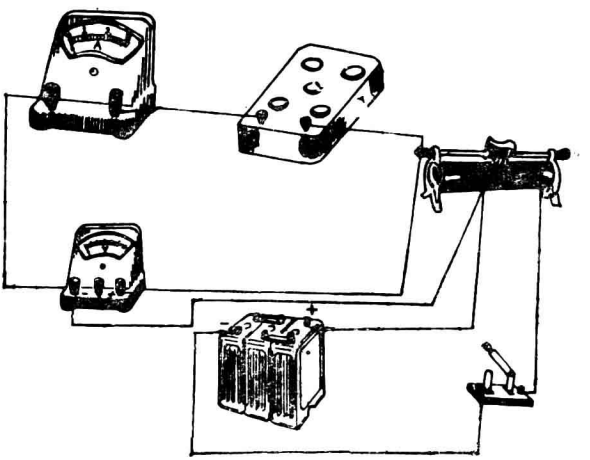


图 5—54

（1）原理图和实物图上都将滑动变阻器作为可变电阻使用。如图 5—55所示，由于两电压表的并联电阻R_V相当大，约为10^4欧数量级，滑动变阻器最大阻值为50欧。若电源内阻不计，则伏特表获得的电压为$U=\frac{\varepsilon}{R_V+R}\cdot R_V$，因为$R_V\gg R$，所以 $U\approx\varepsilon$。可见，滑动变阻器上电压降很小，当移动其

滑键时，伏特表上的电压值仅在略小于电源电动势的一个小范围内变化，显然不能满足题目的要求。

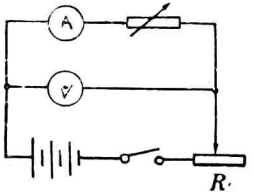


图 5—55

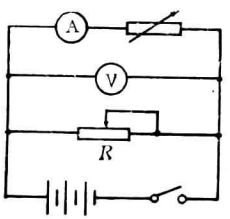


图 5—56

又如图5—56所示，滑动变阻器与两伏特表并联后接到电源上，因为$R_V \gg R$，电路的外电阻约为R，则伏特表量度的电压为电源的端电压，即 $U=\frac{\varepsilon}{R+r}\cdot R$。可见，当移动滑动变阻器滑键时，$R$在0～50欧间变化，由于$r$很小，故$U$可在0～5伏内变化。但是，当$R=0$或$R<6$伏/1.5安$=4$欧时，由于电流超过滑动变阻器的额定电流（1.5安），使仪器造成损坏，所以这种电路也不可采用。

（2）原理图正确，但实物连线时把滑动变阻器串联在电路上，当作可变电阻器使用。

因此，在平时实验中，必须加强基本实验技能的训练，特别要掌握基本仪器的构造、原理和正确安装、调整、使用方法，这是正确解答这类实验题的关键。

2．掌握实验的基本原理和方法

实验前胸中无数，实验中盲目被动，这是实验室中屡见不鲜的现象。如果把做过的实验改编成实验题，这些同学必然是束手无策。原因就在于他们未真正掌握基本的实验原理

和方法。

图5—57为研究碰撞实验的装置示意图。当质量为m_1的小球从A处沿斜槽滚下，经光滑的水平部分$\overline{BC}$飞出后，落在地面的P点；当小球m_1仍从A处滚下，与置于槽的水平部分C点的另一个质量为m_2的小球正碰后，m_1和m_2分别落在地面上，跟P点在一条直线上的M点和N点。已知$m_1=3m_2$，若测得小球两次飞出的水平距离的关系为$\overline{OP}:\overline{OM}:\overline{ON}=2:1:3$，这就表明小球是弹性碰撞（不考虑小球的滚动影响）。试说明这个实验的基本原理。

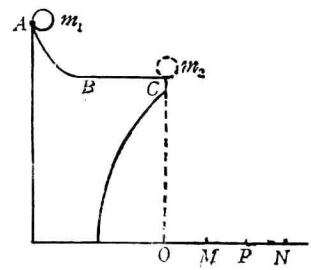


图5—57

高中物理中，有“研究弹性碰撞”的学生实验，该实验的原理中，巧妙地利用了小球飞出后，落地点的水平距离在数值上为其水平速度。这一原理同样适用该题，于是可列式

$$v_1:v_1':v_2'=\overline{OP}:\overline{OM}:\overline{ON}=2:1:3$$

$$m_1\cdot\overline{OP}=m_1\overline{OM}+m_2\overline{ON}$$

$$m_1\cdot\overline{OP}^2=m_2\overline{OM}^2+m_2\overline{ON}^2$$

式中v_1为m_1第一次平抛时的初速度，v_1'和v_2'分别为m_1与m_2正碰后的平抛速度。

解方程组并代入数值，证明等式成立，原题得证。

弄懂实验的基本原理和方法，不仅能深化对物理规律的理解，还有助于研究怎样利用有关物理原理，通过什么样的方法，采取哪些步骤来达到实验目的。把弄清一般的实验原理和方法上升到实验方案的研究，实质上已经在提高设计实

验能力上迈开了一步。试看下例：

例51　用手枪发射金属子弹。请你设计测子弹初速度的实验方法。要求用简洁的文字和图示说明物理过程，并写出相应的公式。

解　此题的解答方案很多，下列四种：

〔1〕冲击摆法（如图5—58所示）

(1) 子弹与靶发生完全非弹性碰撞，则

$$mv_0=(M+m)v \qquad (1)$$

(2) 合为一体后，摆上升高度h，满足机械能守恒条件，

$$\frac{1}{2}(M+m)v^2=(M+m)gh \qquad (2)$$

测出M、m、h(或L、θ)，由(1)、(2)两式即可求出v_0。

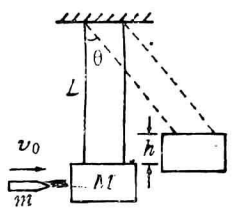


图5—58

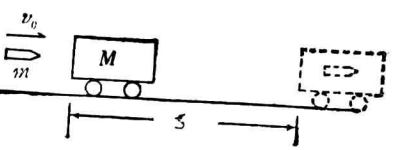


图5—59

〔2〕冲击小车法（如图5—59所示）

把小车放在水平支承板上，测出小车与支承面相对运动时的摩擦力f，实验时用手枪把子弹水平射入小车（碰撞时略去摩擦力的影响），则

$$mv_0=(M+m)v \qquad (1)$$

子弹射入小车后合为一体，且以初速度v运动，测出从始点至停止时的距离s，根据动能定理可列式

$$-f \cdot s = -(M+m)v^2/2 \qquad (2)$$

由(1)、(2)两式可解得v_0。

〔3〕转盘法（如图5—60所示）

用电动机带动两个同轴的圆盘，使其转动角速度为ω，盘间距离为s；垂直于盘1打出一发子弹，测出盘2上的孔相对盘1上的孔偏转角度ϕ，由$\phi=\omega t$和$s=v_0 t$，可求得v_0。

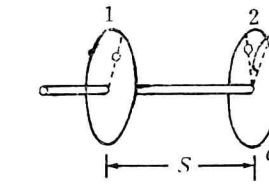


图5—60

〔4〕光电或电磁转换法

利用光电计时装置测出在枪口附近，子弹通过很短距离Δs及所需的时间Δt，由$v_0=\Delta s/\Delta t$即可求得v_0。

3。不断提高观察力

自然界中充满着形形色色的物理现象，如春、夏、秋、冬四季的变化，又如风雨、冰雪、雷电天气的动向，等等。在这些千变万化的物理现象面前，你仔细观察过吗？夏天吃棒冰、棒冰周围会冒“白汽”，你发现了没有？你想过了没有？这是什么现象？是蒸发还是升华，是凝华还是液化？

再举一例：

如图5—61所示，L是一水平放置的点亮的$8W$日光灯管，T是一藤椅的竖直靠背，横的藤条与日光灯管平行，竖的藤条与日光灯管垂直，横竖藤条间都是透空方格。P是与藤椅背平行放

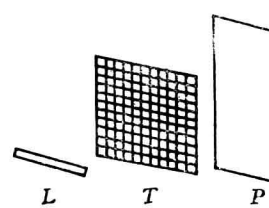


图5—61

置的很大的白屏。现将白屏从紧贴椅背的地方慢慢向远处（图中右方）平移，在屏上会陆续看到什么图象？

也许你会感到迷惑，因为你平时没有留意这种现象。

为什么大量的物理现象在我们眼前闪过，我们却毫不留意，不能及时捕捉呢？原因在于平时未注意培养观察能力。

如何提高实验的观察力？通常应注意从两个方面去努力。

一方面是多观察、勤思考。观察实验是提高观察能力的主要途径，从提高观察量度仪器、仪表的能力开始，到提高观察物理图线和图表的能力，进而发展到善于在实验中或生活中分辨主次，找出研究对象，注意从隐蔽的细节中发现有关的现象。例如在做电磁感应的研究实验时，我们发现，通电原线圈不仅在副线圈中插入或取出时，副线圈有感生电流产生，就是在贴近副线圈外边上下移动，或在副线圈上端平移都有微弱电流产生，但是通电线圈和副线圈在一个平面内略加转动时，则很难看到电流表指针偏转。观察到这些现象并及时认真分析，不仅对产生感生电流的条件会有更深刻的认识，而且对电磁感应现象的各种表现会了解得比较透彻。

另一方面是牢固地掌握物理知识，从知识的深度和广度上更进一步。这不仅会提高观察的敏锐性，而且还会提高对现象的预见性。例如图5—61所示装置的实验，我们可以根据光学规律判断得出如下结论：白屏很靠近椅背时，在屏上看到水平与竖直藤条的暗影，形成方格图象；白屏移远些时，在屏上只看到水平藤条的暗影，形成水平直条图象；白屏移到足够远处后，屏上的光亮接近均匀，看不出暗影。读者想一想，这是如何从理论分析得到关于现象的结论的？

观察力是智力活动的门户，平时应当注意培养。比如在学习光的干涉时，有的同学不仅仔细观察教师演示的狭缝干涉和薄膜干涉的图样，而且注意观察生活中的干涉现象，如水面上油膜的干涉图样，昆虫羽毛表现的干涉图样等；甚至还注意发现尚未听闻的光学现象。比如在灯下快速翻书（如图5—62所示），即把书稍卷起，用大姆指挡住活页一侧，逐渐移开姆指，使书页快速松开，则在书页活动一侧方向可见彩色图样。为什么会产生这种现象？请读者三思。

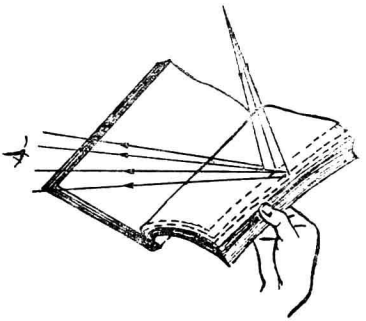


图5—62

4．认真完成实验报告

物理实验的三大环节是，预习实验、进行实验和完成实验报告。因此，每做一个实验，认真写一份实验报告是必要的。在初中阶段，实验报告统一于固定的格式，而高中阶段，一般不强求一律，只要抓住报告的主要内容，形式可以不拘。实验报告的主要内容有名称与目的、仪器和器材、原理和步骤、数据记录和处理、结果和讨论等等。其中讨论包括误差分析、故障分析和问题研讨。通常将报告内容改编，从而得到很好的实验题。现以“数据记录和处理”为例来说明。

数据记录包括正确读数、记录数据。最常用的实验记录

方法是列表记录法。实验中的重要原始资料，如“研究匀变速直线运动”实验中的打点计时纸带等，都要作为记录数据的原始凭证。

数据处理包括两方面：一是在对直接测量的量进行记录后，根据有效数字的计算法则，通过公式运算求得结果。

二是正确作图，利用物理图象，形象、直观地揭示物理规律。物理图象有直线，有曲线，直线图象绘制方便，且由直线的截距和斜率等，还可以得到许多关于实验规律的信息。因此，中学物理实验中“曲线改直”方法，就是一种常用的处理数据的方法。例如：在“研究加速度和质量的关系”实验中，外力不变时，加速度和质量关系，不是用描点法作 $a\sim m$ 图象，而是作出 $a\sim 1/m$ 图象。因为 $a\sim m$ 图象是曲线，很难从图象得出 a 与 m 间的定量关系，而 $a\sim 1/m$ 图象是直线，a 与 m 的反比关系一目了然。

例52 一定质量的气体，在等温条件下测得的体积 V 与压强 p 的数据记录在下表：

V（米^3）	1.00	0.500	0.400	0.250	0.200
p（10^5帕）	1.45	3.10	3.95	5.98	7.70

（1）根据记录的数据，在坐标纸上描出一条直线来表示这两个量的关系。

（2）由所作的直线，当 $p=8.85\times 10^5$ 帕时，求该气体的体积。

答 已知 p 和 V 的测量数据，由于一定质量的气体，等温时 $p\cdot V=$ 常数，所以可以由 $\frac{1}{V}$——p 图作直线表示这

两个量的关系。根据体积 V（米^3）的数据可列相应的 $1/V$（米$^{-3}$）值，即

V（米^3）	1.00	0.500	0.400	0.250	0.200
$\frac{1}{V}$（米$^{-3}$）	1.00	2.00	2.50	4.00	5.00

用描点法将图线作于坐标纸上（如图5--63所示）。

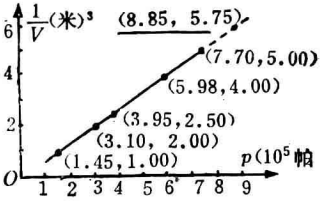


图 5—63

由所作的 $\frac{1}{V}$—— p 图线（直线），可用外延法直接查得。$p=8.85\times10^5$ 帕时，$\frac{1}{V}=5.75$米$^{-3}$，则该气体体积

$$V=\frac{1}{5.75}=0.174\text{（米}^3\text{）}$$

如果我们每做一次实验都能认真写一份实验报告，那么你对实验原理的理解将深入一步。无疑，这对培养思考问题和解答实验题的能力大有裨益。下面举一个根据一份实验报告的部分内容改编的实验题。

例53 在测标有（6.3伏，1瓦）的小灯泡灯丝电阻的实验中，当灯泡接入额定电压时，试回答下列问题：

（1）从下列提供的仪器设备中，选出必须的实验器材，在器材后括号内用“✓”示之。

小灯泡（6.3伏，1瓦）（　　），　小灯座（　　），

电压表（0～3～15伏）（　　），学生电源（　　），

电流表（10毫安）（　　），电键（　　），

滑动变阻器（2000欧）（　　），导线（　　），

滑动变阻器（50欧）（　　），米尺（　　），

螺旋测微器（　　），游标卡尺（　　），

电阻丝（$\rho=4.35\times10^{-7}$欧·米）（　　），

万用电表（只能作检查电路及校准用）（　　），

电工工具（包括砂纸）（　　）。

（2）画出测小灯泡灯丝电阻的电路图，并注明器材的规格或量程。

（3）如何将电流表（量程10毫安、内阻$R_g=200$欧）改装成符合规格要求的电流表。

（4）试分析实验误差的原因。

答　（1）（✓），（✓），（✓），（✓），（✓），（✓），（✓），（✓），（　　），（✓），（✓），（　　），（✓），（✓），（✓）。

（2）根据给定小灯泡的额定电压和额定功率值，可以估算出小灯泡在额定电压下使用时的灯丝电阻（$R=U^2/P$）约为40欧，额定电流（$I=P/U$）约为150毫安。因此，应选用伏安法测低电阻的电路（图5—64）来测量小灯泡的灯丝电阻：

电压表选用15伏档；

电源电压取$E>6.3$伏；

滑动变阻器选2千欧；

根据额定电流值，应将量程只有10毫安的电流表改装成满量程为200毫安的电流表。

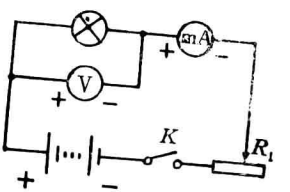


图5—64

(3) 电流表的改装。

① 分流电阻的计算。由图5—65可得电流表（10毫安）的并联电阻

$$R'=\frac{10\times 200}{190}=10.53(\text{欧})$$

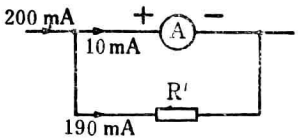


图 5—65

② 分流电阻的制作。分流电阻R'可从电阻丝上截取，其长度可由公式$R=\rho\frac{L}{S}$算得。

电阻丝的截面积可用螺旋测微器测量其直径算得。直径d可多次测量求平均值，则

电阻丝截面积$S=\pi(\frac{\overline{d}}{2})^2$

电阻丝长度 $L=\frac{R\cdot S}{\rho}=\frac{\pi R}{\rho}\cdot(\frac{\overline{d}}{2})^2$

用米尺量得电阻丝的长度（两端略放长一些），将放长的部分紧固于电表接线柱上。

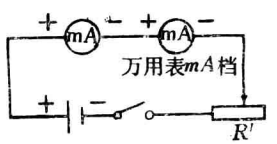


图 5—66

③ 改装电表校准。校准电路如图5—66所示。

(4) 实验误差原因主要在于：

① 改装的电流表不够准确。由于测量电阻丝的直径时须先用砂纸打磨去表面的绝缘层，打磨不当使直径的测量造成误差；将电阻丝并接于电表接线柱时，尽管两端放长了一些，但接点很难控制在准确长度；电阻丝本身线径也难做到均匀一致。

② 电流表和电压表本身精确度较差。

③ 实验电路造成误差。尽管选用伏安法测低电阻电路，但由于电压表的内阻不够高，分流不可忽视，从而使得电流表的读数大于流过灯丝的实际电流。

5。手脑并用，学会探索

探索性实验题难度较大，这是因为实验每前进一步要靠自己探索，没有一个预先设计好的步骤、程式可以仿照。解这类题关键在于平时多练习。

首先要重视探索性实验。在分组实验中，既动手又动脑，注意学习和模仿前人的探索方法，体会在方法运用上的奥妙，并通过实验去寻找新的物理规律。当观察探索性演示实验时，也同样要独立思考，学会探索。

例如，在做完“用单摆测定重力加速度”实验后，我们不妨自问，能否探索其它的方法来测定重力加速度？这样我们可能会提出许多新的实验方案，如利用自由落体的闪光照片，利用打点计时器，利用落棒，利用滴水法等等。甚至在实验条件较差的情况下，也可以探索新的实验途径。如上述实验中不给游标卡尺（测摆球半径值）怎么办？

我们可以改变摆长重复实验，设第一、二次摆长分别为L_1和L_2，球半径为r。根据单摆周期公式可得

$$T_1=2\pi\sqrt{\frac{L_1+r}{g}} \qquad T_2=2\pi\sqrt{\frac{L_2+r}{g}}$$

由以上两式得

$$g=4\pi^2\cdot\frac{L_2-L_1}{T_2^2-T_1^2}$$

式中L_1、L_2、T_1和T_2都可测得，于是可求得重力加速度g。

其次，在其它类型实验面前，也应注意探索新问题。

把验证性实验变成探索性实验，把实验过程变成“模拟的科学研究过程”。例如在学习初中长度测量的特殊方法——“变曲为直”之后，可以根据齿轮传动装置制作里程表；高中学习“显示微小形变装置”之后，可以探索一些显示微小形变的简单方法等等。这样课外与课内紧密的配合，在各类实验中不断训练科学实验的研究方法。

第三，加强设计实验的练习，不断总结实验设计的思想方法。通常实验设计的思考方法有下列几种：

（1）垒积法。把微小的不便被测量的量垒积后测量。如初中物理长度测量的“变薄为厚”的方法，将相同厚度的薄物叠加测量（如测薄纸厚度，测小钢珠、细导线直径）。又如测单摆的周期，可测 n 次全振动的总时间，再算出周期。

（2）替换法。用已知量替换待测量进行实验，然后求出未知量。如只给下列器材：电阻箱R、电流表G、调节分流器S，换向开关K，电源和导线。如何测未知电阻。

采用替换法，如图 5—67所示。先将K与R_x相接，调节S，准确读出电流表读数。再将K与R相接，并调节R，使G表读数与前次相同，则电阻箱上电阻读数就是待测电阻的大小。

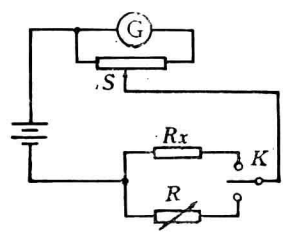


图 5—67

（3）等效法。利用事物在一定条件下的效果相同，设计可行的实验测未知量。

例54　假如你是一名乘宇宙飞船在太空轨道飞行的宇航员，试设计一种方法测量出自身的质量。

解　题给的条件为失重情况，不可再用地球上惯用的测

引力质量的方法，即通过测重量间接测出质量。这里用等效法。即携带倔强系数为k的弹簧两根，制成弹簧振子，人充当振子中的小球，另携带计时器，于是可根据弹簧振子的周期公式求出质量，即

$$m=T^2\cdot k'/4\pi^2=T^2\cdot k/2\pi^2$$

（4）移植法。善于从经历的实验中总结、探索实验的思考方法，当遇到新的实验问题时，灵活联系某种方法，并稍加改造移植过来解决问题。例如：

试用实验证明单摆振动角度很小时，其振动是简谐振动。

实验方法很多，这里介绍一种。

选取质量约为0.5千克的铁球作为摆球，制成摆长为2米左右的单摆，在铁球上贴上纸带，纸带穿过打点计时器（如图5—68所示）。让摆球在图示位置A放手后摆至A'点，纸带上留下单摆在半个周期内的点。将纸带上两端点比齐对折找出平衡位置，再根据每个时刻的位置，在坐标纸上画出振动图线。最后通过图线分析与推理，进一步认识其运动规律，使问题得证。

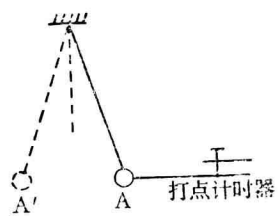


图5—68

以上介绍的都是通常的设计实验的思想方法，除此还有控制法（控制一些量变化，使自变量只有一个，即抓主要因素）等等。我们应当从这些思想方法中不断总结经验，灵活运用。

统一书号：7276·699　定价：1.60元
ISBN 7—5336—0068—1/G·699