初升高物理思维提升

Zircon

Contents

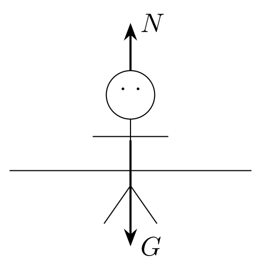
Chapter 1

压强与力

压强与力的关系是 $F = pS$：一块面积 S 上若受到均匀压强 p，它受到的压力就是 $F = pS$。下面用这条关系，从一个”看似要算、其实抵消”的例子讲起。

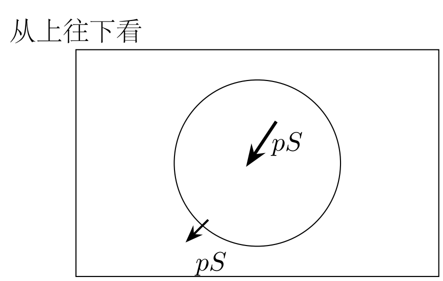
1.1 大气压：上下抵消

人站在地面上，头顶受大气向下压、脚底受地面向上支持。先问一个常见的问题：脚底受到的支持力 N 等于体重 G 吗?



如果只盯着体重，会以为 $N = G$。但别忘了大气压。从上往下看，人占的那块地面面积上方，整根空气柱压下来；这块面积下方，地面又顶上来。把大气压也算进去：

$$N = G + p_0 S_{\text{上}} \quad ? \qquad \text{——还要看大气压在下表面有没有抵消。}$$



关键在于：从整体上看，人占据的截面，**上表面**面积与**下表面**面积是相等的，

$$S_{\text{上}} = S_{\text{下}} \quad \Longrightarrow \quad p_0 S_{\text{上}} = p_0 S_{\text{下}}.$$

大气从上方压下来的力 $p_0S_{上}$，正好被从下方（地面经接触面）顶上来的力 $p_0S_{下}$ 抵消。**总效果为”无”**——大气压对竖直方向的合力没有贡献，所以最后仍是 $N = G$。

这就是为什么平时算支持力可以不管大气压：上下表面压力相等、自动抵消。

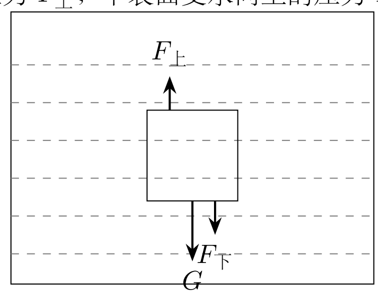
1.2 又如：浸在液体中的物体

同样的”上下表面压力差”思路，用到液体里就是浮力。

例.

> 把一个正方体悬浮在水中，画出它的受力示意图。

解.

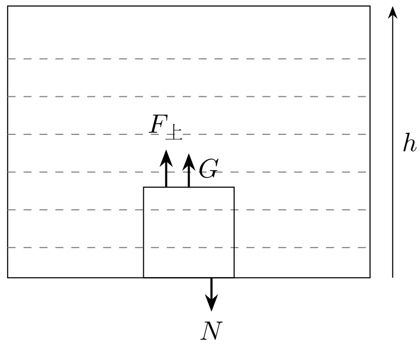
> 正方体上表面受水向下的压力 $F_{上}$，下表面受水向上的压力 $F_{下}$，自身重力 G 向下。
>
> 
>
>
> 下表面比上表面深，水压更大，所以 $F_{下} > F_{上}$，二者之差就是浮力：
>
> $$F_{浮} = F_{下} - F_{上}.$$

例.

> 把一个正方体沉在容器底部（与底紧贴、底面无水），画出它的受力并求底部对它的支持力 N。

解.

> 沉底后底面紧贴容器，水进不到下表面，于是下方不再有水的向上压力，取而代之的是容器底的支持力 N。上表面仍受水向下的压力 $F_{上} = p_0s$（这里 p_0 是上表面处水压，s 为底面积），重力 G 向下。



竖直方向受力平衡，容器底给的支持力要顶住重力和上方水压：

$$N = F_{上} + G = mg + \rho ghs.$$

沉底”贴死”是关键：一旦下表面没有水，浮力的”下表面向上压力”这一项就消失了，受力图和悬浮时完全不同。

1.3 思考

1. 浮力是怎么产生的? 就是上下表面的压力差：

$$F_{浮} = F_{下} - F_{上}.$$

把上下表面的水压逐层算清楚，就能推出**阿基米德原理**

$$F_{浮} = G_{排},$$

即浮力等于被排开的那部分液体的重力。

2. 把一个半球贴底放在容器底部（平面圆底朝下贴在容器底、球面朝上凸入水中，形如锅盖），它受到容器底部的支持力有多大?

解.

核心是**假设法**：假设半球**下方也有水**（半球完全浸没）。这样半球就像普通浸没物体一样受到完整的浮力，

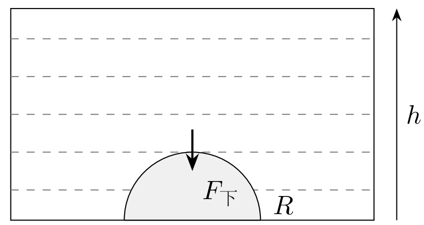
$$F'_{浮} = \rho V g = \rho \cdot \tfrac{2}{3}\pi R^3 \cdot g,$$

其中 $V = \frac{2}{3}\pi R^3$ 是半球体积。完整浮力 = 平底（深度 h 的圆面）受到的向上水压 − 球面受到的向下水压，而平底向上水压为 $\rho gh\,\pi R^2$，于是球面受到的向下水压为

$$F_{下} = \rho gh\,\pi R^2 - F'_{浮} = \rho gh\,\pi R^2 - \tfrac{2}{3}\pi R^3 \rho g.$$

回到真实情形：半球贴底，下方其实没有水，平底那份向上水压不存在，改由容器底的支持力顶住；球面那份向下水压 $F_{下}$ 依旧在。容器底要顶住的正是这份向下水压，

$$N = F_{下} = \rho gh\,\pi R^2 - \tfrac{2}{3}\pi R^3 \rho g = \pi\rho g R^2\left(h - \tfrac{2}{3}R\right).$$



”假设法”的妙处：先补上不存在的水，把问题凑成会算的浮力，再把多补的那份减掉。

Chapter 2

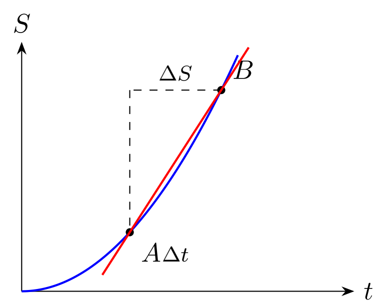
极限思想

2.1 从平均速率到瞬时速率

平均速率就是总路程除以总时间：

$$\bar{v} = \frac{S}{t} \qquad \Big(更一般地，\ \bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}\Big).$$

在位移－时间（S–t）图上，取 A、B 两点，$\bar{v} = \dfrac{\Delta S}{\Delta t}$ 正是**割线** AB 的斜率 k_{AB}。



现在**减小** Δt：让 B 沿曲线滑向 A。割线斜率 k_{AB} 随之变化，

$$\Delta t \downarrow \implies k_{AB} \to k_{切@A}.$$

当 $\Delta t \to 0$ 时，$\bar{v}$ 就趋于 A 点的**瞬时速率** v_t。反映在图上：瞬时速率就是该点处**切线的斜率**。

极限思想的结论

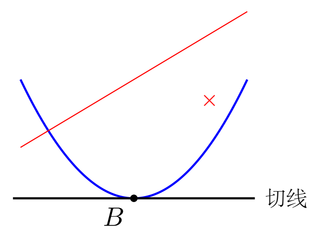
位移－时间图上，某点切线的斜率 = 该点的瞬时速率。把 Δt 不断缩小、让割线逼近切线，就是”极限”。

2.2 补充：切线为什么用斜率定义

曲线某点切线的”倾斜程度”，描述的正是曲线在该点的**变化率**。这件事可以用**反证法**佐证：

解.

> 若两者不相等——即所谓的”切线”在该点的斜率与曲线在该点的变化率不一致——那么这条直线在该点附近就会与曲线相交于另一个点，于是它不再是”只碰一下”的切线，矛盾（图中打 ×）。所以二者必相等：切线斜率就是曲线在该点的变化率。

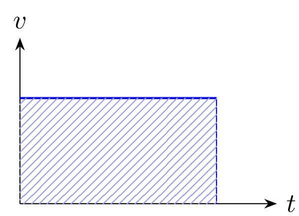


Chapter 3

微元思想

3.1 从匀速直线运动出发

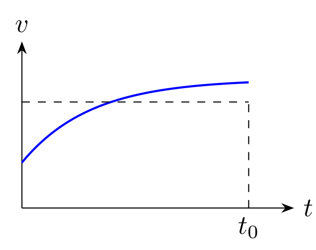
匀速直线运动 $S = vt$。在速度－时间（v–t）图上，速度是一条水平线，它与 t 轴围成一个**矩形**：



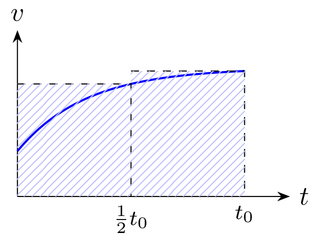
这个矩形的面积 $v \cdot t$ 恰好就是位移 S。也就是说，v–t 图线与 t 轴围成的矩形面积，代表了位移。

3.2 变速直线运动呢?

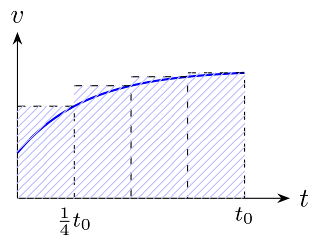
如果是变速直线运动，速度不再是水平线。先用一个大矩形去估：



这个矩形面积和真正的位移 S 有" 一定的贴近程度"，但**误差较大**。把 t_0 一分为二，用两个矮一点的矩形去贴：

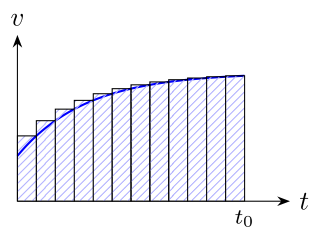


再分 t_0，分成更多份，每份用一个矩形去贴——**近似度更好了**：



让 t_0 被**无限分割**，每一小段时间 Δt 内速度几乎不变，那一小条的面积就是 $v\,\Delta t$；把所有小条加起来：

$$\sum v\,\Delta t = S.$$



微元思想的结论

对于任意变速运动，$v(t)$ 图线与 t 轴围成的图形面积，即为这段时间内的位移／路程。

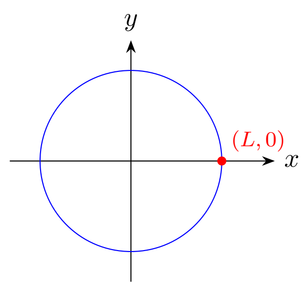
Chapter 4

标量和矢量

4.1 为什么要有方向

在 xOy 平面里描述一个点的位置，先看一个对比。

只告诉你”该点到原点 O 的距离为 L”，但不告诉方向——满足条件的点有**无数个**，它们排成一个半径为 L 的圆。可一旦补上方向，比如”在 x 轴正半轴上、到 O 的距离为 L”，这个点的位置就**唯一**确定了。



可见，光有”大小”L 不够，还得有”方向”才能定下位置——物理量正是因此分成两类。

4.2 标量与矢量

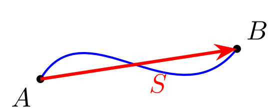
标量与矢量

标量：只有大小。 例如路程 L。
矢量：既有大小，也有方向。 例如位移 S。

路程 L 与位移 S 正好是这对概念的代表：

$$\text{路程}L \xrightarrow{\text{加上方向}} \text{位移}S.$$

位移是由**初位置**指向**末位置**的有向线段——它只看起点和终点，不管中途绕了多远。



4.3 矢量的变化与比较

矢量的变化：大小和方向，只要其中**有一个**发生变化，就认为这个矢量变了。

矢量的比较：两个矢量**相等（相同）**，要求大小和方向**都一致**。至于" 哪个大哪个小"，比较的只是它们的大小。

这条在后面非常有用：匀速圆周运动里速度大小不变、方向一直在变，所以速度这个矢量一直在变。

Chapter 5

运动状态的改变

运动状态由**速度** v 刻画，而速度是矢量：

$$v\begin{cases}\text{大小}\\\text{方向}\end{cases}$$

所以" 运动状态改变" 指的是速度的大小**或**方向发生了变化——接着上一章那句话，二者只要变一个，状态就变了。

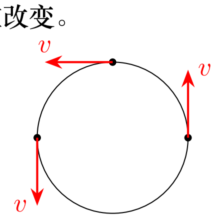
5.1 两个例子

例.

> 匀速圆周运动。

解.

> 速度大小始终不变，但方向时刻在变（永远沿切线）。方向变了，速度这个矢量就变了，所以匀速圆周运动**运动状态一直在改变**。

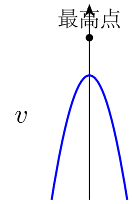


例.

> 竖直上抛运动的最高点。

解.

到最高点时速度恰好为零，但此刻物体仍受重力，下一瞬就开始往下加速。所以" 速度为零" **不等于**" 运动状态不变"——最高点处运动状态照样在改变。



5.2 判定：靠力还是靠速度

力是改变运动状态的原因

力是改变物体运动状态的原因。由这条原理，判断" 运动状态变没变" 有两套等价说法：

1. 看受力：不受力，或所受合力为 0 $\Rightarrow$ 运动状态不变；

2. 看速度：速度 v（大小和方向）不变 $\Rightarrow$ 运动状态不变。

两个角度结论一致：合力为零 $\Leftrightarrow$ v 不变。

Chapter 6

测量误差

测量误差分两类：

$$\text{误差}\begin{cases}\text{系统误差}\\\text{偶然误差}\end{cases}$$

6.1 偶然误差

偶然误差是**人为的**，常表现为人的判断力带来的偏差，比如**读数**时多估或少估一点。

它的关键特征是**双向性**：有时偏大、有时偏小，没有固定方向。正因如此，办法是**多次实验取平均值**——一正一负相互抵消，让双向性的效果表现为"0"。

6.2 系统误差

系统误差是**实验原理上就引入**的误差，跟做多少次没关系。例如：

- 研究自由下落时，小球必然受到空气阻力；
- 用电表测量时，电表本身有内阻。

它的特征是**单向性**：总是朝同一个方向偏，多次取平均也消不掉，只能从原理或仪器上去改进。

注.

> 一句话区分：偶然误差靠"多测几次取平均"压下去（双向性 $\to 0$）；系统误差是原理自带的偏差（单向性），平均没用。

Chapter 7

电表内阻对实验的影响

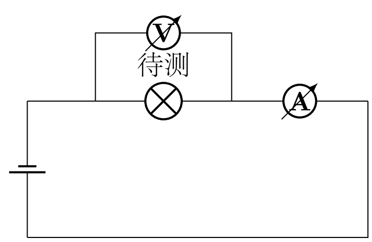
用电压表、电流表测电阻，依据的是电阻的定义式

$$R = \frac{U}{I}.$$

测量值准不准，取决于电压表、电流表怎么接——因为电表本身有内阻（这正是上一章说的系统误差）。下面比较两种接法。

7.1 电流表外接（适合测小电阻）

电压表直接并联在灯（待测电阻）两端，电流表接在外侧。



电压表示数没问题（它测的就是灯两端电压）。但**电压表会分流**：电流表测到的是流过灯和流过电压表的电流之和，比真正流过灯的电流**偏大**。于是

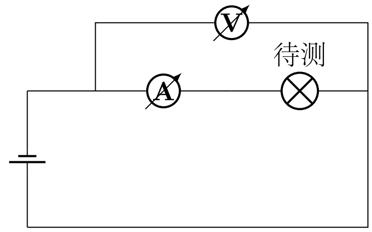
$$R_{测} = \frac{U}{I_{测}} < R_{真},$$

测量值**小于真实值**。

待测电阻越小，流过它的电流越大，电压表那点分流就越微不足道。所以电流表外接测”小电阻”误差更小。

7.2 电流表内接（适合测大电阻）

电流表与灯串联，电压表测”灯 + 电流表”整体两端的电压。



电流表示数没问题（它测的就是流过灯的电流）。但**电流表会分压**：电压表测到的是灯和电流表两端电压之和，比灯两端真正的电压**偏大**。于是

$$R_{测} = \frac{U_{测}}{I} > R_{真},$$

测量值**大于真实值**。

待测电阻越大，灯两端电压越高，电流表那点分压就越微不足道。所以电流表内接测"大电阻"误差更小。

7.3 如何选：看相对偏差

到底选哪种接法？要比的不是绝对偏差，而是**相对偏差**。

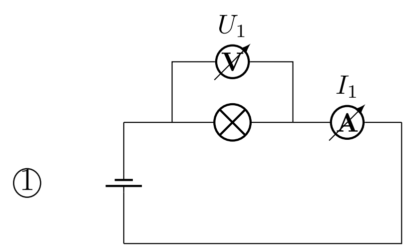
两种偏差

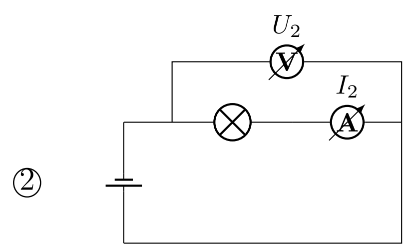
设真实值 X_1、测量值 X_2。

$$\text{绝对偏差 } \Delta X = X_2 - X_1, \qquad \text{相对偏差 } \frac{\Delta X}{X_1}.$$

选接法时看相对偏差谁更小：相对偏差小的那种更准。

按上面两节的结论：测**小**电阻用电流表**外接**（电压表分流的相对影响小），测**大**电阻用电流表**内接**（电流表分压的相对影响小）。





接法 ① 是电流表外接（电压表只跨灯）、② 是电流表内接（电压表跨"灯 + 电流表"），分别用来测小电阻和大电阻。

Chapter 8

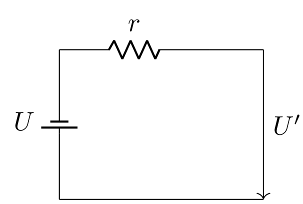
电源内阻

真实的电源不是” 理想” 的：它自己也有一点内阻 r。电源标称的电压 U（电动势）并不会全部加到外电路上，有一部分被内阻” 吃掉” 了。

8.1 路端电压 $U' = U - Ir$

把电源看成” 理想电压 U + 串联内阻 r”。当有电流 I 流过时，内阻上分掉 Ir，真正送到两端（外电路）的电压只剩

$$U' = U - Ir.$$

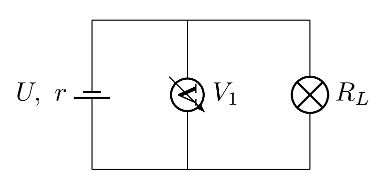


这就是**路端电压**：它随电流变化，电流越大、内阻分压越多、路端电压越低。

8.2 接上负载求电流

给电源接一个负载电阻 R_L（图中的灯），用电压表测路端电压。这时电压表读到的 U_1 等于负载两端电压 U_L，也就是路端电压：

$$U_1 = U_L = U - Ir.$$

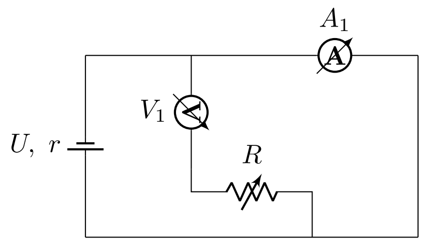


整个回路是 U、r、R_L 串联，由欧姆定律得电流

$$I = \frac{U}{r + R_L}.$$

8.3 变阻器：滑动时谁升谁降

把负载换成滑动变阻器 R，再串一个电流表。**减小** R（$R\downarrow$）时，各量怎么变?



由 $I=\dfrac{U}{r+R}$：R 减小，分母变小，电流

$$I=\frac{U}{r+R}\ \uparrow.$$

再由 $U_1=U-Ir$：电流增大，内阻分压 Ir 增大，路端电压

$$U_1=U-Ir\ \downarrow.$$

注.

> 一根主线贯穿全章：$U'=U-Ir$。$R\downarrow\Rightarrow I\uparrow\Rightarrow Ir\uparrow\Rightarrow$ 路端电压 $U_1\downarrow$。内阻 r 越大，这种”越用劲、电压掉得越狠”的现象越明显。