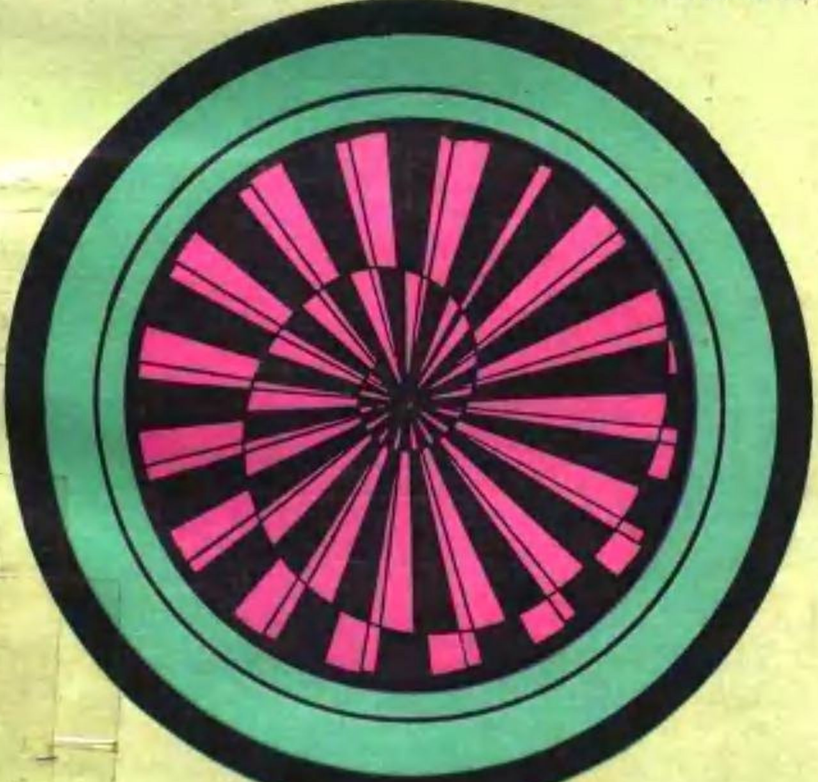
力学思考题与解答

封小超 主编

基础物理教学参考丛书

四川教育出版社



力学思考题与解答

封小超主编

四川教育出版社

基础物理教学参考丛书

(川)新登字005号

责任编辑：赵璧辉
封面设计：何一兵

力学思考题与解答

四川教育出版社出版发行　（成都盐道街三号）
四川省新华书店经销　四川新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米　1/32　印张12.75　插页4　字数290千
1993年2月第一版　1993年2月第一次印刷
印数：1—2000册

ISBN7—5408—1710—0/G·1633　定价：5.70元

这是一本以提出问题、分析问题和解决问题的方式，阐述力学基本概念和基本规律的教学参考书。

在物理教学中，我们常常看到，有的同学基本内容似乎已经懂了，遇到实际问题却往往束手无策；有的同学对计算性问题并不觉得困难，对概念性问题却往往没有把握。针对这些问题，开展思考题的讨论是一种较好的途径，它对于深入理解物理学的基本概念和规律，提高分析问题和解决问题的能力是有帮助的。

本书每一章的内容都由三部分组成：容易混淆的问题、思考题解答和提示性思考题，其中重点是思考题解答，它在对每章容易混淆的问题进行概述的基础上，对一些比较疑难的问题进行了较详细的分析，而对一般性的问题则给予了简要的回答。

本书由封小超主编，并执笔第 4 章《动量与角动量》、第 8 章《波动》和第 10 章《狭义相对论》；张勤执笔第 1 章《质点运动学》、第 9 章《流体力学》；辛明凤执笔第 2 章《牛顿运动定律》；陈克文执笔第 3 章《功和能》，王权华执笔第 5 章《刚体力学》和第 6 章《固体的弹性》，许明尧执笔第 7 章《振动》。梁昆淼教授审阅了全书，并提出宝贵的修改意见。

本书可供理工科院校师生及中学物理教师参考，也可供自学青年阅读。鉴于水平有限以及解答思考题本身的困难，缺点错误一定不少，我们恳切地期待读者提出批评指正。

编者

1992 年 7 月

目录

第 1 章　质点运动学

- 运动的描述
  - 参考系、质点
  - 位矢 $\vec{r}$
  - 位移 $\Delta\vec{r}$
  - 速度 $\vec{v}$
  - 加速度 $\vec{a}$
- →运动规律
  - 运动方程 $\vec{r}=\vec{r}(t)$
  - 迭加原理
  - 几种典型运动
    - 直线运动
    - 曲线运动

一、容易混淆的问题

1—1. **参考系，坐标系。**

参考系，是作为描述物体运动所依据的参考物；而坐标系，是定量描述物体的运动在参考系上按某种规定，选取有次序的一组或几组参数。

参考系是坐标系存在的基础。坐标系则是参考系的一种数学抽象。因此，选定了坐标系就指明了参考系，坐标系是参考系的具体表现。

万物都在运动，任何物体的运动，都是相对某个参考系而言。为帮助正确的讨论，必须注意以下四点：

①明确参考系。由于运动是相对的，因此同一物体的运动，所选参考系不同，运动的描述就不同。在同一问题中，应该始终采用同一参考系。

②参考系选择的限制。从运动的描述来说，参考系原则上可以任意选择，主要看问题的性质和研究的方便，但也不是完全不受限制。为了能够完整地描述物体的运动，它应该是具体的客观物体，例如地球，运动的车箱等。几何点不能作为参考系。因为对几何点只能谈其他物体对它的距离，而无所谓上下左右，则无法讨论其他物体相对于它的方位。当涉及到动力学问题时，常常选择某种特定的参考系（惯性系）。

③坐标系的选择。参考系选定以后，就必须在其上选定坐标系。坐标系的选择也具有任意性。坐标系不同，只是描述运动所用参数不同，并不影响问题的实质。例如研究物体平面运动，可用平面直角坐标系、极坐标系、自然坐标系；研究物体空间运动，可用空间直角坐标系、球坐标系、柱坐标系。

④在通常情况下，参考系与坐标系是一致的，但在特殊情况下，参考系与坐标系可以互相分离。例如刚体定点运动的欧勒方程采用的参考系是惯性系（角速度、角动量是绝对角速度、绝对角动量）；而坐标系却是本性坐标系（随刚体一同转动的坐标系）。再者，由欧勒方程看来，参考系是物理问题（矢径、速度、加速度等相对于什么物体），坐标系是数学问题（将矢径、速度、加速度等矢量分解为某些方向的分量）。

1－2. **比较位矢$\vec{r}$，位移$\Delta\vec{r}$和路程Δs。**

位矢表示质点在某时刻的位置，它与一确定的时刻相对应，是瞬时量。而位移表示质点在一定时间间隔内位置的变动，路程表示质点在一定时间间隔内所经历的实际路径的曲线距离，它们都与一定时间间隔相对应，是过程量。

位矢、位移和路程都和参考系选择有关，位矢还和参考点的选

择有关，但位移和路程却与参考点的选择无关。位矢和位移是矢量，路程则是标量。

若质点初始时刻的位置在坐标原点，那么，质点运动到某一位置的位矢和位移就一致。两点之间的直线距离最短，因此位移的大小一般小于路程。但对于微小的时间间隔或对于直线单向运动，位移的大小和路程相等。

1—3. 速度是位矢对时间的变化率，而不是位移对时间的变化率。

速度是表征质点位置变化快慢和方向的物理量，它只能是位矢对时间的变化率；而不是位移对时间的变化率。关键在于，位矢表示质点在某时刻的位置，与一确定的时刻对应，位置变化的快慢和方向可由位矢对时间的变化率来表征，即$\vec{v}=d\vec{r}/dt$。

而位移则表示质点在一定时间间隔位置的变动，与某一时间间隔对应，它是发生这一位移的起始时间和终止时刻两个时间变量的函数。它对时间的变化率，将对应两个时间变化率，无法表征质点某时刻位置变化的快慢和方向。因此，不宜将速度理解为位移对时间的变化率，即$\vec{v}\neq d\Delta\vec{r}/dt$。

当然，只要对位移附加一定限制，事先约定初始时刻和初始位置，位移就与位矢相差一恒矢量，仅为终止时刻的函数。这时，也可将位移对时间的变化率当作速度，即发生位移终止时刻的速度。不过，这里所谈的位移实质上也可看作自质点某一确定位置算起的位矢，因此，从本质上看，速度仍旧应理解为位矢对时间的变化率。

1－4. **速度、加速度、平均速度和平均加速度的区别与联系。**

	速度$\vec{v}$	加速度$\vec{a}$	平均速度$\bar{\vec{v}}$	平均加速度$\bar{\vec{a}}$
区别	①描述质点运动状态的量。 ②矢量 $\vec{v}=d\vec{r}/dt$。 ③$\vec{v}$是$\Delta t\to 0$时平均速度的极限。 ④单位：米/秒。	①描述质点运动状态变化的量。 ②矢量 $\vec{a}=d\vec{v}/dt=d^2\vec{r}/dt^2$。 ③$\vec{a}$是$\Delta t\to 0$时平均加速度的极限。 ④单位：米/秒^2。	①描述一段时间内质点运动的平均状态的量。 ②矢量 $\bar{\vec{v}}=\Delta\vec{r}/\Delta t$。 ③平均速度等于速度对时间的积累除以时间。 ④单位：米/秒。	①描述一段时间内质点运动状态变化的量。 ②矢量 $\bar{\vec{a}}=\Delta\vec{v}/\Delta t$。 ③平均加速度等于加速度对时间的积累除以时间。 ④单位：米/秒^2。
联系	①都是对质点运动的精确描述。 ②都是瞬时量，与某一时刻相对应。 ③都与参考系的选择有关，即具有相对性。		①都是对运动的粗略描述。 ②都是过程量，与一定时间间隔相对应。 ③都与参考系的选择有关，即具有相对性。	

1－5. **正确应用匀变速公式**

$$\begin{cases} v=v_0+at \\ x\text{-}x_0=v_0t+at^2/2 \\ v^2\text{-}v_0^2=2a(x\text{-}x_0) \end{cases}$$

应注意的几个问题。

①适用条件：第一，只适用于匀变速直线运动，即加速度为常量的直线运动。在遇到运动学问题时，仅当判断其确属匀变速直线运动后，才能使用这些公式。第二，只有两个公式是互相独立的，可

求解两个未知数。第三，受具体物理过程的限制。它们不是纯数学公式，公式中的 t, x 不能任意大。例如火车进站刹车，作匀减速运动，在 t' 时刻停下来。若欲求 $t(t>t')$ 时刻火车位于何处，就不能利用公式盲目代入 t 而计算。又如上抛问题，物体总要坠入地面，不能无止境地运动下去等等。因此，算题前务必搞清具体物理现象的全过程。

②坐标与符号：这是一个容易出错的问题，必须注意两点。其一，式中 x、v、a 的正负号是相对于事先选定坐标轴正向而言。当位矢、速度、加速度的方向与坐标轴正向一致时，它们为正，反之为负。其二，坐标轴的建立，一般选质点的出发点为坐标原点($x_0=0$)，初速度的方向为坐标轴的正向。例如竖直上抛运动，若按此建立坐标后，v_0 取正，重力加速度与坐标轴正方向相反，取 $a=-g$。这时，若求得 $x>0$，则质点在原点上方。若求得 $v<0$，表明质点向下运动。当然，不像上面那样建立坐标轴也完全可以。但坐标轴一旦选定，在讨论问题中不得再变动。

③$x-x_0=v_0t+at^2/2$ 的意义：它是位移公式，而不是路程公式。例如物体竖直上抛经历时间 t' ($t'>\frac{v_0}{g}$)，代入公式算得的($x'-x_0$)不是质点实际经历的路程。而是离开起始点($x=x_0$)的位移($x'-x_0$)。公式适用于全过程中的任何时刻，任何位移。

1—6. **三种类型的平面坐标系。**

特征＼类型	直角坐标系	极坐标系	自然坐标系
位置矢量	$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}$ (x,y)	$\vec{r}=r\hat{r}$ (r,θ)	$\vec{r}=\vec{r}(s)$ (s)
位移	$\Delta\vec{r}=\Delta x\hat{i}+\Delta y\hat{j}$	$\Delta\vec{r}=\Delta r\hat{r}+r\Delta\theta\hat{\theta}$ $\neq\Delta r\hat{r}$	$d\vec{r}=ds\hat{\tau}$
速度	$\vec{v}=\dot{x}\hat{i}+\dot{y}\hat{j}$	$\vec{v}=\dot{r}\hat{r}+r\dot{\theta}\hat{\theta}$	$\vec{v}=\dot{s}\hat{\tau}$
加速度	$\vec{a}=\ddot{x}\hat{i}+\ddot{y}\hat{j}$	$\vec{a}=(\ddot{r}-r\dot{\theta}^2)\hat{r}+$ $(r\ddot{\theta}+2\dot{r}\dot{\theta})\hat{\theta}$	$\vec{a}=\frac{v^2}{R}\hat{n}+\dot{v}\hat{\tau}$
轨道方程	$f(x,y)=0$	$f(r,\theta)=0$	$f(s,\theta)=0$
研究的典型事例	抛体运动	有心力运动	圆运动

1—7. **正确理解和应用运动迭加原理。**

运动迭加原理是指“一个运动可以看成几个各自独立进行的运动迭加而成。”处理任何空间曲线运动，都离不开运动迭加原理，为帮助正确理解和分析，请注意以下四点。

①“各自独立”指一方之存在不依赖于另一方，与另一方存在与否无关，彼此的行为互不影响，各自保持原来的特点。

②“几个”并未作具体的肯定是二个还是三个，看如何方便而论。就是一个最简单的直线运动，只要需要也可以看成是两个独立运动的合成。

③“可以看成”强调的是效果上等效。可以看成是这样几个，也可以看成是那样几个各自独立运动的迭加，分解方法并不唯一。例如斜上抛运动，可以看成是一个水平的匀速运动和一个铅直的上抛运动的合成，这是通常的处理方法。但是完全可以用另一种处理方法，把运动看作是一个沿初速$\vec{v}_0$方向的匀速运动与一个自由下

落的匀加速运动的合成，即$\vec{r}=\vec{v}_0t+\vec{g}t^2/2=\vec{r}_1+\vec{r}_2$。

④注意区分分运动和合运动。运动一旦分解，一般说来分位移不等于合位移，分速度不等于合速度。例如，在高度为 h 的位置以初速度 v_0 竖直下抛一物体，可将运动看成是速度为 v_0 的竖直向下的匀速运动和自由落体运动的合成。但着地时，自由落体运动的分位移并非 h，从而这个运动着地的分速度并不是$\sqrt{2gh}$；因此，就不能认为物体着地时的合速度为 $v=v_0+\sqrt{2gh}$（实际上应是 $v=\sqrt{v_0^2+2gh}$）。分析问题时，一定要注意，切莫混淆。

二、思考题解答

1－8. 在离地较高的平台上，竖直向上抛出一球，球上升到比平台高 h 的地方，然后下落。分别在下述三种参考系中，描述球的运动。

①平台参考系 A。

②抛球瞬间正以相同速度从平台匀速上升的升降机参考系 B。

③抛球瞬间正以较小速度从平台匀速上升的升降机参考系 C。

答：球抛出瞬间相对于平台具有竖直向上的初速度 $v_0=\sqrt{2gh}$，即作竖直上抛运动。

参考系 A 相对于平台静止，因此相对于 A，球以初速度 v_0 作竖直上抛运动，上升到最高点的时间为 $t=\sqrt{2h/g}$。

参考系 B 相对于平台以速度 v_0 匀速上升，因此相对于 B，球以初速度 $v_{B0}=v_0-v_B=0$ 作自由落体运动，而且在 $t=\sqrt{2h/g}$时刻，球下落的高度 $h'=gt^2/2=h/2$。

参考系 C 相对于平台以速度 $v_c<v_0$ 匀速上升。因此相对于 C，球以初速度(v_0-v_c)作竖直上抛运动，落回到参考系 C 的时间为 $t'=2(v_0-v_c)/g$。

可见，运动是绝对的，但运动的描述是相对的，同一物体，相对于不同的参考系，显示出不同的运动。

1－9. **在上题的讨论中，有人认为，既然相对于参考系 A，球达到最高点的时间为 $t=\sqrt{2h/g}$，那么，由于时间的绝对性，对于参考系 C，球达到最高点的时间也为 $t'=\sqrt{2h/g}$。这个看法正确吗？**

答：不正确。虽然时间是绝对的，同一事件在不同的参考系发生的时间相同。但运动的描述是相对的。在参考系 A 中，球达到最高点之时，就参考系 C 而言，球并不是处于最高点，实际上，如设参考系 C 相对于平台的速度为 v_c，则小球相对于 C 的初速度为 $v_{c0}=v_0-v_c=\sqrt{2gh}-v_c$，达到最高点的时间就为 $v_{c0}/g=(v_0-v_c)/g<t$。

1－10. **有三位观察者各自在自己的参考系中观察同一架飞机的速度大小。甲说是 200 米/秒，乙说是 95 米/秒，丙却说是零，三个测量结果不同，你认为可能吗？**

答：可能。如果三个观察者所选的参考系不同，对同一物体的运动，就会有不同的描述。因此，他们三人的测量结果不同是完全可能的。例如丙坐在另一架与该飞机并行的同样速率的飞机上，而乙坐在与飞机并行的火车上，甲在地面上。并且火车的速率是 105

米/秒，飞机的速率是 200 米/秒。这时，甲乙丙三位观察者所测的就是题中所给的结果。

1－11. **有两个完全相同的球，一球停于光滑平面上，另一球被掷而急速地沿着平面向停着的球飞去，并发生正面碰撞。问哪一个球的变形比较大？**

答：从运动的性质来说，“运动”与“静止不动”并无绝对意义，看你采取什么参考系而定。所以，去碰的和被碰的球之间，并没有什么区别，它们都是在相同的运动状态下，互相接近。

注意到两个球完全相同，即大小、性质都完全一样。因此碰撞的结果也将没有什么不同，即两个球的形变完全相同。

1－12. **地心能否作为参考系？平常说的“风速”，“飞机的航速”，“水的流速”，“地球的公转速度”是什么物体对什么参考系运动？有时提到物体的运动，但没有指明参考系，在这种情况下，参考系一般是指什么？举几个例子说明。**

答：地心不能作为参考系。因为地心是一个几何点。

平常说的“风速”是指空气相对于地面参考系的速度。“飞机的航速”是指空气静止时，飞机相对于地面参考系的速度。“水的流速”是指水相对于地面参考系的速度。“地球的公转速度”是指地球相对于太阳参考系的速度。

在提到物体的运动，但没有作明确说明时，参考系一般是指地面或相对于地面静止的物体。例如人在运动，汽车、火车在运动，自由落体运动，抛体运动，参考系都是指地面。

1－13. **在以速度 u 匀速行驶的一艘船上，船头与船尾两个拿**

枪的人对射，子弹射出的速度为 v（见图 1－1）。为回答谁先被击中，有三种分析：①因为两枪射出的子弹的速度相同，而二人距离不变，所以两个人将同时被击中。②船在运动，船尾的枪射出子弹的速度为 $u+v$，船头的枪射出子弹的速度为 $v-u$，而两人距离不变。因此船头的人先被击中。③船在运动，船上的人都有一个随船向前的速度。对船尾的人表现为在以速度 u 向子弹靠近；船头的人在以速度 u 远离子弹。因此，船尾的人先被击中。哪一个分析是正确的，为什么？

答：第一种分析正确。因为第二、三种分析都违背了正确应用参考系的原则。

任何运动的讨论，必须始终采用同一参考系。而②中的 $v-u$ 和 $v+u$ 分别是子弹相对于地面的速度，这里两人之间的距离不变，却是子弹相对于船飞行的距离。在③中的 v 是子弹相对于船的速度，船尾的人以速度 u 靠近子弹，而船头的人以速度 u 远离子弹，却是相对于地面而言。

选择船为参考系，显然得到两人同时被击中的结论。那么选择地面为参考系又应怎样分析呢？相对于地面，船在运动，设船尾发出子弹飞行时间 t_1 而击中船头的人，在此期间，船带着船头的人前进了距离 ut_1，故子弹飞行总距离为 $l+ut_1$. 子弹相对于地面的速度为 $v+u$，因此 $t_1=\dfrac{l+ut_1}{v+u}$，得 $t_1=\dfrac{l}{v}$。同理，设船头发出的子弹飞行时间 t_2 而击中船尾的人，则 $t_2=\dfrac{l-ut_2}{v-u}$，得 $t_2=\dfrac{l}{v}$。这表明，相对于地面分析，两个人也是同时被击中。这结果与相对于船的分析相同，正是时间绝对性的必然结果。

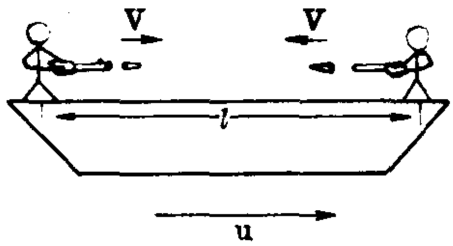


图 1－1

1－14. **在什么条件下可以把物体当做质点对待，能否说地球很大，不能看成质点；而分子很小可以看成质点？**

答：凡是物体的形状，大小对被研究的问题的影响可以忽略或根本没有什么影响时，就可用质点来代表物体。说到地球，虽然很大，但在研究它在宇宙空间的运动规律时，它的大小和形状相对于它所运动的轨道来说是微不足道的，相对说来，可将地球当做质点。相反，分子虽然很小，在研究分子的热运动时，需要考虑分子本身的转动，振动和相互碰撞的情况。这时分子的大小和形状就不能忽略，就不能将它看成质点。

1－15. **时刻，时间和瞬时的含义有什么不同？**

答：时刻 t 与运动质点在空间的位置相对应；时间 $\Delta t=t_2-t_1$ 是两个时刻之间的间隔，它与运动质点在空间中的一段位移或一段路程相对应。在时间轴上，时刻与轴上的一点相对应，而时间与轴上一个区间 $[t_1, t_2]$ 相对应。如"第四秒初""第三秒末"表示含义都相同，都表示 $t=3$ 秒的时刻；"第三秒内"则表示第三秒初与第三秒末之间的时间间隔。

瞬时通常是指 $\Delta t \to 0$ 的时间，实际上也就是指的某一时刻。

1－16. 有人认为：质点的瞬时速度是无穷短时间内的平均速度；瞬时速度为5米/秒，表示质点在一秒内走过5米。这些看法对吗？

答：前者不确切，后者不对。

第一，瞬时速度说成是无限短时间内的平均速度不妥当。无穷短时间仍代表一时间间隔，与它对应的仍是平均速度，而非瞬时速度。只有用"比的极限"的语言才能正确刻画瞬对速度的概念。

第二，瞬时速度为5米/秒并不代表质点在一秒内走过5米。因为$v=5$米/秒是指某一时刻的瞬时速度，它只反映质点在该时刻运动的快慢和方向。而在运动过程中，质点每时每刻的速度都可能不同。只有保持这样的快慢不变，才会在一秒内运动5米。

1－17. 已知质点在t_1，t_2时刻的瞬时速度$\vec{v}_1$和$\vec{v}_2$，关于这段时间内的平均速度，有人认为：$\bar{\vec{v}}=(\vec{v}_1+\vec{v}_2)/2$，请问正确吗？

答：不正确。根据平均速度的定义，质点在t_1到t_2这段时间内的平均速度 $\bar{\vec{v}}=\dfrac{\vec{r}_2-\vec{r}_1}{t_2-t_1}=\dfrac{\int_{t_1}^{t_2}\vec{v}(t)dt}{t_2-t_1}$。只有对匀变速运动才归结为$\bar{\vec{v}}=(\vec{v}_1+\vec{v}_2)/2$。这里只给出两时刻$t_1$、$t_2$的速度，并没有给出$\vec{v}(t)$，也没有限定是匀变速运动。因此，实际上不能求出这段时间内的平均速度，更不能认为$\bar{\vec{v}}=(\vec{v}_1+\vec{v}_2)/2$。

1－18. 一只兔向着一颗莴苣走去，它每秒所走的距离是从它的鼻尖到莴苣的剩余距离的一半。问兔能否达到莴苣处？它的平均速度的极限为若干？

答：设兔离莴苣的距离为L，t时间内走到莴苣处。则兔每秒钟走的距离是$L/2$，$L/4$，$L/8$，……，即以等比级数衰减。