

力学是关于运动的科学,它的任务是以完备而又简单的方式描述自然界中发生的运动。

——基尔霍夫^①

1 曲线运动

问题

?

观察右边两幅图片描述的现象,你能不能说清楚:砂轮打磨下来的炽热微粒和飞出去的链球,分别沿着什么方向运动?



我们知道,物体做直线运动时,速度方向与运动轨迹一致。物体做曲线运动时,速度方向又是怎样的呢?

曲线运动的速度方向

运动员掷链球时,链球在手的牵引下做曲线运动,一旦运动员放手,链球即刻飞出。放手的时刻不同,链球飞出的方向也不一样。可见,做曲线运动的物体,速度的方向在不断变化。下面我们来研究做曲线运动的物体在某一时刻的速度方向。



演示

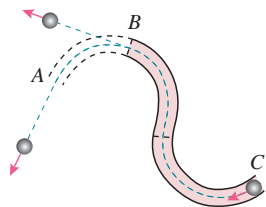


图 5.1-1 钢球离开轨道时速度的方向

观察做曲线运动物体的速度方向

如图 5.1-1,在水平桌面上放一张白纸,白纸上摆一条由几段稍短的弧形轨道组合而成的弯道。使表面沾有红色印泥的钢球以一定的初速度从弯道的 C 端滚入,钢球从出

^① 基尔霍夫 (Gustav Robert Kirchhoff, 1824 — 1887), 德国物理学家、化学家、天文学家。

口 A 离开后会在白纸上留下一条运动的痕迹，它记录了钢球在 A 点的运动方向。

拆去一段轨道，出口改在 B 。用同样的方法可以记录钢球在 B 点的运动方向。

白纸上的印迹与轨道（曲线）有什么关系？

除实验方法外，还有什么方法可以确定物体在某一时刻的速度方向？讨论这一问题时要明确一个数学概念——曲线的切线。

如图 5.1-2，过曲线上的 A 、 B 两点作直线，这条直线叫作曲线的割线。设想 B 点逐渐沿曲线向 A 点移动，这条割线的位置也就不断变化。当 B 点非常非常接近 A 点时，这条割线就叫作曲线在 A 点的**切线**（tangent）。

假设图 5.1-2 中的曲线是某一质点的运动轨迹。若质点在一段时间内从 B 点运动到 A 点，则质点的平均速度的方向由 B 点指向 A 点。当 B 点越来越靠近 A 点时，质点的平均速度方向将越来越接近 A 点的切线方向。当 B 点与 A 点的距离接近 0 时，质点在 A 点的速度方向沿过 A 点的切线方向。

根据上面的分析，可以得到结论：**质点在某一点的速度方向，沿曲线在这一点切线方向。**

速度是矢量，既有大小，又有方向。由于曲线运动中速度的方向是变化的，所以曲线运动是变速运动。

► 在初中数学里我们已经知道了圆的切线。对于其他曲线，切线指的是什么？

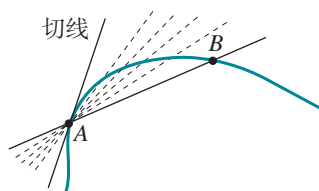


图 5.1-2 曲线的切线

物体做曲线运动的条件



思考与讨论

物体如果不受力，将静止或做匀速直线运动。那么，你认为物体在什么条件下做曲线运动呢？

物体做曲线运动时，由于速度方向时刻改变，物体的加速度一定不为 0，因此，物体所受的合力一定不为 0。

物体受什么样的力才会做曲线运动？下面我们通过实验来研究这个问题。

演示

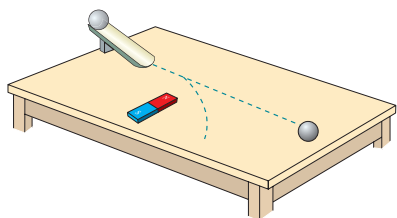


图 5.1-3 钢球的运动轨迹

观察钢球的运动轨迹

一个钢球在水平面上做直线运动。从不同方向给它施加力，例如在钢球运动路线的正前方或旁边放一块磁铁（图 5.1-3），观察钢球的运动。

由实验可以看出，当钢球受到的合力的方向与速度方向不在同一条直线上时，钢球做曲线运动。生活中也有大量类似的例子。例如，向斜上方抛出的石子，它所受重力的方向与速度的方向不在同一条直线上，石子做曲线运动。

大量事实表明：**当物体所受合力的方向与它的速度方向不在同一直线上时，物体做曲线运动。**

根据牛顿第二定律，物体加速度的方向与它受力的方向总是一致的。当物体受力的方向与速度的方向不在同一直线上时，加速度的方向也就与速度的方向不在同一直线上了，于是物体的速度方向要发生变化，物体就做曲线运动。

做一做

用飞镖显示曲线运动的速度方向

如图 5.1-4，取一根稍长的细杆，一端固定一枚铁钉，另一端用羽毛或纸片做成尾翼，这样就得到了一个能够显示曲线运动速度方向的“飞镖”。

在空旷地带把飞镖抛出，飞镖在空中各点的指向就是它在该点的速度方向。飞镖落至地面插入泥土后的指向就是它落地瞬时的速度方向。

改变飞镖的投射角，观察它在飞行过程中直到插入泥土时的速度方向。

联系飞镖在空中做曲线运动的轨迹，体会曲线运动的速度方向与轨迹曲线的关系。



图 5.1-4 飞镖的运动轨迹

1. 跳水运动是一项难度很大又极具观赏性的运动，我国跳水队多次在国际跳水赛上摘金夺银，被誉为跳水“梦之队”。图 5.1-5 中虚线描述的是一位跳水运动员高台跳水时头部的运动轨迹，最后运动员沿竖直方向以速度 v 入水。整个运动过程中，

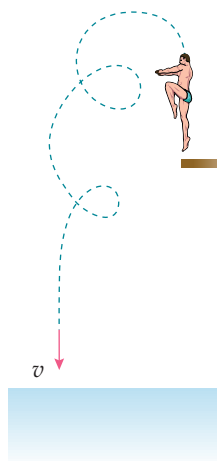


图 5.1-5

除运动员入水前一段时间外，在哪几个位置头部的速度方向与入水时速度 v 的方向相同？在哪几个位置与速度 v 的方向相反？在图中标出这些位置。

2. 图 5.1-6 是从高空拍摄的一张地形照片，河水沿着弯弯曲曲的河床做曲线运动。图中哪些地方河水的速度方向跟箭头所指 P 处流水的



图 5.1-6

速度方向相同？请把这些地方标注出来。

3. 汽车以恒定的速率绕圆形广场一周用时 2 min，每行驶半周，速度方向改变的角度是多少？汽车每行驶 10 s，速度方向改变的角度是多少？先画一个圆表示汽车运动的轨迹，然后作出汽车在相隔 10 s 的两个位置的速度矢量示意图。

4. 一质点沿着圆周运动。请证明：质点与圆心连线所扫过的角度与质点速度方向改变的角度相等。

5. 一个物体在光滑水平面上运动，其速度方向如图 5.1-7 中的 v 所示。从 A 点开始，它受到向前但偏右（观察者沿着物体前进的方向看，下同）的合力。到达 B 点时，这个合力的方向突然变得与前进方向相同。达到 C 点时，合力的方向又突然改为向前但偏左。物体最终到达 D 点。请你大致画出物体由 A 至 D 的运动轨迹，并标出 B 点、 C 点和 D 点。

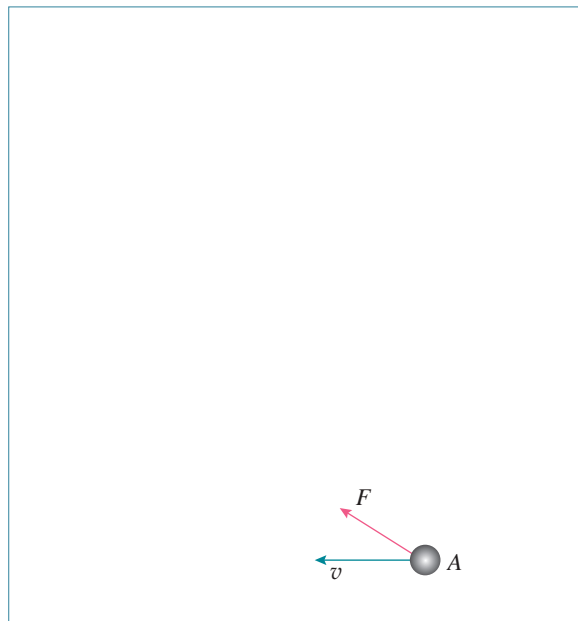


图 5.1-7