

第二章 相互作用

目录

1	重力 弹力 摩擦力	2
1.1	重力	2
1.2	弹力	2
1.3	摩擦力	4
2	力的合成与分解	8
2.1	力的合成与分解	8
2.1.1	力的合成	8
2.1.2	力的分解	9
2.2	死结与活结定杆与动杆	11
2.2.1	死结与活结	11
2.2.2	定杆与动杆	12
3	牛顿第三定律共点力的平衡	13
3.1	牛顿第三定律	13
3.2	共点力的平衡	14
4	微专题 动态平衡 平衡中的临界、极值问题	16
4.1	题型一：动态平衡问题	16
4.2	题型二：平衡中的临界、极值问题	18
5	实验 探究弹簧弹力与形变量的关系	20
5.1	实验原理和装置图	20
5.2	操作要领	20
5.3	数据处理方法	20
5.4	误差分析	21
5.5	改进方案	21
6	探究两个互成角度的力的合成规律	22
6.1	实验原理和装置图	22
6.2	操作步骤	23
6.3	数据处理	23
6.4	注意事项	23
6.5	误差分析	23
6.6	改进方案	24

1 重力 弹力 摩擦力

1.1 重力

1. 产生：由于地球的吸引而使物体受到的力。

点拨提醒：重力不是引力，严格来说这里的重力是表观重力。万有引力分为两个部分：一部分是由于地球自转产生的离心力（提供绕地球转动的向心力），另一部分是地球对物体的引力。我们把这两部分合力叫作表观重力。

2. 公式： $G = mg$ 。（海拔越高， g 越小；纬度越高， g 越小）

3. 方向：竖直向下。

4. 重心：物体的各部分都受到重力的作用，从效果上看，可以认为各部分受到的重力作用集中于一点，这一点叫作重心。

点拨提醒：重心不一定在物体内部，如环形物体的重心在环的中心。

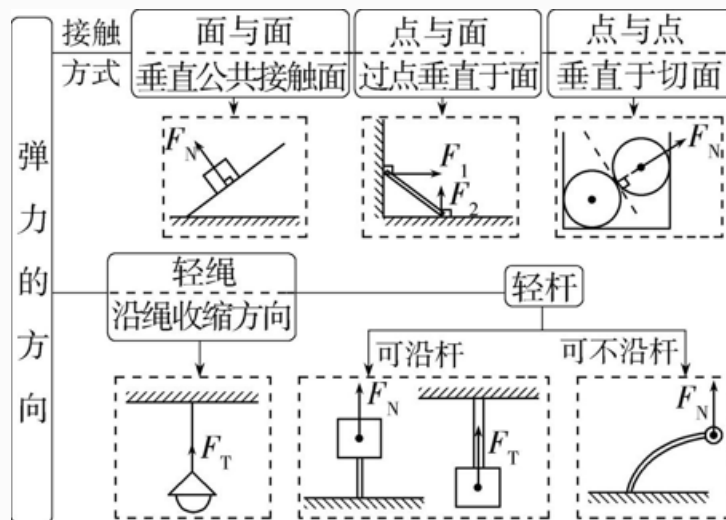
1.2 弹力

1. 定义：发生形变的物体，要恢复原状，对与它接触的物体会产生力的作用，这种力叫作弹力。

2. 产生的条件：物体间直接接触；接触处发生弹性形变。

3. 方向：总是与施力物体形变的方向相反。

4. 常见模型中的弹力方向



5. 弹力有无的判断方法

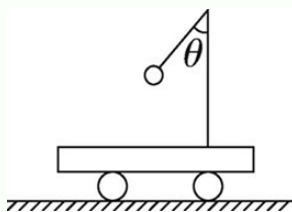
方法	适用情况	具体操作
条件法	形变较明显的情况	根据弹力的产生条件直接判断
假设法	形变不明显的情况	假设两个物体间不存在弹力，若运动状态不变，假设成立；若运动状态改变，则存在弹力
状态法	物体运动状态已知	运用牛顿第二定律或共点力的平衡条件判断
替换法	形变不明显的情况	用易产生明显形变的物体替换形变不明显的物体，若发生形变，则有弹力

6. 弹力大小的计算

- (1) 应用胡克定律计算——弹簧类
 - 由胡克定律 $F = kx$ 计算，其中 x 表示弹簧的形变量， k 为弹簧的劲度系数
 - 弹簧串联时，各弹簧的弹力大小相等 ($\frac{1}{k_{\text{总}}} = \sum \frac{1}{k_i}$)
 - 弹簧并联时，各弹簧的形变量一般都相同 ($k_{\text{总}} = \sum k_i$)
- (2) 应用平衡条件计算——平衡体
 - 明确研究对象，进行受力分析
 - 应用平衡条件列式计算
- (3) 应用牛顿第二定律计算——非平衡体
 - 明确研究对象，进行受力分析
 - 应用牛顿第二定律列式求解

典例 (多选) 如图所示，小车位于水平面上，固定在小车上的支架的斜杆与竖直杆的夹角为 θ ，在斜杆下端固定有质量为 m 的小球。重力加速度为 g 。下列关于杆对球的作用力 F 的判断中，正确的是 ()

- A. 小车静止时， $F = mg \sin \theta$ ，方向沿杆向上
- B. 小车静止时， $F = mg \cos \theta$ ，方向垂直于杆向上
- C. 小车向右匀速运动时，一定有 $F = mg$ ，方向竖直向上
- D. 小车向右做匀加速直线运动时，一定有 $F > mg$ ，方向可能沿杆向上



1.3 摩擦力

1. 摩擦力的产生与方向

- 产生条件：接触且有挤压；接触面粗糙；两物体间有相对运动或相对运动趋势
- **点拨提醒**：有摩擦力一定有弹力，有弹力不一定有摩擦力
- 方向：与物体相对运动方向或相对运动趋势方向相反

2. 摩擦力大小的计算方法

公式法	(1) 滑动摩擦力：根据公式 $F_f = \mu F_N$ 计算 (2) 最大静摩擦力：其值略大于滑动摩擦力，当认为最大静摩擦力等于滑动摩擦力时， $f_{\max} = \mu F_N$
状态法	物体处于平衡状态：运用力的平衡条件来计算 物体处于非平衡状态：运用牛顿运动定律来计算

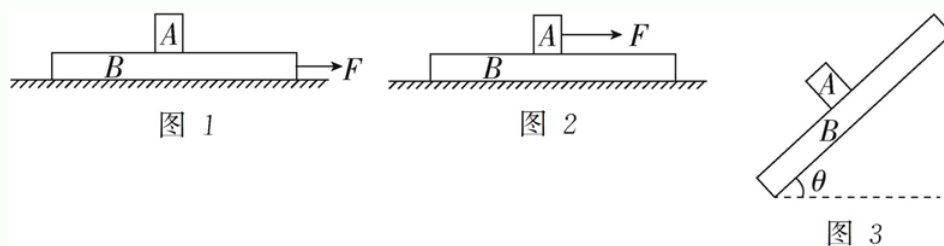
点拨提醒：静摩擦力的取值范围为 $0 < f \leq f_{\max}$ ，通常运用状态法计算。

3. 静摩擦力有无及方向的判断方法

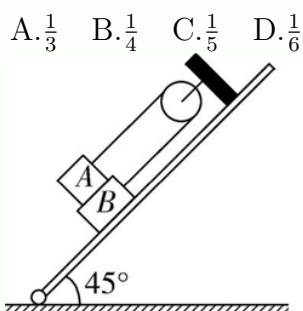
条件法	根据物体是否直接接触并发生挤压，接触面是否粗糙，有无相对运动趋势来判断
假设法	<pre> graph LR A[假设物体间接接触面光滑] --> B[不发生相对滑动] A --> C[发生相对滑动] B --> D[无相对运动趋势] C --> E[有相对运动趋势] D --> F[无静摩擦力] E --> G[有静摩擦力] F --> H[方向与相对运动趋势相反] G --> H </pre>
状态法	先判断物体的运动状态，然后通过受力分析列方程 ($a = 0$ ，列平衡方程； $a \neq 0$ ， $F_{\text{合}} = ma$)，最后确定静摩擦力的有无及方向
转换对象法	先确定受力较少的物体受到的静摩擦力的方向，再根据牛顿第三定律确定另一物体受到的静摩擦力的方向

教考衔接

典例 2 (人教版必修一 P_{71}, T_4 改编) 如图 1 所示，质量分别为 m 和 M 的两粗糙长方体木块 $A B$ 叠在一起，放在水平桌面上。 $A B$ 之间的动摩擦因数为 μ_1 ， B 与桌面之间的动摩擦因数为 μ_2 。 B 木块受到一个水平方向的拉力 F ，在拉力 F 的作用下， $A B$ 一起向右做匀速直线运动。重力加速度为 g 。问：

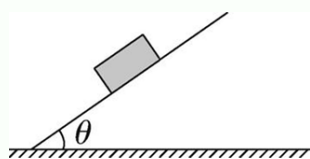


- (回归教材) AB 之间的摩擦力有多大? B 受到的拉力 F 又是多大?
- (情境变式) 如图 2 所示, 若拉力 F 作用在木块 A 上, 已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 若木块 B 能相对桌面滑动, $\mu_1 \mu_2 m M$ 应满足什么关系?
- (拓展变式) 撤去拉力 F , 将木块 B 一端缓慢抬起, 使其与桌面成一定角度, 将其固定 (可看作斜面), 如图 3 所示, 已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 木块 B 与水平桌面的夹角为 θ 。
 - 求 $\mu_1 > \tan \theta$ 、 $\mu_1 = \tan \theta$ 及 $\mu_1 < \tan \theta$ 三种状态时, 木块 A 所受的摩擦力
 - 若给木块 A 施加一推力 F , 推力 F 与斜面的夹角为 α , 发现无论推力多大, 木块 A 都不能与木块 B 发生相对滑动。已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 试求 α 应满足的条件
- (链接高考) (2020 山东, 8,3 分) 如图所示, 一轻质光滑定滑轮固定在倾斜木板上, 质量分别为 m 和 $2m$ 的物块 AB , 通过不可伸长的轻绳跨过滑轮连接, AB 间的接触面和轻绳均与木板平行。 A 与 B 间、 B 与木板间的动摩擦因数均为 μ , 设最大静摩擦力等于滑动摩擦力。当木板与水平面的夹角为 45° 时, 物块 AB 刚好要滑动, 则 μ 的值为 ()



能力进阶

典例 3 如图所示, 重力为 G 的木块, 恰好能静止在倾角为 θ 的斜面上。

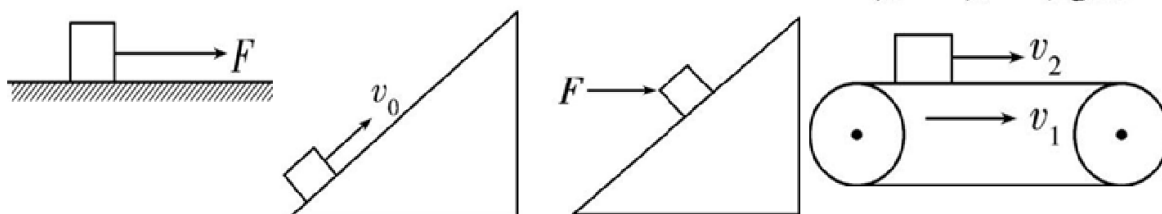


1. 若给木块施加一竖直向下的外力 F (已知), 求木块所受摩擦力的大小
2. (进阶 1: 倾角变化) 若撤去外力, 改变倾角 θ , 使倾角 θ 从 0° 逐渐增大到 90° , 则木块所受摩擦力大小将如何变化
3. (进阶 2: 摩擦力反向) 若在木块上施加沿斜面向上的推力 F , 使木块沿斜面匀速向上运动, 求推力 F 的大小
4. (进阶 3: 正压力的变化) 若将推力 F 改为水平方向, 仍能使木块沿斜面匀速向上运动, 求推力 F 的大小

提分关键 · 规律总结: 摩擦力的突变

分类	说明
”静 → 动”突变	滑块放在粗糙水平面上, 作用在滑块上的水平力 F 从 0 逐渐增大, 当滑块开始滑动时, 滑块受水平面的摩擦力由静摩擦力”突变”为滑动摩擦力, 方向不变
”动 → 静”突变	滑块以 v_0 冲上斜面做减速运动, 当到达某位置时速度减为 0 而后静止在斜面上, 滑动摩擦力”突变”为静摩擦力, 方向相反
”静 → 静”突变	在水平力 F 作用下滑块静止于斜面上, F 突然增大时滑块仍静止, 则滑块所受静摩擦力可能会在大小或方向上发生”突变”
”动 → 动”突变	水平传送带的速度 v_1 大于滑块的速度 v_2 , 滑块所受滑动摩擦力方向水平向右; 当传送带突然被卡住时, 滑块受到的滑动摩擦力方向”突变”为向左

“静→动”突变 “动→静”突变 “静→静”突变 “动→动”突变

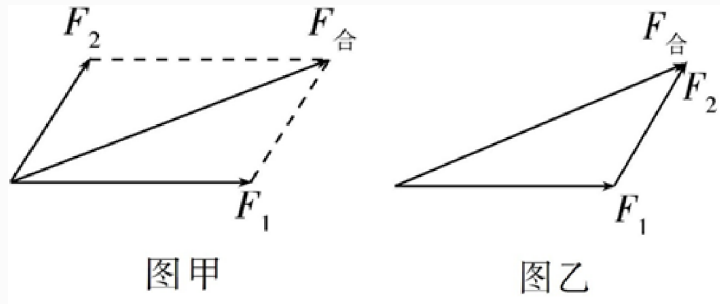


2 力的合成与分解

2.1 力的合成与分解

2.1.1 力的合成

- 合力与分力的关系：等效替代
- 力的合成：求几个力的合力的过程（运算法则：平行四边形定则/三角形定则）



3. 合力范围的确定

- (1) 两个共点力的合力大小的范围：

$$|F_1 - F_2| \leq F_{\text{合}} \leq F_1 + F_2$$

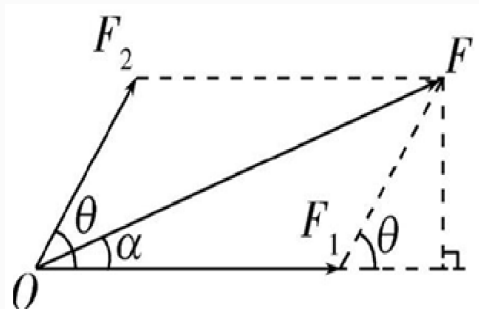
- 最大值：当两个力同向时，合力最大，为 $F_1 + F_2$
- 最小值：当两个力反向时，合力最小，为 $|F_1 - F_2|$

- (2) 三个共点力的合力大小的范围：

- 最大值：三个力同向时，其合力最大，为 $F_{\text{max}} = F_1 + F_2 + F_3$
- 最小值：如果任意两个力大小之和大于第三个力，则三个力的合力最小值为零，否则合力最小值就等于最大的力减去另外两个力的代数和

4. 力的合成方法

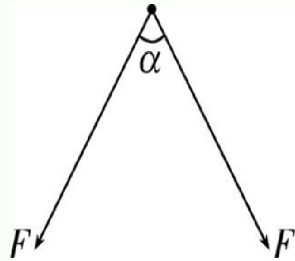
- 作图法：作出力的图示，利用平行四边形定则作出合力，结合标度得到合力大小
- 计算法：根据余弦定理，合力的大小 $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$ ；合力的方向满足 $\tan \alpha = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$



典例 1

(2023 重庆, 1,4 分) 矫正牙齿时, 可用牵引线对牙施加力的作用。若某颗牙受到牵引线的两个作用力大小均为 F , 夹角为 α , 则该牙所受牵引力的合力大小为 ()

A. $2F \sin \frac{\alpha}{2}$ B. $2F \cos \frac{\alpha}{2}$ C. $F \sin \alpha$ D. $F \cos \alpha$



提分关键 · 规律总结

	合力 F 的计算
两力互相垂直	$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ $\tan \theta = \frac{F_1}{F_2}$
两力等大, 夹角为 θ	$F = 2F_1 \cos \frac{\theta}{2}$ F 与 F_1 夹角为 $\frac{\theta}{2}$
两力等大且夹角为 120°	合力与分力等大, 合力方向在两分力夹角的角平分线上

两个分力大小一定时, 夹角 θ 越大合力越小;
合力一定, 两等大分力的夹角越大, 两分力越大;
合力可以大于分力、等于分力, 也可以小于分力。

变式

变式 1: 由定态分析到动态分析)

若在典例 1 中, 要保持牵引线对牙齿的合力不变, 逐渐增大 α , 则牵引线上的张力如何变化?

变式 2: 力的合成中的临界与极值问题)

若在典例 1 中, 牵引线系了个死结, 要保持右侧牵引线对牙齿的作用力 F 不变, 两侧牵引线的合力的方向与典例 1 中合力方向相同, 则左侧牵引线对牙齿的作用力的最小值为多少?

2.1.2 力的分解

- 力的分解是力的合成的逆运算, 遵循平行四边形定则或三角形定则
- 分解方法:
 - 效果分解法: 根据一个力产生的实际效果分解
 - 正交分解法: 将一个力沿着两个互相垂直的方向分解

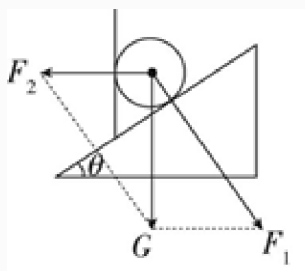


图 1: 效果分解法

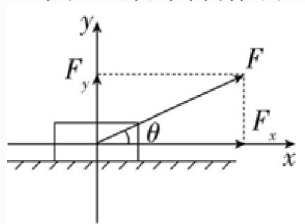


图 2: 正交分解法

• 选用原则:

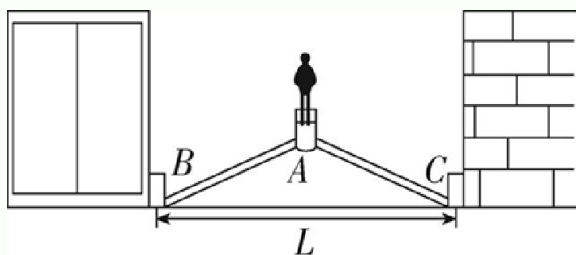
- 效果分解法: 三个力作用下的平衡问题
- 正交分解法: 三个以上的力作用下的平衡问题或三个力中有两个力相互垂直

思维点拨: 运用正交分解法时, 一般选共点力的作用点为坐标原点, 使尽可能多的力落在坐标轴上, 若物体具有加速度, 一般以加速度方向和垂直加速度方向为坐标轴。

典例 2

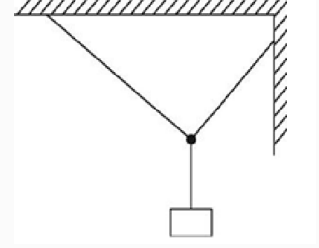
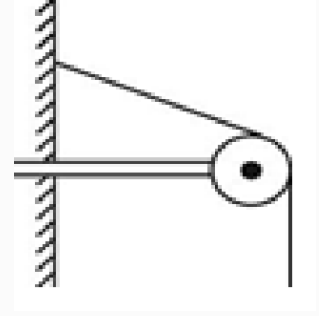
(2024 届湖南郴州质检一) 某同学周末在家大扫除, 移动衣橱时, 无论怎么推也推不动, 于是他组装了一个装置, 如图所示, 两块相同木板可绕 A 处的环自由转动, 两木板的另一端点 B、C 分别用薄木板顶住衣橱和墙角, 该同学站在该装置的 A 处。若调整装置 A 点距地面的高 $h = 8 \text{ cm}$ 时, B、C 两点的间距 $L = 96 \text{ cm}$, B 处衣橱恰好移动。已知该同学的质量为 $m = 50 \text{ kg}$, 重力加速度大小 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 则此时衣橱受到该装置的水平推力为 ()

- A. 1 680 N B. 1 470 N C. 875 N D. 840 N



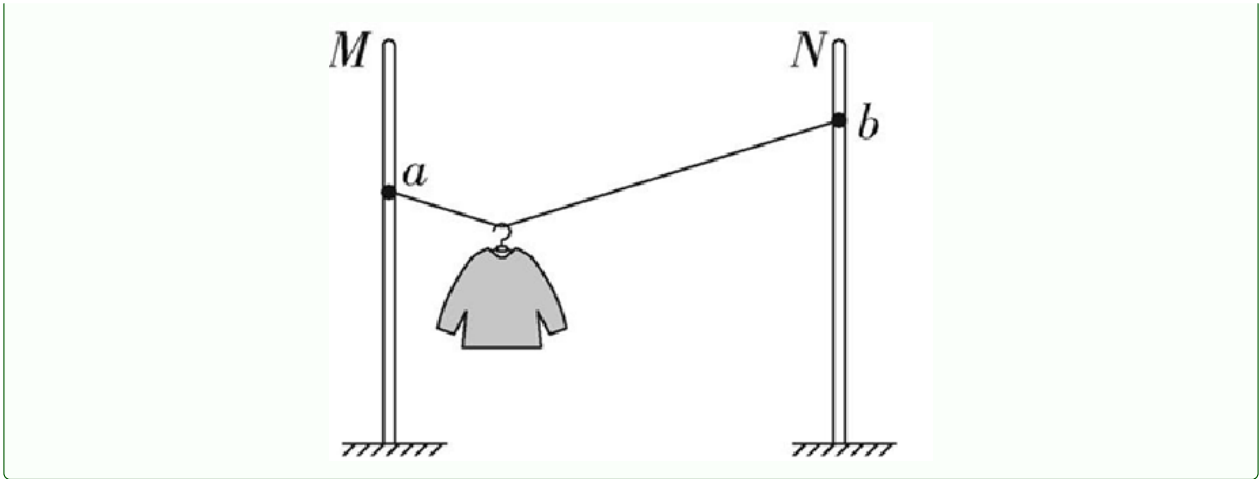
2.2 死结与活结定杆与动杆

2.2.1 死结与活结

模型结构	图解	模型解读	模型特点
”死结”		”死结”把绳子分为两段，且不可沿绳子移动，”死结”两侧的绳子因”结”而变成两根独立的绳子	”死结”两侧的绳子张力不一定相等
”活结”		”活结”把绳子分为两段，且可沿绳移动，”活结”一般由绳子跨过滑轮或绳子上挂一光滑挂钩而形成	”活结”两侧的绳子上的张力大小处处相等

典例 3

如图所示，长度为 L 的轻质不可伸长的晾衣绳两端分别固定在竖直杆 M 、 N 上的 a 、 b 两点，杆的间距为 D 。悬挂衣服的衣架钩是光滑的，挂于绳上处于静止状态，衣架钩与衣服总质量为 m ，重力加速度为 g 。试求绳的拉力大小。



2.2.2 定杆与动杆

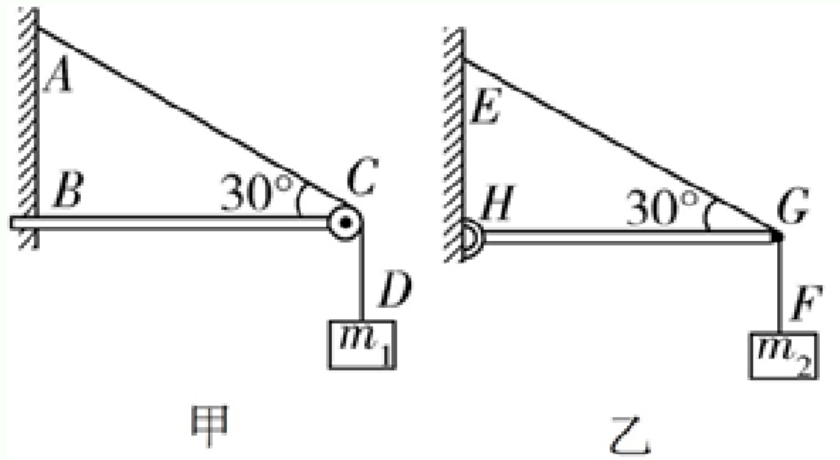
模型结构	图解	模型解读	模型特点
”定杆”		轻杆被固定在接触面上，不发生转动	杆所受的弹力方向不一定沿杆
”动杆”		轻杆用光滑的转轴或铰链连接，轻杆可围绕转轴或铰链自由转动	当杆平衡时，杆所受的弹力方向一定沿杆

典例 4

如图甲所示，细绳 AD 跨过固定在水平横梁 BC 右端的光滑轻质定滑轮挂住一个质量为 m_1 的物体， $\angle ACB = 30^\circ$ 。图乙所示的轻杆 HG 一端用铰链固定在竖直墙上，另一端 G 通过细绳 EG 拉住， EG 与水平方向成 30° 角，轻杆的 G 点用细绳 GF 拉住一个质量为 m_2 的物体， HG 杆恰好水平，重力加速度为 g ，则下列说法正确的是（ ）

A. 图甲中水平横梁 BC 对滑轮的作用力大小为 $\frac{m_1 g}{2}$

- B. 图乙中 HG 杆受到绳的作用力大小为 m_2g
- C. 细绳 AC 段的拉力 F_{AC} 与细绳 EG 的拉力 F_{EG} 的大小之比为 $1:1$
- D. 细绳 AC 段的拉力 F_{AC} 与细绳 EG 的拉力 F_{EG} 的大小之比为 $m_1:2m_2$



3 牛顿第三定律共点力的平衡

3.1 牛顿第三定律

- 内容：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上
- 表达式： $F = -F'$
- 平衡力与相互作用力的异同：

	一对作用力与反作用力	一对平衡力
相同点	大小相等	大小相等
	方向相反	方向相反
	作用在同一直线上	作用在同一直线上
不同点	性质相同	性质不一定相同
	同时产生、同时消失	不一定同时产生、同时消失
	作用在不同物体上	作用在同一物体上

4. 受力分析的一般步骤

- 明确研究对象，隔离物体分析
- 按顺序分析力：重力 \rightarrow 弹力 \rightarrow 摩擦力 \rightarrow 其他力
- 画出受力示意图
- 检查受力分析是否有误

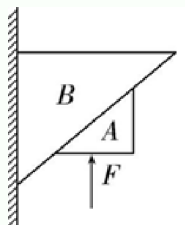
即练即清

1. 作用力与反作用力等大反向, 所以它们的合力为 0。
2. 一物体在两个力的作用下处于平衡状态, 若撤去其中一力, 另一力也随之消失。

典例 1

(多选) 如图所示, 两个相似的斜面体 A 、 B 在竖直向上的力 F 的作用下静止靠在竖直粗糙墙壁上。关于斜面体 A 和 B 的受力情况, 下列说法正确的是 ()

- A 一定受到四个力
- B 可能受到四个力
- B 与墙壁之间一定有弹力和摩擦力
- A 与 B 之间一定有摩擦力



提分关键·规律总结：整体法与隔离法

项目	整体法	隔离法
研究对象	几个物体组成的一个整体	与周围物体分隔开来的物体
选用原则	当分析相互作用的两个或两个以上物体整体的受力情况及分析外力对系统的作用时, 宜用整体法	在分析系统内各物体 (或一个物体各部分) 间的相互作用时, 宜用隔离法
注意事项	(1) 对一些较复杂的问题, 通常需要交替使用整体法和隔离法 (2) 一般情况下先整体后隔离, 即“整体法”优先 (3) 在使用隔离法时, 优先选择分析受力简单的研究对象	

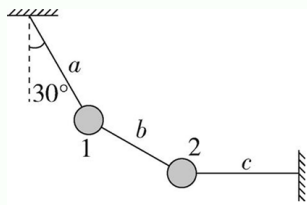
3.2 共点力的平衡

1. 平衡状态: 物体静止或做匀速直线运动, 即 $a = 0$
2. 平衡条件: $F_{\text{合}} = 0$ 或 $\begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = 0 \end{cases}$
3. 处理平衡问题的常用方法:

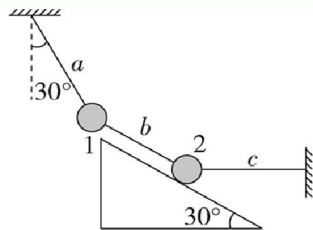
方法	解读	适用情境
合成法	任意一个力与其余所有力的合力等大反向	非共线多力平衡
正交分解法	$F_x = 0, F_y = 0$	多力平衡
矢量三角形法	把表示三个共点力的有向线段首尾相接构成闭合三角形	非特殊角的一般三角形

教考衔接·典例 2

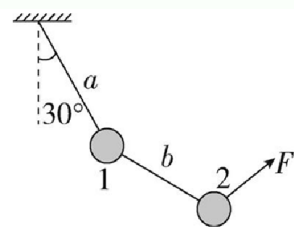
(人教必修一 P81, B 组, T6 改编) 用三根细线 a 、 b 、 c 将重力均为 G 的两个小球 1 和 2 连接并悬挂, 如图甲所示。两小球处于静止状态, 细线 a 与竖直方向的夹角为 30° , 细线 c 水平。



图甲



图乙



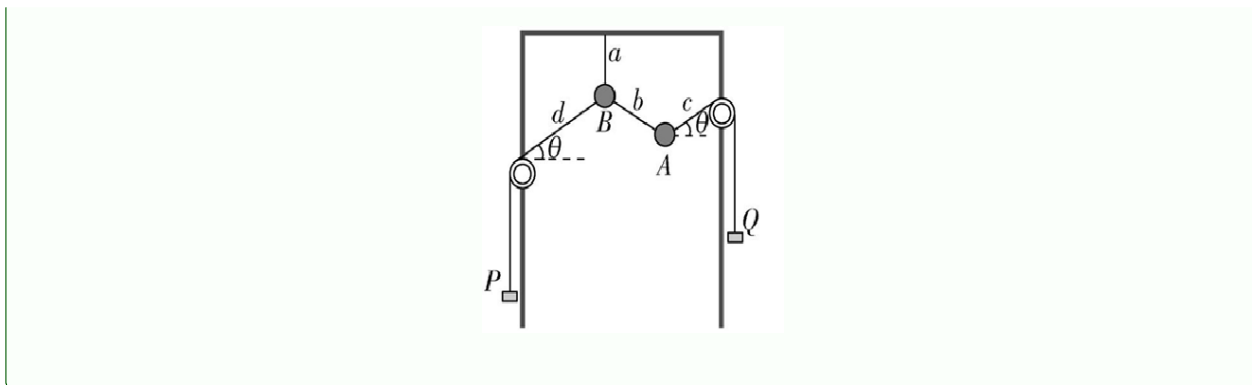
图丙

1. (回归教材)

- (a) 求细线 a 、 c 分别对小球 1 和 2 的拉力大小。
 (b) 求细线 b 对小球 2 的拉力大小。

2. (情境变式) 若小球 2 与倾角为 30° 的光滑斜面接触, 如图乙所示, 小球 1、2 保持静止, 求斜面对小球 2 的支持力的取值范围。3. (拓展变式) 如图丙所示, 将细线 c 与小球 2 断开, 用力 F 拉小球 2, 使小球 1、2 所处的位置仍与图甲相同, 则当 F 最小时, 细线 a 及细线 b 上的拉力分别为多大?4. (链接高考) (2024 浙江 1 月, 6, 3 分) 如图所示, 在同一竖直平面内, 小球 A 、 B 上系有不可伸长的细线 a 、 b 、 c 和 d , 其中 a 的上端悬挂于竖直固定的支架上, d 跨过左侧定滑轮、 c 跨过右侧定滑轮分别与相同配重 P 、 Q 相连, 调节左、右两侧定滑轮高度达到平衡。已知小球 A 、 B 和配重 P 、 Q 质量均为 50g , 细线 c 、 d 平行且与水平成 $\theta = 30^\circ$ (不计摩擦), 则细线 a 、 b 的拉力分别为 ($g = 10\text{m/s}^2$) ()

- A. 2N , 1N
 B. 2N , 0.5N
 C. 1N , 1N
 D. 1N , 0.5N

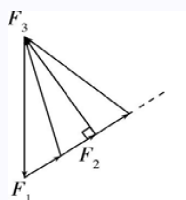


4 微专题 动态平衡 平衡中的临界、极值问题

4.1 题型一：动态平衡问题

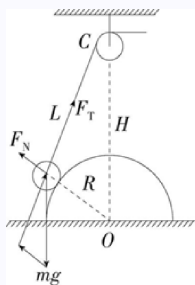
1. 动态平衡：物体的受力状态缓慢发生变化，但在变化过程中，每一个状态均可视为平衡状态
2. 核心思想：“化动为静，静中求动”
3. 解决方法：图解法（适用于三个力）

(a) 基础图解法：适用于一个力恒定，一个力方向不变的情况



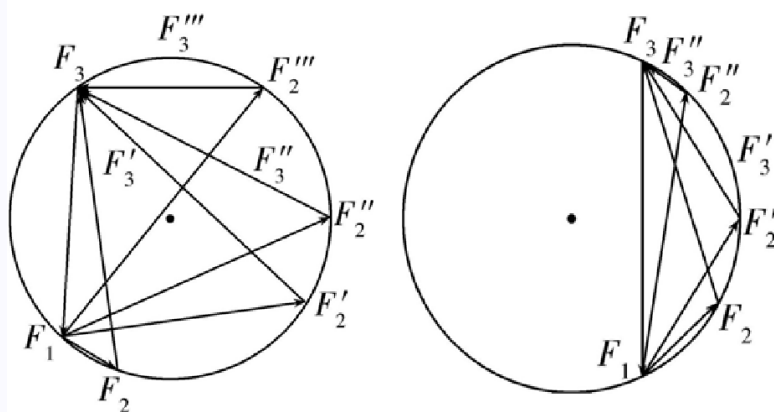
(b) 相似三角形法：适用于一个力恒定，其他两个力的方向均变化，但是三力构成的矢量三角形与某个实际几何三角形相似，则对应边的比值相等的情况

如下图例 ($\frac{mg}{H} = \frac{F_N}{R} = \frac{F_T}{L}$)



由此可知，在向上拉动物体的过程中， R 、 H 均不变， L 变短， F_N 不变， F_T 变小

(c) 辅助圆法：适用于一个力大小方向不变，另外两个力大小方向都在改变，但夹角不变的情况（使用过程如下图）

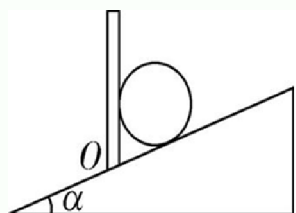


图甲

图乙

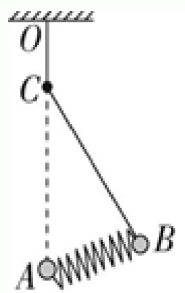
典例 1(多选) 如图所示, 在倾角为 α 的斜面上, 放一质量为 m 的小球, 小球和斜面及挡板间均无摩擦, 在挡板绕 O 点逆时针缓慢地从竖直方向转向水平位置的过程中 ()

- A. 斜面对小球的支持力逐渐增大
- B. 斜面对小球的支持力逐渐减小
- C. 挡板对小球的弹力先减小后增大
- D. 挡板对小球的弹力先增大后减小



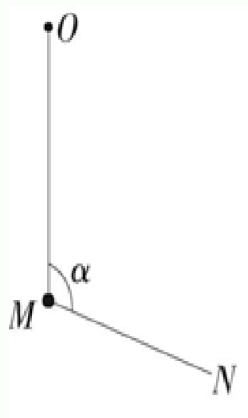
典例 2(2024 届湖南长沙市一中月考)(多选) 如图所示, O 点和细钉 C 在固定小球 A 正上方, 小球 B 用轻质橡皮筋相连绕过光滑细钉 C 悬挂于 O 点, A 、 B 之间用轻质弹簧相连, 整个系统处于静止状态, A 、 B 都可以看成质点, 橡皮筋的拉力遵循胡克定律, OC 刚好等于橡皮筋的原长, 弹簧的弹力大小为 F , B 球的质量为 m_B ; 现将小球 A 竖直向下移动一小段距离, 同时调整 B 球的质量 m_B , 使整个系统再次处于静止状态 (B 球仍在右侧), 则 ()

- A. m_B 不变
- B. m_B 变大
- C. F 不变
- D. F 变大



典例 3(多选) 如图, 柔软轻绳 ON 的一端 O 固定, 其中间某点 M 拴一重物, 用手拉住绳的另一端 N 。初始时, OM 竖直且 MN 被拉直, OM 与 MN 之间的夹角为 α ($\alpha > \frac{\pi}{2}$)。现将重物向右上方缓慢拉起, 并保持夹角 α 不变。在 OM 由竖直被拉到水平的过程中 ()

- A. MN 上的张力逐渐增大
- B. MN 上的张力先增大后减小
- C. OM 上的张力逐渐增大
- D. OM 上的张力先增大后减小



也可以使用正弦定理来解决动态平衡问题

4.2 题型二：平衡中的临界、极值问题

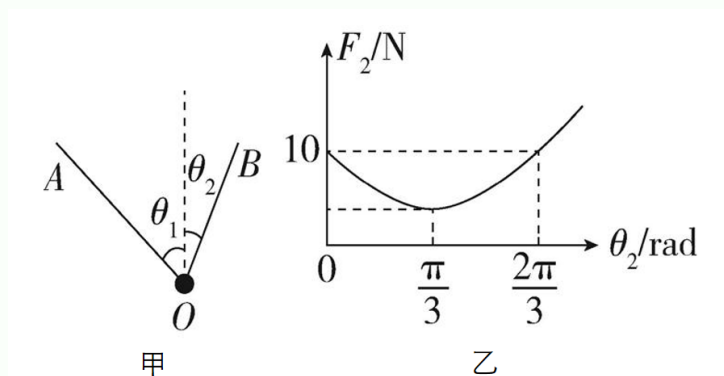
1. **临界问题**：当某物理量变化时，会引起其他物理量的变化，从而使物体所处的平衡状态“恰好出现”或“恰好不出现”，在问题中描述常用“恰好”、“刚好”、“恰能”等词语
2. **常见临界情况**：
 - (a) 由静止到运动，摩擦力达到最大静摩擦力
 - (b) 绳子恰好绷紧，拉力 $F = 0$
 - (c) 刚好离开接触面，支持力 $F_N = 0$
3. **极值问题**：平衡中的极值问题一般是指在力的变化过程中的最大值和最小值的问题
4. **解决方法**：
 - (a) 物理分析法
根据平衡条件，作出力的矢量图，通过对物理过程的分析，利用平行四边形定则或三角形定则进行动态分析，确定最大值或最小值。
 - (b) 数学分析法
通过对问题的分析，根据物体的平衡条件列出物理量之间的函数关系，用数学方法求极值（如二次函数求极值、三角函数求极值等）。

(c) 极限分析法

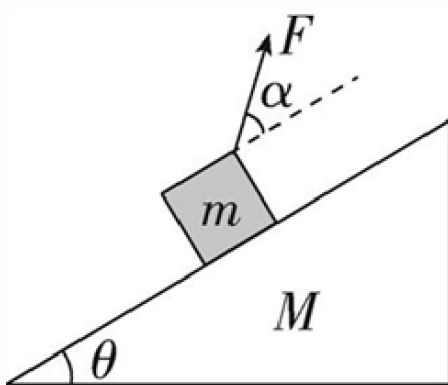
首先要正确地进行受力分析和变化过程分析, 找出平衡的临界点和极值点; 临界条件必须在变化中去寻找, 不能停留在一个状态来研究临界问题, 要把某个物理量推向极端, 即极大或极小。

典例 4 如图甲所示, 用两根细绳连接一质量为 m 的小球, 让小球始终处于静止状态, 细绳 OA 与竖直方向的夹角为 θ_1 , 且保持不变, 拉力用 F_1 表示。细绳 OB 从竖直位置缓慢顺时针旋转, 细绳 OB 的拉力 F_2 和 OB 与竖直方向的夹角 θ_2 的关系如图乙, g 取 10 m/s^2 , 下列说法正确的是 ()

- A. $m = 1 \text{ kg}, \theta_1 =$
 B. 当 $\theta_1 = \theta_2$ 时, 细绳 OB 的拉力 $F_2 = 10 \text{ N}$
 C. 缓慢顺时针旋转过程中, 细绳 OB 的拉力 F_2 的最小值为 5 N
 D. 缓慢顺时针旋转过程中, 细绳 OB 的拉力 F_2 会一直变大



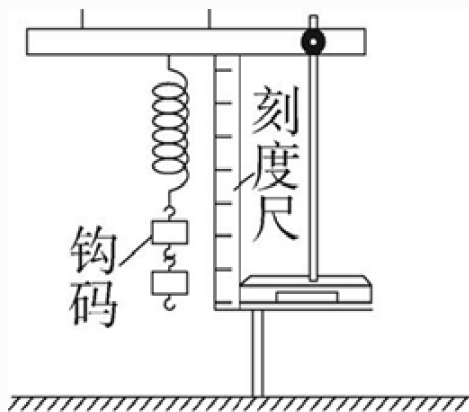
典例 5 如图所示, 质量为 M 的木楔倾角为 θ , 在水平面上保持静止, 当将一质量为 m 的木块放在木楔斜面上时, 它正好匀速下滑。如果用与木楔斜面成 α 角的力 F 拉着木块, 木块能匀速上升, 已知木楔在整个过程中始终静止, 重力加速度为 g 。求: 当 α 为多大时, F 有最小值, 及 F 的最小值。



5 实验 探究弹簧弹力与形变量的关系

5.1 实验原理和装置图

在弹簧下端悬挂钩码，平衡时记下弹簧的总长度和钩码重力。改变钩码的个数，重复上述实验过程，将数据填入表格，分析弹力大小与弹簧的形变量之间的关系。



5.2 操作要领

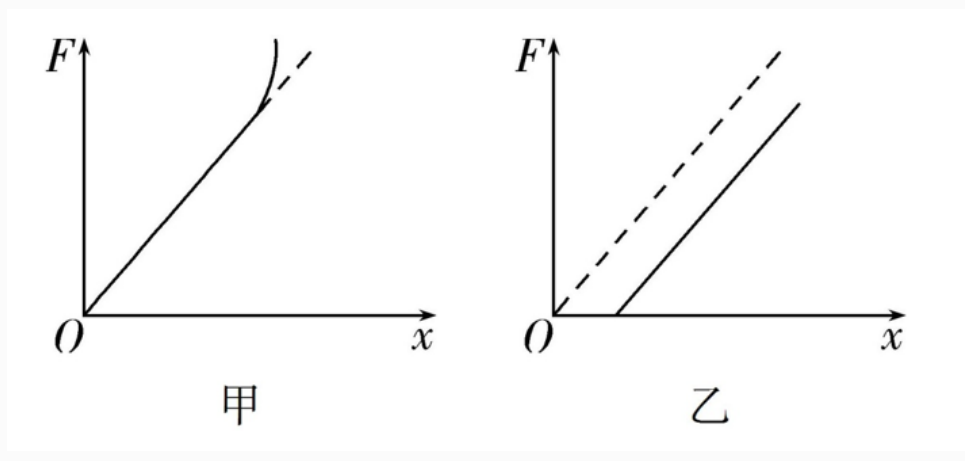
- **如何控制钩码质量：**所挂钩码不要过重，以免弹簧被过度拉伸，超出弹簧的弹性限度。
- **如何测量弹簧的原长：**考虑弹簧自身受重力的影响，实验时要将弹簧竖直悬挂测量原长，不可以将弹簧放置在水平桌面上测量原长。
- **如何测量弹簧的长度长：**一定要在弹簧竖直悬挂且处于稳定状态时测量弹簧的长度，刻度尺要保持竖直并靠近弹簧，以免增大读数误差。
- **如何作图：**坐标轴标度要适中，单位要标注。（横坐标 x 是指形变量，不是长度）描点画线时，所描的点不一定都落在一条直线上，但应注意一定要使各点均匀分布在直线的两侧。

5.3 数据处理方法

方法	描述
图像法	根据测量数据，在建好直角坐标系的坐标纸上描点。以弹簧的弹力 F 为纵轴，弹簧的形变量 x 为横轴，根据描点的情况，作出一条直线
列表法	将实验数据填入表中，研究测量的数据，可发现在实验误差允许的范围内，弹力与弹簧形变量的比值不变
函数法	根据实验数据，找出弹力与弹簧形变量的函数关系

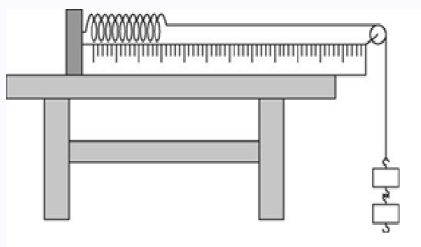
5.4 误差分析

1. 钩码标值不准确、弹簧长度测量不准确及画图时描点连线不准确等都会引起实验误差。
2. 悬挂钩码数量过多, 导致弹簧的形变过大, 超出其弹性限度, 不再符合胡克定律 ($F = kx$), 故图像发生弯曲, 如图甲所示。
3. 水平放置弹簧测量其原长, 由于弹簧有自重, 将其悬挂起来后会有一定的伸长量, 故图像横轴截距不为 0, 如图乙所示。

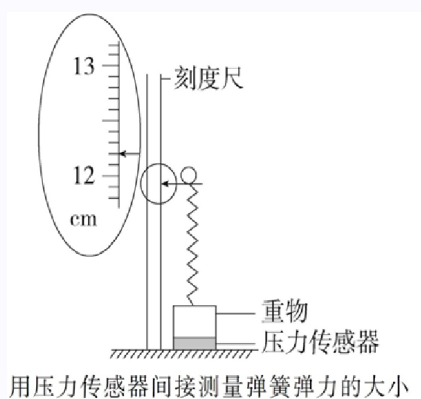


5.5 改进方案

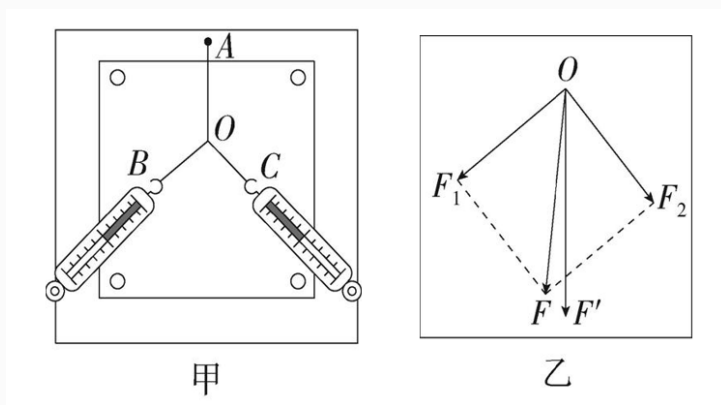
方案一：横向测量，弹簧水平放置，消除弹簧自身重力对原长测量的影响，减小测量误差。



方案二：实验仪器的改进



互成角度的两个力 F_1 和 F_2 共同作用的效果与一个力 F' 单独作用的效果相同。若用平行四边形定则将 F_1 和 F_2 合成后的力 F 与 F' 相差不大，则说明力的平行四边形定则成立。



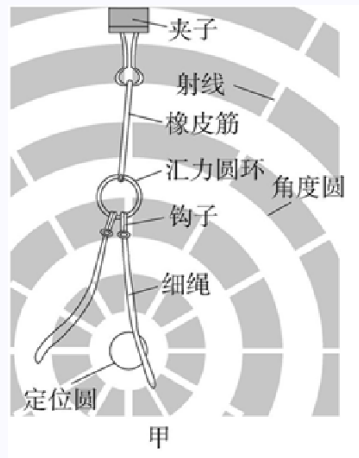
- **等效:** 同一次实验中两次把橡皮条拉长后的结点 (小圆环) 所处的位置 O 点必须保持不变。
- **拉力:** 沿弹簧测力计轴线方向拉 (与板面平行), 两分力 F_1 、 F_2 的夹角不要太大或太小。
- **记录:** 记下每次各力的大小和方向, 标记方向的两点离 O 点尽量远些。
- **作图:** 按力的图示的要求作出平行四边形。注意同一标度。

- 用铅笔和刻度尺从 O 点沿两个细绳套方向画直线, 按选定的标度作出这两个弹簧测力计的拉力 F_1 和 F_2 的图示, 作平行四边形, 过 O 点画对角线, 即合力 F 的图示。
- 用刻度尺从 O 点按同样的标度沿记录的方向作出只用一个弹簧测力计时拉力 F' 的图示。

- **弹簧相同:** 使用弹簧测力计前, 要先调整指针使其指在零刻度线处, 再将两个弹簧测力计的挂钩钩在一起, 向相反方向拉, 示数相同方可使用。
- **长度合适:** 实验中的两个细绳套不要太长或太短, 以免影响实验结果。
- **位置不变:** 在同一次实验中, 橡皮条拉长时结点到达的位置一定要相同。
- **角度合适:** 用两个弹簧测力计钩住细绳套互成角度地拉橡皮条时, 其夹角不宜太小, 也不宜太大, 以 $60^\circ \sim 120^\circ$ 为宜。
- **同一平面:** 在用力拉弹簧测力计时, 拉力应沿弹簧测力计的轴线方向。弹簧测力计中弹簧轴线、橡皮条、细绳套应该位于与纸面平行的同一平面内。
- **统一标度:** 画力的图示选定的标度要相同, 要恰当选定标度, 使力的图示稍大一些。

1. 弹簧测力计使用前没调零会造成误差。
2. 使用中, 弹簧测力计的弹簧和外壳之间、指针和外壳之间或弹簧测力计外壳和纸面之间有摩擦存在会造成误差。
3. 两次测量拉力时, 橡皮条的结点没有拉到同一点会造成误差。
4. 读数时眼睛一定要正视, 要按有效数字的保留规则正确读数和记录, 否则会造成误差。
5. 在应用平行四边形定则作图时, F_1 、 F_2 及 F 作图不准确造成误差。

方案一：如图甲所示，使用汇力圆环，每次将汇力圆环拉至定位圆，方便确定力的方向，作图更直观。



方案二：如图乙所示，通过改变钩码个数来改变力，力的大小可以通过计算钩码个数得到，无需用弹簧测力计测量，也无需保证每次结点位置相同。

