

高中教学精华丛书

上海市课程改革新教材

高中物理

教学要点及范例解析

精 选

(高三年级)

上海市松江二中物理教研组 编

- 知识要点
- 疑难分析
- 例题解析
- 知识拓宽
- 习题精选
- 专题讨论

华东理工大学出版社

高中教学精华丛书

高中物理教学要点及 范例解析精选

(高三年级)

松江二中物理教研组 编

华东理工大学出版社

ISBN 7-309-0887-2/O·44 定价: 30.00 元

(沪)新登字 208 号

高中物理教学精华丛书

高中物理教学要点及范例解析精选

高中物理教学要点及范例解析精选

(高三年级)

高中物理教学要点及范例解析精选

高中教学精华丛书

高中物理教学要点及范例解析精选

(高三年级)

松江二中物理教研组 编

华东理工大学出版社出版发行

上海市梅陇路 130 号

邮政编码 200237 电话 64250306

新华书店上海发行所发行经销

上海中行印刷厂常熟分厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.75 字数 479 千字

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 8 月第 2 次印刷

印数 5001—15000 册

ISBN 7-5628-0863-5/O·44 定价 20.00 元

前 言

上海市课程改革教材已在全市普遍推广使用,该新教材与原部编教材在教学要求、教学内容、编写体例等方面均有较大的差异,这无疑会给广大师生的教与学带来新的问题。可喜的是,我校作为新教材试点学校之一,在数年的教学实践中,已逐步摸索出一套行之有效的办法,在实现从应试教育向素质教育的转变方面,在提高师生教与学的水平方面,都收到了显著的效果。

为帮助广大师生更好地把握住新教材,我们组织了一批富有教学经验的教师,在总结经验的基础上,精心编撰了这套《高中教学精华丛书》。它是我们新教材教学成果的结晶。

这套丛书有两个鲜明特点:一是紧密配合新教材,与新教材配套;二是紧密配合学生学习,与学生实际相联系。

相信本丛书对教师有一定的参考价值,对学生有一定的指导作用。

这套《高中教学精华丛书》有数学、物理、化学、语文、英语等分册。

本册《高中物理教学要点及范例解析精选》,与高三年级物理选修教材相适应和同步。在体例安排上尽可能帮助学生抓住重点,解疑难点,同时也安排一些拓宽加深和联系实际的有趣味的内容,以激发学生的学习兴趣 and 积极性。此外,还体现了由浅入深、由易到难的学习规律,以引导学生循序渐进、化难为易、变繁为简,打好扎实基础,增强解题能力,提高学习水平。

本册还增添了“高中物理专题讨论”的内容,旨在使学生在掌握知识、运用知识的同时,还能逐步养成并深入、系统地掌握物理学的思维方法,也可为教师的复习课和各年级的讲座以及学生的自学提供一些参考。

让本书成为你学习上的好帮手,助你一臂之力。

参加本书编写的有:俞瑞根(第一、二、三章),潘传文(第四、五章,高中物理专题讨论),陶世聪(第六、七章),黄淑琴(第八、九章)。

疏漏不当之处,望老师和同学们指正。

编 者

1998 年 1 月

第一章 运动的合成.....	(1)
第一节 运动的合成.....	(1)
第二节 竖直上抛运动 平抛运动.....	(7)
第三节 斜抛运动	(14)
第二章 牛顿运动定律	(23)
第一节 力 物体受力情况分析	(23)
第二节 牛顿运动定律及其应用	(35)
第三节 超重和失重	(47)
第四节 连接体运动	(51)
第三章 转动	(66)
第一节 力矩和有固定转动轴的物体的平衡	(66)
第四章 动能定理 机械能守恒定律	(78)
第一节 功和功率	(78)
第二节 机械能	(87)
第三节 功和能	(92)
第四节 机械能守恒定律.....	(100)
第五章 动量定理 动量守恒定律.....	(108)
第一节 动量、冲量和动量定理	(108)
第二节 动量守恒定律.....	(117)
第三节 碰撞与反冲.....	(125)
第六章 理想气体状态方程.....	(133)
第一节 气体实验定律.....	(133)
第二节 理想气体状态方程.....	(144)
第七章 电场中的电荷和导体.....	(154)
第一节 电场中移动电荷做功 电势、电势差和等势面	(154)
第二节 电势差和电场强度的关系 带电粒子在电场中的运动.....	(164)
第八章 直流电路.....	(175)
第一节 欧姆定律.....	(175)
第二节 闭合电路欧姆定律.....	(179)
第三节 电阻的测定.....	(182)
第九章 磁场 电磁感应.....	(190)
第一节 磁感应强度 磁场对电流的作用.....	(190)

第二节 电磁感应 法拉第电磁感应定律·····	(193)
高中物理专题讨论·····	(207)
一、时间·····	(207)
二、矢量·····	(213)
三、物理模型·····	(223)
四、类比·····	(229)
五、等效变换·····	(237)
六、控制变量法·····	(249)
七、动态问题分析·····	(254)
八、绳、杆和弹簧·····	(263)
九、近似与估算·····	(273)
十、临界与极值问题·····	(284)
十一、物理学与数学·····	(295)
十二、实验·····	(302)

第一章 运动的合成

第一节 运动的合成

[知识要点]

1. 从已知的分运动来求合运动,叫做运动的合成。运动的合成包括位移的合成、速度的合成和加速度的合成。

2. 一个物体同时参与两个分运动,其表现出来的结果就是合运动。分运动与合运动是同时存在的。

3. 运动合成的基础是运动的独立性原理。物体在某一方向上的运动,不会因它在其他方向上的运动而有所改变。这就是运动的独立性。

4. 运动的合成遵循平行四边形法则。同一直线上的两个直线运动的合成结果仍为直线运动;两个直线运动互成角度时,合运动可以是直线运动,也可以是曲线运动。

5. 已知两个分运动,其合运动是唯一的。而将一个已知运动分解为两个分运动,可以有无数解,解题时要根据运动的实际情况分解到某两个方向上,也可以根据解题需要分解到两个互相垂直的方向上。

6. 运动的合成和分解的基础是运动的独立性原理,它是客观实际的反映;同时,在把一个较复杂的运动当作两个或几个较简单运动组成的复合运动时,它又是一种科学的方法。

[疑难分析]

1. 运动的合成和分解遵循矢量的合成和分解的一般法则。以下讨论的是在同一平面上的运动合成。

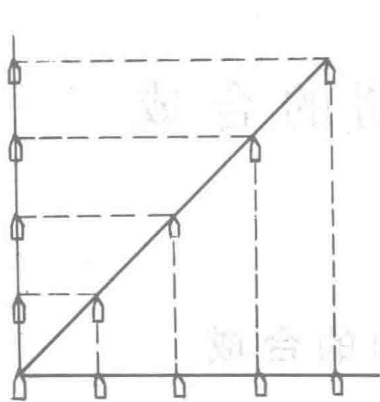
(1) 两个匀速直线运动的合成仍然是一个匀速直线运动。如顺水行舟时, $s_{\text{合}}=s_{\text{舟}}+s_{\text{水}}$, $v_{\text{合}}=v_{\text{舟}}+v_{\text{水}}$ 。逆水行舟时, $s_{\text{合}}=s_{\text{舟}}-s_{\text{水}}$, $v_{\text{合}}=v_{\text{舟}}-v_{\text{水}}$ 。

(2) 一个匀速直线运动和一个初速为零的匀变速直线运动合成时,如果它们是在同一直线上的,则合运动就是初速不为零的匀变速直线运动。如竖直上抛运动可以认为是向上的匀速运动和向下的自由落体运动的合运动。

(3) 一个匀速直线运动和一个匀加速直线运动互成角度时($0^\circ < \theta < 180^\circ$),合运动是曲线运动,如抛物体运动。像课本中所举小船渡河的例子,如果小船划行是加速的,河水流动是匀速的,其合运动就是曲线运动(如图 1-1)。

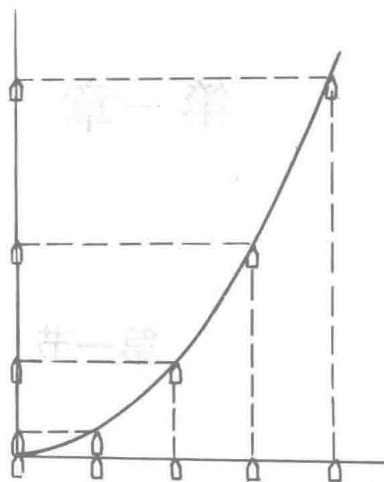
[例题解析]

1. 划速为 4m/s 的小船在宽 100m、水速为 3m/s 的小河中,由一岸划向另一岸,要想渡河的时间最短应怎样划? 渡河时间为多少?



(a)

两个分运动是匀速运动
合运动也是匀速直线运动



(b)

两个分运动一个是匀速运动,另一个
是(匀)加速运动,其合运动是曲线运动

图 1-1

甲说:应斜向上游划,使船对岸的速度与河岸垂直。

乙说:应斜向下游划,使船对岸的速度尽可能的大。

丙说:应垂直于河岸划,渡河需 25 秒。

丁说:应垂直于河岸划,这时船对岸的速度为 5m/s,所以渡河时间为 20 秒。

谁说的对呢?

解析:根据运动的独立性原理,要划至对岸,只要船在垂直于河岸的方向上通过 100m 即可,而与它在沿河岸方向运行的距离无关。因此要渡河时间最短,就要使船在垂直于河岸的方向上速度最大,由图 1-2 可知:垂直于河岸划时,在垂直于河岸方向上的船速就是 $v_{划}$,如划行方向与垂直于河岸的方向夹角为 α ,无论斜向上游还是斜向下游,它在垂直于河岸方向的速度都是 $v_{划} \cdot \cos\alpha < v_{划}$ 。所以应垂直于河岸划。渡河时间应是河宽与垂直于河岸速度的比而不是与船在斜方向上的合速度之比,所以渡河时间是 25 秒。

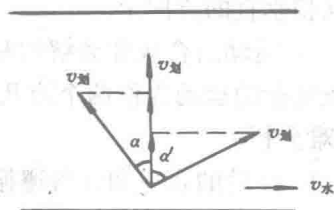


图 1-2

2. 小船在静水中的速度是 4m/s,水流速度是 3m/s,河宽 60m。(1) 渡河时设小船朝对岸垂直驶去,它将在何处着陆? 渡河的时间是多少?(2) 如果小船要在正对岸着陆,它应向什么方向划行? 渡河时间又为多少(设河中水流速度到处一样)?

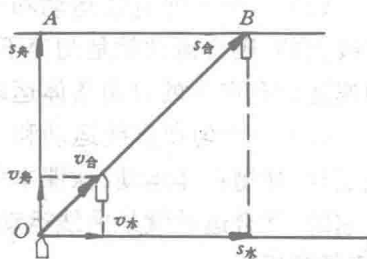


图 1-3

解析:如图 1-3 所示,当小船头垂直指向对岸的方向渡河时,它同时参与两个分运动,其分速度分别为 $v_{船}$ 、

$v_{\text{水}}$, 两个分位移分别为 $s_{\text{船}}$ 、 $s_{\text{水}}$, 其合速度、合位移分别为 $v_{\text{合}}$ 、 $s_{\text{合}}$, 由于分运动和合运动的等时性, 渡河时间 $t = \frac{s_{\text{合}}}{v_{\text{合}}} = \frac{s_{\text{船}}}{v_{\text{船}}} = \frac{s_{\text{水}}}{v_{\text{水}}}$, 求何处着陆则要计算 $\overline{AB}$ 也即 $s_{\text{水}}$ 。

如果小船要在正对岸 A 点着陆, 即合速度 $v_{\text{合}}$ 应对着 OA 的方向上, 则船的航向应指向上游一个角度 θ , 如图 1-4。

(1) 小船朝对岸驶去, 渡河时间 $t = \frac{s_{\text{船}}}{v_{\text{船}}} = \frac{60}{4} = 15(\text{s})$

$$\overline{AB} = v_{\text{水}} \cdot t = 3 \times 15 = 45(\text{m})$$

即小船将在正对岸的下游 45m 的 B 处着陆。

(2) 小船要在正对岸 A 处着陆, 则船的航向指向上游与河岸成夹角 θ 。

$$\theta = \arccos \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}} = \arccos \frac{3}{4} = 41^\circ 25'$$

$$\text{渡河时间 } t = \frac{s_{\text{合}}}{v_{\text{合}}} = \frac{\overline{OA}}{\sqrt{v_{\text{船}}^2 - v_{\text{水}}^2}} = \frac{60}{\sqrt{16 - 9}} = 22.7(\text{s})$$

注意点: 当船头直指对岸时, 所需过河时间最少。

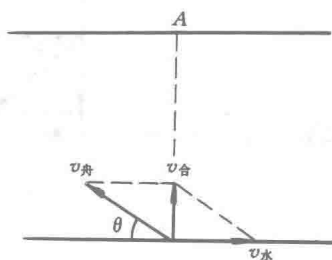


图 1-4

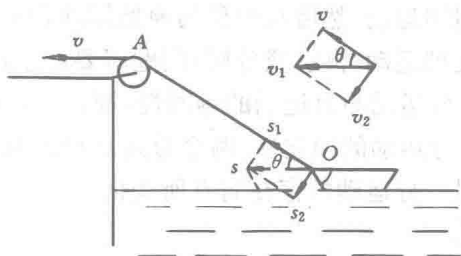


图 1-5

3. 如图 1-5 所示, 绕过定滑轮的绳拉动浮在平静湖面上的小船, 当绳的 AO 段与水平方向成 θ 角, 拉动绳的速度为 v 时, 小船前进的速度为多大?

解析: 小船 O 点的速度 v_1 与绳子的速度 v 是一个怎样的关系? 是 v 为合速度, 还是 v_1 为合速度? 在选定岸为参照物后, 研究小船上 O 点的运动, 小船是水平方向运动的, 经过一小段时间后, 小船在水平方向通过一段位移 s , 很容易看到小船在沿着绳子方向通过了一段位移 s_1 , 在垂直于绳子的方向也通过了一段位移 s_2 , 由此可见 O 点的运动是合运动。O 点的一个分运动沿绳方向, 速度为 v , 另一分运动是绳以 A 点为圆心, 以 AO 为半径, 做旋转运动, 它的速度是 v_2 。因此将船的速度 v_1 分解为 v 和 v_2 。构成矢量的平行四边形, 如图 1-5 所示。

因此小船前进的速度是 $v_1 = \frac{v}{\cos \theta}$ 。

[知识拓宽]

怎样进行运动的合成?

运动合成是以运动的独立性原理为基本出发点的, 这里要求的是: 同一物体同时参与两个(或两个以上)的运动, 不能把两个物体的运动拿来合成; 也不能将一个物体先后参与的运动进行合成。必须是同一研究对象, 同时参与的运动才能合成。

运动合成问题有两种情况:

一种是研究对象被另一个运动物体所牵连,这个牵连指的是相互作用的牵连。如:人在自动扶梯上行走,同时自动扶梯对地也在运动,则人对地的运动就是人对梯的运动与梯对地的运动的合运动。又如:船在水上航行,水也在流动着,船对地的运动为船对水的运动与水对地的运动的合运动。

第二种情况是物体间没有相互作用力的牵连,只是由于参照物的变换带来了运动的合成问题。如两辆车的运动,甲车以 $v_{\text{甲}}=8\text{m/s}$ 的速度向东运动,乙车以 $v_{\text{乙}}=8\text{m/s}$ 的速度向北运动,求甲车相对于乙车的运动速度 $v_{\text{甲对乙}}=?$ 这种问题比第一种情况复杂。甲乙两车彼此没有“联系”怎么会有运动合成问题呢?这里必须弄清研究对象是谁?被研究的对象怎么同时参加两个运动?是哪两个运动?在这个问题中,研究对象是甲车,参照物是乙车。甲车同时参与的两个运动是:甲车对地的运动和地对乙车的运动(这个运动是由于变换参照物给甲车带来的附加运动)。则甲车对乙车的速度为甲对地的速度与地对乙的速度的合速度。即:

$\vec{v}_{\text{甲对乙}} = \vec{v}_{\text{甲对地}} + \vec{v}_{\text{地对乙}} = \vec{v}_{\text{甲对地}} + (-\vec{v}_{\text{乙对地}})$; 见图 1-6, 由图可知:

$$v_{\text{甲对乙}} = \sqrt{v_{\text{甲对地}}^2 + v_{\text{地对乙}}^2} = 8\sqrt{2} \text{ m/s}$$

方向: $\varphi=45^\circ$ (由东向南偏离 45°)

这种运动的合成问题的关键是找出研究对象由于变换参照物带来的附加运动,然后与对象的原始运动合成。

在处理运动合成(或分解)问题时要注意:

(1) 分运动与合运动的等时性,即: $t_1=t_2=t_{\text{合}}$

(2) 分运动的独立性:两个分运动彼此互不影响,一个分运动不因有另一分运动的存在而有所变化。



图 1-6

[练习题]

一、填空题

1. 在有风时放氢气球,气球是斜向上运动飞上天空的,氢气的运动可以看成_____和_____的合运动。
2. 运动的合成包括_____,_____,_____的合成。运动的合成和分解都应遵循_____定则。
3. 飞机以一定的速度 $v(\text{m/s})$ 与水平方向成 θ 角斜向上飞,飞机在 t 秒内上升的高度是_____米,前进的距离是_____米。
4. 雨点以 3m/s 的速度竖直下落,在匀速行驶的汽车中人看到雨点下落的方向与竖直方向成 30° 角,偏向西方,则车速的方向为_____,车速的大小为_____。
5. 小船以划速 v 从河边 A 点沿岸划至 B 又返回 A , 不计船掉头所用的时间,如水不流动时,往返的时间为 t ,则在水速为 v' 时,往返的时间为_____。
6. 某人横渡一条河流,船速与水速一定,此人过河最短时间为 t_1 ,若此船用最短的位移过河,则需时间为 t_2 ,若船速大于水速,则船速与水速之比是_____。
7. 某人乘坐在速度为 15m/s 、向东行驶的汽车上,觉得风从正南吹来,风速是 20m/s ,则实际风速是_____. 方向为_____。

二、选择题

1. 关于运动的合成和分解,下述说法中正确的是

()

(A) 合运动的速度大小等于分运动的速度大小之和;

(B) 物体的两个分运动若是直线运动,则它的合运动一定是直线运动;

(C) 合运动和分运动具有同时性;

(D) 若合运动是曲线运动,则其分运动中至少有一个是曲线运动。

2. 一个物体从匀速直线运动的汽车窗口落下,不计空气阻力和风的影响。则对于路旁的观察者来说,物体作 ()

(A) 自由落体运动;

(B) 匀速运动;

(C) 平抛运动;

(D) 减速运动。

3. 船在静水中的速度为 v_1 ,水流速度为 v_2 ,河宽 s 。当船头垂直向河岸航行时,则 ()

(A) 实际行程最短;

(B) 过河时间最短;

(C) 水流速度增大时,过河时间不变;

(D) 当船速不变时,水流速度增大,渡河时间也增加。

4. 小船在静水中的速率为 v_1 ,河水的流速为 v_2 ($v_1 > v_2$),小船自甲、乙两码头往返一次(中途不停,立即返回)的平均速率为 v ,那么 ()

(A) $v = v_1$;

(B) $v < v_1$;

(C) $v > v_1$;

(D) $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ 。

5. 在东西向航线上的甲乙两地,无风天气,以速率 v 飞行的飞机往返一次所需时间是 t 。现正值刮由东向西的大风,如果飞机相对于风的速率总保持为 v ,则往返两地一次所需时间 ()

(A) 大于 t ;

(B) 等于 t

(C) 小于 t ;

(D) 不能确定。

6. 一个已知的速度,要分解成为两个大小和方向都是唯一的分速度,至少应该知道 ()

(A) 两个分速度的大小;

(B) 两个分速度的方向;

(C) 一个分速度的大小和方向;

(D) 一个分速度的大小和另一个分速度的方向。

7. 自动梯用 1 分钟就可以把一个静止在梯上的人送上去。若自动梯不动,人沿着扶梯走上去需用 3 分钟,若此人沿着运动着的扶梯走上去,所需要的时间是 ()

(A) 2 分钟;

(B) 1 分钟

(C) 0.75 分钟;

(D) 0.5 分钟。

8. 如图 1-7 所示,若使中间物体 M 以速度 v 匀速下降,那么在如图所示时刻,定滑轮两侧绳子上质量也是 M 的两物体的即时速度 v_1 与 v_2 是 ()

(A) $v_1 = v_2 = \frac{v}{\cos \beta}$

(B) $v_1 = v_2 = v \sin \beta$

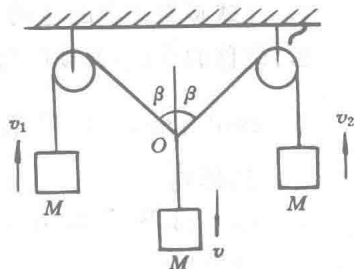


图 1-7

(C) $v_1=v_2=v$

(D) $v_1=v_2=v\cos\beta$

三、计算题

1. 河宽 300m, 河水流速 1.0m/s, 船在静水中的速度为 3.0m/s, 问按下列各种要求过河, 船的航向与河岸应成多大的夹角? 过河时间为多少?

(1) 要以最短时间过河;

(2) 要以最小位移过河;

(3) 要到达正对岸上游 100m 处。

2. 河岸上有甲乙两地, 一汽艇顺着河流由甲地到乙地需要时间 $t_1=3$ 小时, 逆流返回需要时间 $t_2=6$ 小时。如果汽艇不用发动机, 顺流由甲地漂行到乙地需要时间 t_r 为多少?

3. 如图 1-8 所示。汽车 A 与物体 B 通过绕过定滑轮的绳子连在一起, 当汽车 A 向左以速度 v 匀速前进时, 物体 B 上升的情况如何?

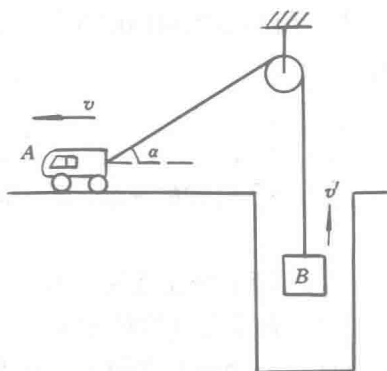


图 1-8

[参考答案]

一、填空题

1. 气球竖直向上的运动, 沿着风向向上的运动;

2. 位移的合成, 速度的合成, 加速度的合成, 平行四边形;

3. $vt\sin\theta, vt\cos\theta$; 4. 向东, $\sqrt{3}$ m/s; 5. $\frac{v^2}{v^2-v'^2}t$; 6. $\sqrt{\frac{T_2^2}{T_2^2-T_1^2}}$; 7. 25m/s, 东偏北 53°

二、选择题

1. C; 2. C; 3. B、C; 4. B; 5. A; 6. A、B、C、D; 7. C; 8. D

三、计算题

1. (1) 100s, (2) 向上游航行与河岸夹角 70.53° , 107s, (3) 向上游航行与河岸夹角 53° , 125s; 2. 12 小时; 3. $v'=v\cos\alpha$, B 加速上升

第二节 竖直上抛运动 平抛运动

[知识要点]

1. 竖直上抛运动

(1) 将物体用一定的初速度沿竖直方向上抛出,这时物体所做的运动就是竖直上抛运动。它实质上是初速度为 v_0 (抛出速度), 加速度为 g 的匀减速直线运动。

(2) 两种分析方法:

1) 把运动分上升阶段和下降阶段两个过程来处理, 上升阶段是匀减速直线运动, 下落阶段是自由落体运动。

2) 把竖直上抛运动看成是一个整体, 它可以看成下面两个分运动的合运动: 一个是沿竖直向上方向, 物体由于惯性而保持的匀速直线运动, 它的速度就是竖直上抛时的初速度; 另一个是物体只受重力作用沿竖直方向向下的自由落体运动。

如果设上抛的初速度 v_0 方向为正方向, 则合运动的位移:

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

合运动的速度:

$$v_t = v_0 - g t$$

物体上升到最高点的时间

$$T = \frac{v_0}{g}$$

物体上升的最大高度

$$H = \frac{v_0^2}{2g}$$

(3) 竖直上抛运动的特点:

1) 在任意一段竖直距离中, 上行、下行的时间相等;

2) 经某一高度时, 上行、下行的速度等值反向。

以上两个特点可称为竖直上抛运动的“对称性”。

2. 平抛运动

(1) 我们把物体以一定的初速度沿水平方向抛出的运动叫做平抛运动。

(2) 分析方法:

平抛运动可以看成是下面两个分运动的合运动: 一个是沿水平方向, 物体由于惯性而保持匀速直线运动, 它的速度就是平抛运动的初速度; 另一个是只受重力作用沿竖直方向向下的自由落体运动。两个分运动正交, 它是一种匀变速曲线运动。

(3) 平抛运动的规律:

1) 速度规律

$$v_x = v_0$$

$$v_y = g t$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} \quad (\theta \text{ 为 } v \text{ 与 } v_x \text{ 之间夹角})$$

2) 位移规律

$$x = v_0 t$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$s = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{y}{x} \quad (\varphi \text{ 为 } s \text{ 与 } x \text{ 之间夹角})$$

[疑难分析]

1. 物体做竖直上抛运动时,物体从抛出到达最大高度及从最高点又落回抛出位置所用时间为什么相等?

设物体抛出时的初速为 v_0 , 以 v_0 方向为正, 则其加速度为 $-g$ 。

由公式: $v_t = v_0 - gt$, 其达到最高点时 $v_t = 0$, 令上升阶段所用时间为 $t_{\text{上}}$, 则 $t_{\text{上}} = \frac{v_0}{g}$; 物体从抛出再回到抛出点, 则位移为零。代入位移公式:

$$s = v_0 t_{\text{总}} - \frac{1}{2} g t_{\text{总}}^2 \quad \text{即: } v_0 t_{\text{总}} - \frac{1}{2} g t_{\text{总}}^2 = 0$$

$$\text{又} \quad t_{\text{总}} = t_{\text{上}} + t_{\text{下}} \quad \text{所以} \quad t_{\text{上}} + t_{\text{下}} = \frac{2v_0}{g} \quad \text{得} \quad t_{\text{下}} = \frac{v_0}{g} = t_{\text{上}}$$

2. 上抛物体在任意一段竖直距离中, 上行、下行的时间为什么相等?

如图 1-9 所示, 任取一段 AB , 由第一个问题的结果可知: 物体由 B 点上升到最高点和从最高点落回到 B 点所用时间 $t_{B\text{上}} = t_{B\text{下}}$; 同理, 从 A 点上升到最高点和从最高点返回到 A 点所用时间 $t_{A\text{上}} = t_{A\text{下}}$ 。因此物体从 B 上升到 A 和从 A 返回到 B 所用时间必相等。

3. 上抛物体经某一高度时, 上行、下行的速度等值反向对吗?

答案是肯定的。在图 1-9 中取任意一点 B , 用 $v_{B\text{上}}, v_{B\text{下}}$ 分别表示物体上升和下落经过 B 点时的速度, 则:

物体从 B 点上升到最高点时有:

$$v_{B\text{上}} - g t_{B\text{上}} = 0 \quad (1)$$

物体从最高点下落回到 B 点时有:

$$v_{B\text{下}} = g t_{B\text{下}} \quad (2)$$

因为

$$t_{B\text{上}} = t_{B\text{下}}$$

所以由公式(1)、(2)可看出: $v_{B\text{上}} = v_{B\text{下}}$

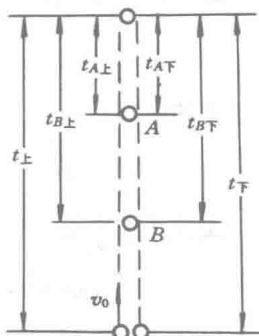


图 1-9

上述结论由讨论上抛运动得出, 其实物体沿光滑斜面上滑到最高点又从最高点下滑到原处的运动与竖直上抛运动具有相同的“对称性”, 仅前者运动加速度值为 g , 后者运动加速度值为 $a = g \sin \theta$ 而已。

[例题解析]

1. 从 12m 高的平台边缘有一小球 A 自由落下, 此时恰有一小球 B 在 A 球的正下方从地面上以 20m/s 的初速竖直上抛, 求:

(1) 经过多长时间两球在空中相遇?

(2) 相遇时两球的速度 v_A, v_B ;

(3) 若要使两球能在空中相遇, B 球上抛的初速度 v'_{0B} 最小值为多大? (取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)。

解析: A、B 相遇可能有两种情况。B 球在上升过程中与 A 球相遇; 或 B 上升到最高点后在下落的过程中 A 从后面追上 B 而相遇。容易理解, 若要使 A、B 两球能在空中相遇, 则 B 球在空中飞行的时间至少应比 A 球下落 12m 的时间长。

(1) B 球上升到最高点的高度为 $H = \frac{v_{0B}^2}{2g} = \frac{20^2}{2 \times 10} = 20(\text{m})$, 此高度大于平台的高度 $h_A = 12\text{m}$, 故 A、B 两球一定是在 B 球上升的过程中相遇。相遇时

$$v_{0B}t - \frac{1}{2}gt^2 = h_A - \frac{1}{2}gt^2$$

$$t = \frac{h_A}{v_{0B}} = \frac{12}{20} = 0.6(\text{s})$$

(2) 相遇时

$$v_A = gt = 10 \times 0.6 = 6(\text{m/s}) \quad \text{方向向下}$$

$$v_B = v_{0B} - gt = 20 - 10 \times 0.6 = 14(\text{m/s}) \quad \text{方向向上}$$

(3) 设 A 球在空中飞行时间为 t_A , B 球在空中飞行时间为 t_B , 因为 $h_A = \frac{1}{2}gt_A^2$

所以 $t_A = \sqrt{\frac{2h_A}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 2}{10}} = 1.55(\text{s})$ (已舍去负值)

又 $t_B = \frac{2v'_{0B}}{g} \quad t_B > t_A$ 才能使 A、B 球相遇

所以 $\frac{2v'_{0B}}{g} > 1.55(\text{s}) \quad \text{得} \quad v'_{0B} > 7.75\text{m/s}$

2. 一物体由 A 点竖直上抛, 它经过 A 点之下距 A 点为 h 时的速度大小刚好两倍于经过 A 点之上距 A 点为 h 时的速度大小, 求证它所达到的最高点在 A 点之上 $\frac{5}{3}h$ 处。

解法一: 将竖直上抛转化为自由落体来研究。如图 1-10 所示。物体由最高点 B 自由下落经 C、D 两处有: $v_D = 2v_C$

因为

$$v_D : v_C = t_{BD} : t_{BC}$$

所以

$$t_{BD} = 2t_{BC}$$

由比例关系

$$s_1 : s_1 : s_1 = 1 : 3 : 5$$

可得

$$CD = 3BC$$

因为

$$CD = 2h$$

所以

$$BC = \frac{CD}{3} = \frac{2}{3}h$$

故

$$AB = h + \frac{2}{3}h = \frac{5}{3}h$$

解法二: 令 $AB = H$

$$v_D : v_C = t_{BD} : t_{BC}$$

因为

$$BD : BC = t_{BD}^2 : t_{BC}^2 = v_D^2 : v_C^2 = (2v_C)^2 : v_C^2 = 4 : 1$$

其中

$$BD = H + h \quad BC = H - h$$

所以

$$\frac{H+h}{H-h} = \frac{4}{1}$$

解得

$$H = \frac{5}{3}h$$

解法三: 设初速度为 v_0 , 则 $H = \frac{v_0^2}{2g}$ 依题意:

$$\begin{cases} v_C^2 - v_0^2 = 2(-g)h & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_D^2 - v_0^2 = 2(-g)(-h) & (2) \end{cases}$$

注意(2)式的位移前面带着负号, 表示物体在抛出点的下方。

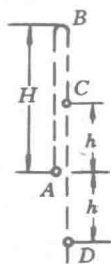


图 1-10

由(1)式得: $v_C^2 = 2gH - 2gh = 2g(H-h)$

由(2)式得: $v_D^2 = 2gH + 2gh = 2g(H+h)$

$$\frac{v_C^2}{v_D^2} = \frac{H-h}{H+h} = \frac{1}{4}$$

解得: $H = \frac{5}{3}h$

3. 将物体从山坡上沿水平方向抛出, 1 秒后速度与水平方向成 30° 角, 落地时的速度与水平方向成 60° 角, 求物体落地点和抛出点间的水平距离。

解析: 由第一个条件用速度分解法求出初速度, 再由第二个条件用速度分解、运动的合成中合运动和分运动的同时性求出物体的飞行时间, 最后求出水平方向分运动的分位移。

建立坐标系如图 1-11 所示, 物体在 1 秒末的速度分解, 得 x 方向的分速度即平抛物体的初速度

$$v_0 = v_{1x} = \frac{v_{1y}}{\tan 30^\circ} = \frac{gt}{\tan 30^\circ} = \frac{10 \times 1}{\frac{\sqrt{3}}{3}} = 10\sqrt{3} \text{ (m/s)}$$

由落地时速度的分解得 y 方向的分速度为

$$v_{2y} = v_{2x} \tan 60^\circ = 10\sqrt{3} \times \sqrt{3} = 30 \text{ (m/s)}$$

物体的飞行时间 $t = \frac{v_{2y}}{g} = \frac{30}{10} = 3 \text{ (s)}$

x 方向的位移 $x = v_0 t = 10\sqrt{3} \times 3 = 30\sqrt{3} \approx 52 \text{ (m)}$

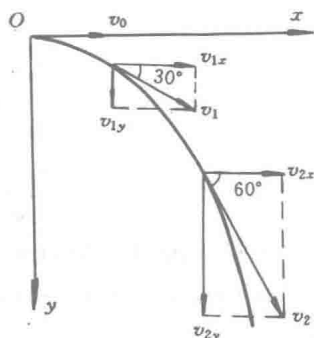


图 1-11

4. 一架飞机在空中沿水平方向作匀加速直线运动, 从飞机上每隔相等时间先后落下 4 个物体, 若不计空气阻力, 则 4 个物体

- (A) 在空中任何时刻总在飞机正下方排成竖直的直线;
- (B) 因为飞机作加速运动, 所以在空中任何时刻不在同一直线上;
- (C) 落地点的间距是相等的;
- (D) 落地点的间距之差是相等的。

解析: 根据题意画出示意图 1-12。设每隔 T 时间落下一物, 第一个物体离开飞机时, 飞机的速度为 v_1 , 物体离开飞机后以初速 v_1 作平抛运动。经过 T 时间, 此物在水平方向上前进 $v_1 T$, 而在这段时间内飞机前进了: $v_1 T + \frac{1}{2} a T^2$, 因此第二个物体离开飞机时在水平方向上比第一个物体超前距离 $\frac{1}{2} a T^2$, 此时第二个物体以初速 $v_2 = v_1 + aT$ 作平抛运动。所以它们在空中不在同一竖直线上。

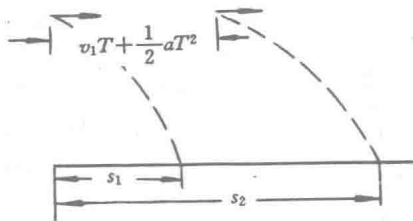


图 1-12

设物体在空中飞行时间为 t 。

第一、二两物体落地点的间距:

$$s_1 = s_2 - s_1 = v_1 T + \frac{1}{2} a T^2 + v_2 t - v_1 t = v_1 T + \frac{1}{2} a T^2 + a T t \quad (1)$$

同理,第二、三两物体落地点的间距:

$$s_1 = s_3 - s_2 = v_2 T + \frac{1}{2} a T^2 + a T t \quad (2)$$

由(1)、(2)式得两个相邻的落地点间距之差

$$\Delta s = s_1 - s_1 = (v_2 - v_1) T = a T^2$$

为定值,所以(B)、(D)是正确的。

[知识拓宽]

平抛运动的动力学解释:平抛运动是一种匀变速曲线运动。

只受引力作用而直线落下的一切物体,都以相同的比率加速。如自由落体运动,一切物体都以 g 值加速。当物体在重力场中沿着其他方向运动时,他们也会以相同的 g 值加速吗?在我们做过研究平抛运动的实验以后,会得到肯定的答案。平抛运动可以分解为一个竖直向下的自由落体运动和一个水平方向的匀速直线运动。根据运动的独立性原理,平抛运动中速度的变化决定于竖直方向分运动的速度变化。竖直方向的自由落体运动的速度变化率为 g ,即在相等时间 Δt 内平抛运动的速度变化都是相等的,其大小等于 $g\Delta t$,方向总是竖直向下的,这就是匀变速运动。因为是曲线运动,所以,我们可以从运动学上得出:平抛运动是一种匀变速曲线运动。

我们在学习牛顿第二定律时,已经深刻地认识到以下几点:(1)独立性:作用在物体上的一个确定的力必定产生一个确定的加速度,不会因为物体同时受有其他作用力而有所影响——力的独立作用原理。(2)矢量性:加速度的方向始终跟产生这个加速度的力的方向一致。(3)瞬时性:加速度的大小和方向任何时刻都取决于力的大小和方向。物体在恒力作用下,产生恒定的加速度,做匀变速运动;力变化,加速度随即变化,物体将做变加速运动。

牛顿第二定律的独立性、矢量性、瞬时性在平抛运动中有充分的体现。平抛运动物体在竖直方向上受到恒力 G 的作用而产生恒定的加速度 g 与自由落体运动相同。在水平方向上不受力,水平方向没有加速度,物体在水平方向作匀速直线运动。这就是平抛运动可以看成由水平方向上的匀速直线运动、竖直方向上的自由落体运动这两个分运动的动力学原因。从动力学角度同样可以得到:平抛运动是一种匀变速曲线运动。

[练习题]

一、填空题

1. 竖直上抛运动可以看成_____和_____这两个分运动的合运动。

2. 竖直上抛运动的物体在上升阶段的平均速度是 9.8m/s ,则物体初速度的大小为_____ m/s ,上升的最大高度是_____ m ,物体回到出发点所需的时间是_____ s 。

3. 竖直上抛的物体,先后两次经过距抛出点高度为 h 处的时间间隔为 Δt ,则物体上抛的初速度为_____。

4. 从同一高度同时以相同的速率 v_0 抛出两个小球,其中一个竖直下抛,另一个竖直上抛,它们的落地的时间差是_____。

5. 图 1-13 为测量子弹速率的一种装置。子弹射穿 A 纸片后又射穿 B 纸片,已知两纸片的距离为 s ,两小孔

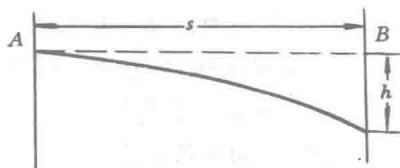


图 1-13