目录

第五章　机械能及其守恒定律 …… (1)

5.1　追寻守恒量 …… (1)
5.2　功 …… (4)
5.3　功率 …… (16)
5.4　重力势能 …… (27)
5.5　探究弹性势能的表达式 …… (35)
5.6　探究功与物体速度变化的关系 …… (39)
5.7　动能和动能定理 …… (39)
5.8　机械能守恒定律 …… (49)
5.9　实验:验证机械能守恒定律 …… (57)
5.10　能量守恒定律与能源 …… (61)
机械能及其守恒定律　测试题 …… (71)

第六章　曲线运动 …… (75)

6.1　曲线运动 …… (75)
6.2　运动的合成与分解 …… (81)
6.3　探究平抛运动的规律 …… (88)
6.4　抛体运动的规律 …… (94)

模块中期测试题 …… (106)

6.5　圆周运动 …… (110)
6.6　向心加速度 …… (118)
6.7　向心力 …… (122)
6.8　生活中的圆周运动 …… (137)
曲线运动　测试题 …… (146)

第七章　万有引力与航天 …… (151)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

7.1 行星的运动 …… (151)
7.2 太阳与行星间的引力 …… (158)
7.3 万有引力定律 …… (162)
7.4 万有引力理论的成就 …… (170)
7.5 宇宙航行 …… (179)
7.6 经典力学的局限性 …… (190)
万有引力与航天 测试题 …… (192)

模块结业测试题 …… (195)

参考答案与提示 …… (199)

课后习题答案 …… (213)



第五章　机械能及其守恒定律



5.1　追寻守恒量

思 想 火 花

只有顺从自然，才能驾驭自然．

——培根



知识与技能

1．知道什么是动能，什么是势能．

2．了解在没有空气阻力和摩擦力的情况下，动能和势能的总量保持不变．

过程与方法

通过伽利略的理想实验，体会能量守恒在动能和势能的转化中的表现，了解科学抽象在物理学的研究中的重要性．

情感、态度与价值观

通过学习逐步提高分析问题，解决问题的科学抽象能力．





知识要点呈现

1．势能：相互作用的物体凭借其位置而具有的能量叫做势能．

2．动能：物体由于运动而具有的能量叫做动能．

3．动能和势能的转化：动能可以转化为势能，势能也可以转化为动能，二者是可以相互转化的．

4．能量的守恒：能量守恒定律支配着至今所知的一切自然现象，在自然界经历的多种多样的变化中它不变化．

5．伽利略的斜面实验

现象：将两个斜面对接，让小球沿一个斜面由静止状态开始滚下，它就会继续滚上另一个斜面．如果没有摩擦，小球将上升到原来的高度．

能量转化：物体在向下滚动过程中，势能减少，动能增加，势能转化为动能；物体在向上滚动过程中，动能减少，势能增加，动能转化为势能．如果没有摩擦力，势能的变化和动能的变化大小相等．

重点难点把握

1. 判断物体的动能是否变化的方法

一般情况下依据物体的速度进行判断. 对于某一物体,物体的速度增大时,物体的动能也就增大;物体的速度减小时,物体的动能也就减小;物体的速度不变时,物体的动能也就不变.

2. 判断物体势能是否变化的方法

一般情况下依据物体的位置进行判断. 对于某一物体,物体的位置升高时,物体的重力势能也就增大;物体的位置降低时,物体的重力势能也就减小;物体的高度不变时,物体的重力势能也就不变.

能力培养与方法指导

【例】 水平地面上放一个重 4 N 的足球,一个小孩用 10 N 的力踢球,使球向前运动 2 m. 关于小孩对球做功的下列说法中,正确的是 ( )

A. 小孩对球做功 20 J　　B. 小孩对球做功 8 J

C. 小孩对球做功 28 J　　D. 题中条件不足,无法算出小孩对球做功的多少

思路与技巧　小孩踢球的力是瞬时的,仅仅在小孩的脚与球接触时才施加给球,并不是用恒定的 10 N 的力推动球前进 2 m,所以 A 错. 同理,根据功的定义,B、C 也错.

小孩踢球时对球做的功,转化为球所增加的能量(动能),表现为获得初速度 v_0 沿地面前进. 由于题中无法求出初速度,因此也就无法算出小孩对球做功的多少.

答案　D

评析　小孩踢球时消耗了体内的化学能,通过做功,转化为球所获得的动能.

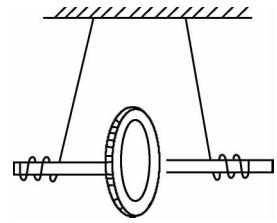


[探究]　功是能量转化的量度

[案例]　各种不同形式的能量可以相互转化,而且在转化过程中守恒,那么在这种转化过程中,功扮演着怎样的角色?

(1) 只有重力做功时,重力势能和动能发生相互转化

实例:把一个滚摆悬挂在框架上,用手捻动滚摆使悬线缠在轴上,滚摆升高到最高点,放开手,观察滚摆的运动,并思考它的动能和势能的变化,如右图.



分析说明:滚摆升高到最高点,放开手,滚摆在下落过程中,滚摆的动能增加,同时滚摆的重力势能减少,重力对滚摆做了功. 重力对滚摆做了多少功,就有多少重力势能转化为动能. 同理,滚摆在上升过程中,滚摆克服重力做功,滚摆的重力势能就增加,滚摆克服重力做了多少功,重力势能就增加多少.

小结:物体转化了的能量的多少可以由做功的多少来量度.

(2) 只有弹力做功时,弹性势能和动能发生相互转化

实例:拿一根弹簧,水平放置,一端固定,另一端上放一小球并压缩. 等静止后放手,小球将被弹出去. 观察小球离开弹簧前弹簧的形变及小球的运动情况,并思考弹性势能和动能的变化.

分析说明:被压缩的弹簧放开时把小球弹出去,小球的动能增加,同时弹簧的势能减少. 弹簧对小球做了多少功,就有多少弹性势能转化为动能.

小结:物体转化了的能量的多少可以由做功的多少来量度.

(3) 机械能与内能的转化

实例:列车在机车的牵引下加速运动.

分析说明:列车在机车的牵引下加速运动,列车的机械能增加,同时机车的热机消耗了内能. 牵引力对列车做了多少功,就有多少内能转化为机械能.

小结:能量转化过程中,转化了的能量的多少可以用做功的多少来量度.

(4) 机械能与化学能的转化

实例:用手抛出一个皮球.

分析说明:用手抛出一个皮球,对皮球做功的时候,皮球获得了动能,同时贮存在人体内的化学能减少,人抛球时做的功越多,皮球获得的动能就越多,人体内的化学能减少的也就越多. 实际上,皮球获得的动能是由人体内减少的那部分化学能转化来的,而且人做了多少功,就表示有多少化学能转化为皮球的机械能.

小结:能量转化过程中,转化了的能量的多少可以由做功的多少来量度.

(5) 机械能与电能的转化

实例:起重机提升重物.

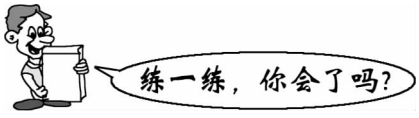
分析说明:起重机提升重物,重物的机械能增加,同时,起重机的发动机消耗了电能,起重机钢绳的拉力对重物做了多少功,就表示有多少电能转化为机械能.

小结:能量转化过程中,转化了的能量的多少可以由做功的多少来量度.

在其他各种形式能之间的过程中,同样可以得到以上结果.

[结论] 功这个物理量重要的意义在于它表示了有多少能量从一种形式转化为另一种形式,做功的过程就是物体能量的转化过程,做了多少功,就表示有多少能量发生了转化.

探究综合训练



1. 竖直向上抛出一个物体,在物体上升过程中,它的势能变_____,动能变_____;所以它在最高点有最大的_____能,最小的_____能;在物体下落过程中,它的势能变_____,动能变_____.

2. 亮着的白炽灯是将_____能转化为_____能.

3. 与物体的势能有关的因素是 (　　)

A. 物体的质量　　B. 物体的速度

C. 物体和参考平面之间的高度差　　D. 物体的大小

4. 与物体的动能有关的因素是 (　　)

A. 物体的质量　　B. 物体的速度

C. 物体和参考平面之间的高度差　　D. 物体的大小

5. 关于功和能,下列说法正确的是 (　　)

A. 功就是能,功可以转化为能　　B. 做功越大,物体的能越大

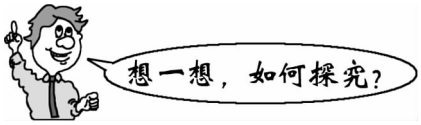
C. 能量转化中,做的功越多,能量转化越多　　D. 功是物体能量转化的量度

6. 运动员将质量为 150 kg 的杠铃举高 2 m,问:

(1) 运动员做了多少功?

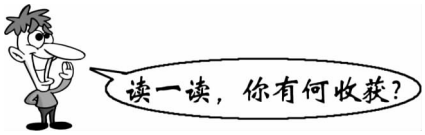
(2) 有多少化学能转化为杠铃的重力势能?

需要全本请访问 www.ertongbook.com



1. 电动抽水机把水从井中输送到高山上，试分析在这个过程中，能量的转化情况．

2. 撑杆跳运动员在跳高过程的几个阶段：助跑、撑竿起跳、越横杆，试定性分析在这几个阶段中能量的转化情况，并加以说明．



能　　量

能量简称“能”，它是描述物质（或系统）运动状态的一个物理量，是物质运动的一种量度．任何物质都离不开运动，在自然界中物质的运动形式是多种多样的，相应于各种不同的运动形式，就有各种不同形式的能量．自然界中主要有机械能、热能、光能、电磁能、原子能等形式的能量．当运动形式之间相互转化时，它们的能量也随之而转换．例如，利用水位差产生的河水的冲击力推动水轮机转动，能使发电机发电，将机械能转换为电能；电流通过电热器能够发热，使电能转换为热能；电灯泡可使电能转换为光能和热能；各种内燃机，利用汽油或柴油在汽缸中燃烧的过程，将化学能转换为热能，热能再转换为机械能，推动活塞往复移动．从上述的实例，证实各种形式的能量都能相互转化，在转化过程中，一种形式的能增加了多少，必有另一种形式的能减少多少，能的总量保持不变．自然界一切过程都服从能量守恒和转换定律．物体要对外界做功，就必须消耗本身的能量或从别处得到能量的补充，因此一个物体的能量越大，它对外界就有可能做更多的功．能量是一个标量．用数学语言说，能量是物质运动状态的一个单值函数．能量的单位与功的单位一致．常用的单位是焦耳、千瓦小时等，和功的单位相同．能量和质量之间具有密切的关系．



5.2 功

思 想 火 花

应当始终把发展独立思考和独立判断的能力放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位．如果一个人掌握了他的学科的基础理论，并且学会了独立地思考和工作，他必定会找到他自己的道路，而且比起那种主要以获得细节知识为其培训内容的人来，他一定会更好地适应进步和变化．

——爱因斯坦



知识与技能

1. 理解功的概念，知道力和在力的方向上发生的位移是做功不可缺少的两个因素．

2. 掌握恒力做功的计算公式 $W=F\cdot s\cos\alpha$，会用这个公式进行功的计算．

3. 理解功的正负的含义，知道在什么情况下力做正功或负功.

4. 知道什么是总功，知道总功是合力的功，也是各力功的代数和.

过程与方法

1. 能在具体的物理情景中判断物体所受各力是否做功以及做功的正负，熟练运用功的公式解决有关的实际问题.

2. 培养推理能力、分析综合能力，并学会物理学常用的研究方法，通过具体问题的分析（特殊性），得出解决问题的普遍方法（普遍性），进而学会分析解决各种问题.

情感、态度与价值观

在功的概念和求解功的数值的过程中，培养科学严谨的态度.

探究指导

功和能的概念是物理学中重要的基本概念. 能的转化和守恒定律是自然界最重要、最普遍、最基本的客观规律. 由于功的概念是建立在力和位移的概念的基础上，功和机械能的关系——动能定理又是牛顿运动定律的基础上导出的，所以本章知识也是牛顿运动定律的引申和扩展，功和能量转化的关系不仅为解决力学问题开辟了一条重要途径，同时也是分析解决电磁学、热学物理现象的重要依据，因为它不涉及整个过程力的细节，只涉及起始和末了状态，避免了直接应用牛顿定律所遇到的困难，同时也简化了解决问题的步骤. 本章的任务就是运用上述的两个基本概念和守恒规律来初步研究物体做机械运动时能量转化和转移的规律.

物理宫殿

知识要点呈现

1. 功的概念

（1）定义：物体受到力的作用并在力的方向发生了一段位移，则称该力对物体做了功.

（2）因素：做功的两个不可缺少的因素：力和物体在力的方向上发生位移.

（3）特点：功是一个标量，只有大小，没有方向.

2. 功的计算

（1）公式：$W=Fs\cos\alpha$

即力对物体所做的功，等于力的大小、物体位移的大小、力和位移的夹角的余弦这三者的乘积.

（2）适用条件：功的公式 $W=Fs\cos\alpha$ 只适用于求解恒力所做的功，不能用于求变力所做的功.

（3）特例：如果力的方向与物体运动的方向一致，$\alpha=0$，功就等于力的大小和位移的大小的乘积，即：$W=Fs$；如果力的方向与物体运动的方向垂直，$\alpha=90°$，功就等于零，即：$W=Fs\cos 90°=0$.

（4）功的单位：在国际单位制中，功的单位是焦耳，符号是 J.

焦耳的定义：1 J 等于 1 N 的力使物体在力的方向上发生 1 m 的位移时所做的功，即：1 J＝1 N·1 m＝1 N·m.

（5）功的正负

当 $0°\leqslant\alpha<90°$ 时，$\cos\alpha$ 为正值，W 为正值，称为力对物体做正功，或称为力对物体做功.

当 $\alpha=90°$ 时，$\cos\alpha=0$，$W=0$，力对物体做零功，即力对物体不做功.

当 $90°<\alpha\leqslant 180°$ 时，$\cos\alpha$ 为负值，W 为负值，称为力对物体做负功，或说物体克服力做功.

3. 合力的功

（1）定义：一个物体同时受到几个力的作用发生位移时，这几个力的功的代数和即合力的功. 可以证明，它就是这几个力的合力对物体所做的功.

（2）计算：①先计算合力，后再计算合力的功. 即：$W_{合}=F_{合}s\cos\alpha$.

②先求出每个力所做的功，再求所有功的代数和．即：$W=W_1+W_2+\cdots+W_n$．

【例 1】 如图 5.2-1 所示，在水平地面上放置一物体重 200 N，用 50 N 的水平力 F 拉着物体前进 400 米，已知物体与地面间的动摩擦因数为 0.20，求物体在这一运动过程中，所受合外力对它所做的功．

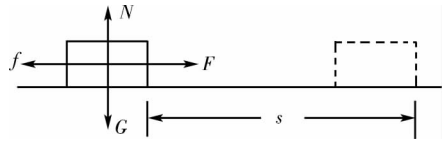


图 5.2-1

思路与技巧 物体在这一段运动过程中，受重力 G、支持力 N、拉力 F 和摩擦力 f 四个外力的作用，方向如图 5.2-1 所示．

解法一 我们先求物体所受的合外力，再求合外力的功．令水平向右、竖直向上为正方向．$\sum F_x=F-f=F-\mu N=50-0.20\times200=10(\mathrm{N})$，$\sum F_y=N-G=0$，所以 $F_{合}=\sum F_x=10$ N．$F_{合外力}$ 的方向水平向右，与位移 s 同向，$\alpha=0$，$\cos\alpha=1$．

故 $W_{合外力}=F_{合外力}s\cos\alpha=10\times400\times1=4\times10^3$ J，合外力做正功．

解法二 我们也先求各力对物体所做功，再求总功．

$W_F=Fs\cos\alpha_1=50\times400\times1=2\times10^3$ J(正功)，$W_f=fs\cos\alpha_2=\mu Ns\cos\alpha_2=0.20\times200\times400\times(-1)=-1.6\times10^3$ J(负功)，由于 $W_G=0$，$W_N=0$，故 $W_{总}=W_F+W_f+W_G+W_N=2\times10^3+(-1.6\times10^3)=4\times10^3$ J．

评析 通过例题的解析，我们不难得出下面的结论：

(1) 合外力在某段位移上对物体(系统)所做的功等于各个分外力在同一位移上的功的代数和．

(2) 合外力对物体(系统)做正功，表示物体(系统)机械能增加；合外力对物体(系统)做负功，表示物体(系统)机械能减少；合外力对物体(系统)做功等于零，表示物体(系统)机械能不变．

重点难点把握

1. 功的计算

当力的方向与物体位移方向夹角为 α 时，功的计算可以根据实际问题灵活处理，一般有以下两种处理方式：

(1) 在 $W=Fs\cos\alpha$ 中，$s\cos\alpha$ 可以理解为是物体在力的方向发生的位移，则力对物体做功可以看成是力与物体在力的方向发生的位移的乘积．

(2) 在 $W=Fs\cos\alpha$ 中，$F\cos\alpha$ 可以理解为是力在物体发生的位移方向的分力，则力对物体做功可以看成是力在物体位移方向的分力和物体发生的位移的乘积．

(3) 公式 $W=Fs\cos\alpha$ 的适用条件：只适用于求解恒力所做的功．

【例 2】 某人用 300 N 推力推着质量为 40 kg 的木箱，使木箱沿水平地面移动 30 m，已知推力 F 与水平地面成 30°夹角，如图 5.2-2，木箱与地面间的动摩擦因数为 0.20，问推力对木箱做了多少功($g=10$ m/s) ？

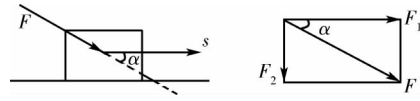


图 5.2-2

解 将推力 F 分解成 F_1、F_2 两个分力，其中 F_1 与 s 平行，F_2 与 s 垂直，分力 F_2 对木箱不做功．故推力 F 做的功，$W_F=W_{F_1}=F_1s=Fs\cos\alpha=300\times30\times\cos30^\circ=7\ 782$ J．

【例 3】 如图 5.2-3 一个质量为 m 的木块，放在倾角 θ 的斜面体上，当斜面体与木块保持相对静止并沿水平方向匀速向右移动距离 s 的过程中，作用在木块上的各个力分别做功多少？

思路与技巧 木块发生水平位移的过程中，作用在木块上共有三个力：重力 mg、支持力 N 和静摩擦力 f(图 5.2-3)．根据木块的平衡条件，由这三个力的大小、物体的位移及力与位移间的夹角，即可用功的计算公式算出它们的功．

解 斜面对木块的支持力 N 和静摩擦力 f 分别为 $N=mg\cos\theta$，$f=mg\sin\theta$．

根据功的公式，分别得重力、支持力和摩擦力的功为

$W_G=mgs\cos90^\circ=0$，

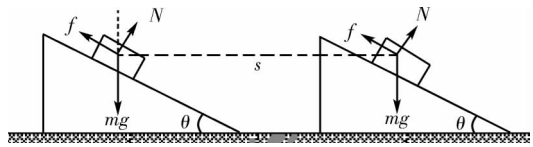


图 5.2-3

$W_N = N s\cos(90°-\theta) = mg\cos\theta \cdot s\sin\theta = mgs\sin\theta\cos\theta$,

$W_f = f\cos(180°-\theta) = mg\sin\theta \cdot s(-\cos\theta) = -mgs\sin\theta\cos\theta$.

评析　计算功的时候,必须认清力与位移方向之间的夹角.由计算可知,在这个过程中,支持力对物体做正功,静摩擦力对物体做负功,且两者数值相等.所以,作用在木块上的这三个力对物体做功之和等于零.

2. 功的标量性

【例 4】 如图 5.2-4 所示,F_1 和 F_2 是作用在物体 P 上的两个水平恒力,大小分别为:$F_1=3$ N,$F_2=4$ N,在这两个力共同作用下,使物体 P 由静止开始沿水平面移动 5 m 距离的过程中,它们对物体各做多少功?它们对物体做功的代数和是多少?F_1、F_2 的合力对 P 做多少功?

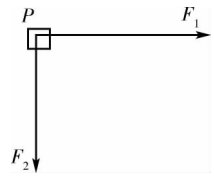


图 5.2-4

思路与技巧　此例题要解决两个方面的问题,一是强化功的计算公式的正确应用,纠正常出现的错误,即不注意力与位移方向的分析,直接用 3 N 乘 5 m、4 N 乘 5 m 这种低级错误,注意在题目没有给出位移方向时,应该根据动力学和运动学知识作出符合实际的判断;二是通过例题得到的结果,知道一个物体所受合力对物体所做的功等于各个力对物体所做的功的代数和,并从合力功与分力功所遵从的运算法则,深化功是标量的认识.

解　位移在 F_1、F_2 方向上的分量分别为 $s_1=3$ m、$s_2=4$ m,F_1 对 P 做功为 9 J,F_2 对 P 做功为 16 J,二者的代数和为 25 J.F_1、F_2 的合力为 5 N,物体的位移与合力方向相同,合力对物体做功为 $W=Fs=5\text{ N}\times 5\text{ m}=25$ J.

3. 公式中的 s 表示力的作用点的位移

因为在许多问题中力的作用点就在物体上,所以在这些问题中力的作用点的位移就等于物体的位移,因此也使得一些人将二者混为一谈,从而导致计算出错.

【例 5】 如图 5.2-5 所示,物体的质量为 m,现在绳的一端施加一竖直向上的恒力 F,使物体上升高度 h,求力 F 做的功.

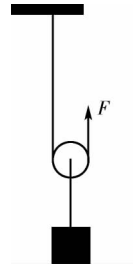


图 5.2-5

思路与技巧　对这个问题有的学生的计算结果是 $W=Fh$.这个结果是错误的.

因为在力 F 的作用下,物体上升的高度是 h,而力的作用点上升的高度是 $2h$,所以力 F 做的功是 $W=2Fh$.

评析　另外公式中的"s"表示的位移一般是指对地的位移,不要将它和其他相对位移混为一谈.

【例 6】 如图 5.2-6 所示,定滑轮至滑块高度为 H,已知细绳的拉力为 F(恒定),滑块沿水平地面由 A 点前进 s 米至 B 点.滑块在初、末位置时细绳与水平方向夹角分别为 α 和 β.求滑块由 A 点运动到 B 点过程中,拉力 F 对滑块所做的功.

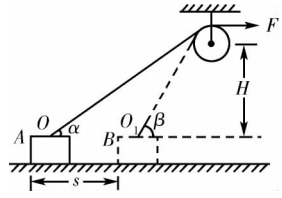


图 5.2-6

解　拉力 F 做功等于该力乘以细绳经过滑轮的长度(即力的作用点在 F 方向上的位移大小).

$$\therefore\ W_F = F\left(\frac{H}{\sin\alpha}-\frac{H}{\sin\beta}\right)$$

【例 7】 一木块前端有一滑轮,绳的一端系在右方固定处,另一端穿过滑轮用恒力 F 拉住,保持两股绳之间的夹角 θ 不变,当用力拉绳使木块前进 s 时(图 5.2-7),力 F 对木块做的功(不计绳重和摩擦)是　(　　)

A. $Fs\cos\theta$　　B. $Fs(1+\cos\theta)$

C. $2Fs\cos\theta$　　D. $2Fs$

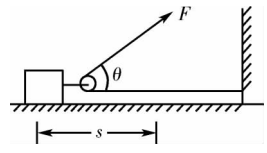


图 5.2-7

思路与技巧　拉绳时,两股绳中的拉力都是 F,它们都对物体做功,因此共对物体做功

$$W=W_1+W_2=Fs\cos\theta+Fs=Fs(1+\cos\theta)$$

答案 B

评析 上面是从两股绳的作用考虑的，也可以直接从合力做功和力的作用点的位移这两方面考虑.

解法一 从合力做功考虑

设滑轮两侧绳中拉力的合力为 R，如图 5.2-8 所示，由画出的平行四边形(实为菱形)可知 $R=2F\cos\frac{\theta}{2}$. 所以物体前进 s 时合力做的功为

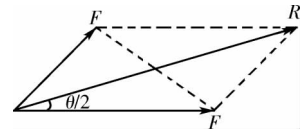


图 5.2-8

$$W=Rs\cos\frac{\theta}{2}=2F\cos\frac{\theta}{2}\cdot s\cos\frac{\theta}{2}=2Fs\cos^2\frac{\theta}{2}=Fs(1+\cos\theta)$$

解法二 直接从力的作用点的位移考虑

在绳上取一点 P(力的作用点)，当物体前进 s 时，P 点的位移为 PQ，如图 5.2-9 所示.

$$PQ=2s\cos\frac{\theta}{2}$$

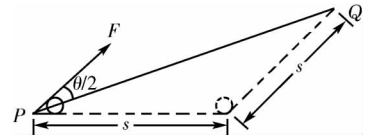


图 5.2-9

力 F 对物体做的功 W 为

$$W=F\cdot PQ\cos\frac{\theta}{2}=F\cdot 2s\cos^2\frac{\theta}{2}=Fs(1+\cos\theta)$$

能力培养与方法指导

掌握恒力做功的计算，判断某个力 F 是否做功，是正功还是负功(或克服力 F 做功). 提高对物理量确切含义的理解能力. 正确理解公式 $W=Fs\cos\alpha$ 中各个物理量的含义及适用范围：

(1) 公式中的 F 是所受到的某个力或某几个力的合力，当 F 为某一个力时，W 就为该力所做的功，当 F 为合力时，W 就为合力所做的功.

(2) 公式中的 α 是力与位移的夹角.

(3) 公式 $W=Fs\cos\alpha$ 适用于恒力及恒定角度时的做功情况，而与物体是否还受其他力的作用无关，与物体做匀速运动还是变速运动无关，与接触面是否光滑无关，与物体的质量大小也没有关系.

(4) 正功的意义是：力对物体做功向物体提供能量，即受力物体获得了能量.

负功的意义是：物体克服外力做功，向外输出能量(以消耗自身的能量为代价)，即负功表示物体失去了能量.

【例 8】 用水平恒力 F 作用于质量为 M 的物体，使之在光滑的水平面上沿力的方向移动位移 s，该恒力做功为 W_1；再用该恒力 F 作用于质量 $m(m<M)$ 的物体上，使之在粗糙的水平面上移动同样位移 s，该恒力 F 做功为 W_2. 两次恒力 F 做功的关系正确的是 ( )

A. $W_1>W_2$ B. $W_1<W_2$ C. $W_1=W_2$ D. 无法判断

思路与技巧 根据做功的定义，恒力 F 所做的功，只与 F 的大小及在力 F 的方向上相对不动参照物发生的位移的大小乘积有关，不需考虑其他力的影响；因为两次该力 F 不变，在力的方向上相对不动参照物发生的位移 s 相同，所以，力 F 所做的功相等. 正确答案选 C 项.

答案 C

【例 9】 如图 5.2-10 所示，三角劈质量为 M，放在光滑水平面上，三角劈的斜面光滑，将质量为 m 的物块放在三角劈斜面顶端由静止滑下，则在下滑过程中，M 对 m 的弹力对 m 所做的功为 W_1，m 对 M 的弹力对 M 所做的功为 W_2，下列关系正确的是 ( )

A. $W_1=0, W_2=0$ B. $W_1\neq 0, W_2=0$ C. $W_1=0, W_2\neq 0$ D. $W_1\neq 0, W_2\neq 0$

思路与技巧 当 m 沿三角劈的斜面下滑时，因水平面光滑，M 在 m 的压紧下将向右加速运动. 用图5.2-11分析物理现象，画出物块 m 的实际位移的方向，由于弹力 N 恒垂直斜面，因而 N 与 s 夹角 $\theta>90°$，所以 M 对 m 的弹力对 m 物块做负功，即 $W_1\neq 0$，而 m 对 M 弹力 N' 对三角劈的水平位移的夹角小于 $90°$，因而 m 对 M 的弹力 N' 对 M 所做的功 $W_2>0$，做正功，即 $W_2\neq 0$，所以选 D 项是正确的.

答案 D

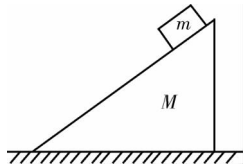


图 5.2-10

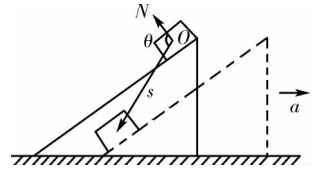


图 5.2-11

评析　该题也可由后面学习的系统的机械能守恒来研究．M 与 m 组成一个系统，系统内只有重力和弹力做功，系统的机械能守恒．由于 M 在 m 压紧下向右运动，M 的动能不断增大，而由机械能守恒可知 m 的机械能不断减小，因而 M 对 m 的弹力一定对 m 做负功，m 对 M 的弹力对 M 一定做正功．所以，正确答案为 D 项．

【例 10】 如图 5.2-12 所示，某力 $F=10$ N 作用于半径 $R=1$ m 的转盘的边缘上，力 F 的大小保持不变，但方向始终保持与作用点的切线方向一致，则转动一周这个力 F 做的总功应为（　　）

A. 0 J　　B. 20π J　　C. 10 J　　D. 20 J

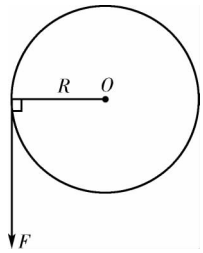


图 5.2-12

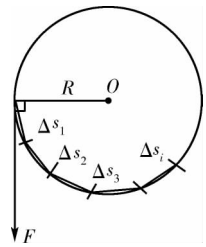


图 5.2-13

思路与技巧　某个力做功，其大小不变而方向改变．在计算这个力所做功时，切莫把初末位置的位移 s 直接代入 $W_F=Fs\cos\theta$ 来计算总功．由于力 F 的方向始终保持与作用点的速度方向（切线方向）一致．因此，这个力做功不能为零，此时应把圆周划分很多小段 Δs 研究．如图 5.2-13 所示，当各小段弧长 Δs_i 足够小（$\Delta s_i\to 0$）时，在这 Δs_i 内，F 方向几乎与该小段位移方向重合．

$$\therefore W_F=F\Delta s_1+F\Delta s_2+\cdots+F\Delta s_i=F2\pi R$$

答案　B

评析　通过该题，能提高准确理解功这基本量的物理意义的能力．

【例 11】 质量为 M 的长木板放在光滑的水平面上，如图 5.2-14 所示，一质量为 m 的滑块，以某一速度 v 沿长木板表面从 A 点滑至 B 点在木板上前进了 L m，而长木板前进了 s m，若滑块与木板间动摩擦因数为 μ，问：

（1）摩擦力对滑块所做的功多大？

（2）摩擦力对木板所做的功多大？

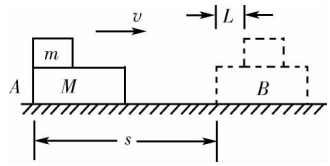


图 5.2-14

思路与技巧　（1）滑块受力情况如图 5.2-15(a)所示，滑块在摩擦力的方向上相对地面的位移为 $(s+L)$．

$\therefore$ 摩擦力对滑块所做的功为 $W_m=-f(s+L)$．

（2）木板受力情况如图 5.2-15(b)所示，木板在摩擦力的方向上相对地面位移为 s．

$\therefore$ 摩擦力对木板所做的功为：$W_M=fs$．

解　（1）滑块受力情况如图 5.2-15(a)所示，$f=\mu mg$

$\therefore$ 摩擦力对滑块所做的功为：$W_m=-f(s+L)=-\mu mg(s+L)$．

（2）木板受力情况如图 5.2-15(b)所示，

$\therefore$ 摩擦力对木板所做的功为：$W_m=fs=\mu mgs$．

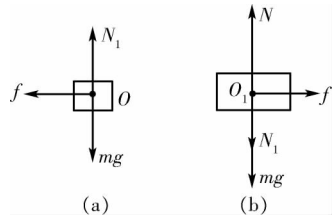


图 5.2-15

评析　从题目中得到不少启发：

（1）作用力和反作用力大小相等，但它们所做的功不一定相等．

（2）摩擦力不一定做负功．

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(3) 同一问题中计算功必须选取同一参照物——地面.

【例 12】 如图 5.2-16 所示,质量为 2 kg 的物体水平放置在运货滚梯上,沿 AB 方向以加速度 $a=4\ \mathrm{m/s^2}$ 从 A 点移到 B 点,AB 间距离为 2 m,AB 连线与竖直方向夹角为 60°. 求:

(1) 摩擦力对物体所做的功.

(2) 弹力对物体所做的功.

解 如图 5.2-17 对物体进行受力分析,将沿 AB 方向的加速度 a 沿水平方向和竖直方向分解,根据牛顿第二定律列方程

$$N-mg=ma\sin\theta \quad ①$$

$$f=ma\cos\theta \quad ②$$

由①②式解得 $f=4\sqrt{3}$ N,$N=24$ N.

根据功的定义式 $W_f=f\cdot\overline{AB}\cdot\cos\theta=12$ J. $W_N=N\cdot\overline{AB}\cdot\sin\theta=24$ J.

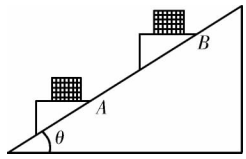


图 5.2-16

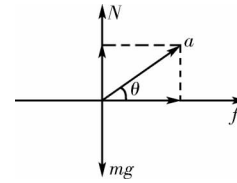


图 5.2-17

【例 13】 在光滑水平面上有一静止的物体. 现以水平恒力甲推这一物体,作用一段时间后,换成相反方向的水平恒力乙推这一物体. 当恒力乙作用时间与恒力甲作用时间相同时,物体恰好回到原处,此时物体的动能为 32 J. 则在整个过程中,恒力甲做的功等于_____J,恒力乙做的功等于_____J.



图 5.2-18

解 如图 5.2-18 所示,OA 段作用力为 $F_{甲}$,ABO 段作用力为 $F_{乙}$. 设 $OA=s$,向右为正,则有

$$s=\frac{1}{2}a_1t^2 \quad ①$$

$$-s=v_At-\frac{1}{2}a_2t^2 \quad ②$$

由牛顿第二定律 $$a_1=\frac{F_{甲}}{m},a_2=\frac{F_{乙}}{m} \quad ③$$

另有 $$v_A=a_1t \quad ④$$

将①③④代入②得 $$-\frac{1}{2}\left(\frac{F_{甲}}{m}\right)t^2=\left(\frac{F_{甲}}{m}t\right)t-\frac{1}{2}\left(\frac{F_{乙}}{m}\right)t^2 \quad ⑤$$

所以有 $$F_{乙}=3F_{甲}$$

显然,恒力甲做正功,$W_{甲}=F_{甲}s$;恒力乙的方向和物体在恒力乙作用下的位移的方向相同,所以,恒力乙也做正功,$W_{乙}=F_{乙}s$. 则 $$W_{乙}=3W_{甲} \quad ⑥$$

而 $$W_{甲}+W_{乙}=32\ \mathrm{J} \quad ⑦$$

所以 $$W_{甲}=8\ \mathrm{J} \qquad W_{乙}=24\ \mathrm{J}$$

评析 解决本题要分析清楚物理过程,且要对恒力做功公式有非常深刻的理解,两恒力先后作用下物体的两位移的大小是相等的,两位移的方向是与对应的恒力方向相同的,两力都做正功. 这样,两个力所做功的关系问题就转化为求两个力的大小关系问题.

探究体验

[探究] 有关摩擦力做功

[案例]

(1) 例 1:一物体质量为 m,静止在倾角为 θ 的斜面上,摩擦力做功 $W_f=0$.

(2) 例 2：如图 5.2-19，已知重物 B 的质量为 M，A 的质量为 m，A 和 B、B 与地面间的动摩擦系数都为 μ，现在用一水平向右的力拉物体，使 AB 一起向右匀加速运动了距离 s，求：地面和 B 物体间的摩擦力做的功，A 受到的摩擦力做的功．

解：B 物体受力如下图 5.2-20

$$f_{地}=\mu(M+m)g$$

$$f_{AB}=m[F-\mu(M+m)g]/(M+m)$$

A 物体受力如图 5.2-21

$$f_{BA}=m[F-\mu(M+m)g]/(M+m)$$

$$W_{BA}=f_{BA}s>0$$

$$W_{AB}=-f_{AB}s<0$$

$$W_{地}=-f_{地}s<0$$

(3) 例 3：上题中，如果 A 的速度小于 B 的速度，那么 A 受到的滑动摩擦力和位移的方向相同，f_{BA} 做正功．

(4) 例 4：上题中如果在 B 处放一固定挡板，并用力 F 拉木块 A，使 A 在 B 上滑动，问此时 B 物体受到的摩擦力做功如何？

因为此时 B 物体无位移，所以 B 受到的摩擦力不做功．

[结论]　例 1：静摩擦力可以不做功．

例 2：静摩擦力可以做正功，也可以做负功；滑动摩擦力可以做负功．

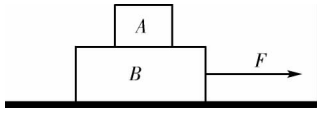


图 5.2-19

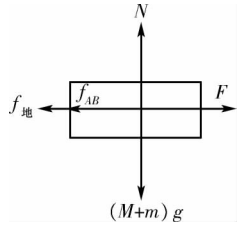


图 5.2-20

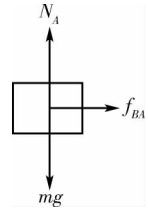
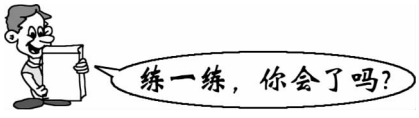


图 5.2-21

例 3：滑动摩擦力可以做正功．

例 4：滑动摩擦力可以不做功．

探究综合训练



1. 如图 5.2-22，小物块位于光滑斜面上，斜面位于光滑水平地面上，在小物块沿斜面下滑的过程中，斜面对小物块的作用力　(　)

A. 垂直于接触面，做功为零　　B. 垂直于接触面，做功不为零

C. 不垂直于接触面，做功为零　　D. 不垂直于接触面，做功不为零

2. 如图 5.2-23 两个互相垂直的力 F_1 和 F_2 作用在同一物体上，使物体运动，物体通过一段位移时，力 F_1 对物体做功 4 J，力 F_2 对物体做功 3 J，则力 F_1 和 F_2 对物体做的总功为　(　)

A. 7 J　　B. 2 J　　C. 5 J　　D. 3.5 J

3. 以一定的初速度竖直向上抛出一个小球，小球上升的最大高度为 h，运动中空气阻力大小恒为 f，则小球从抛出点抛出到再回到原抛出点的过程中，空气阻力对小球做的功应为　(　)

A. 0　　B. $-fh$　　C. $-2fh$　　D. $-4fh$

4. 两块相同材料的物块 A、B，放在水平粗糙的地面上，在力 F 的作用下一同前进，如图 5.2-24 所

示，已知 $m_a : m_b = 2 : 1$，在运动过程中，力 F 总共对物体做功 300 J，则 A 对 B 的弹力对 B 做的功为 （　　）

A. 100 J　　B. 150 J　　C. 300 J　　D. 条件不足，无法确定

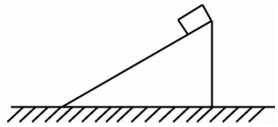


图 5.2-22

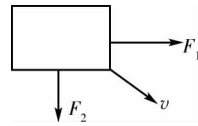


图 5.2-23



图 5.2-24

5. 用力将重物竖直提起，先是从静止开始匀加速上升，紧接着匀速上升．如果前后两过程的运动时间相同，不计空气阻力，则 （　　）

A. 加速过程中拉力的功比匀速过程中拉力的功大

B. 匀速过程中拉力的功比加速过程中拉力的功大

C. 两过程中拉力的功一样大

D. 上述三种情况都有可能

6. 某人用 300 N 的水平推力，把一个质量为 50 kg 的木箱沿水平路面加速推动 10 m，后来又把它匀速举高 2 m，这个人对木箱共做功多少？

7. 一个质量 $m = 2$ kg 的物体，受到与水平方向成 37°角斜向上方的拉力 $F_1 = 10$ N，在水平地面上移动的距离 $s = 2$ m（图 5.2-25）．物体与地面间的滑动摩擦力 $F_2 = 4.2$ N．求外力对物体所做的总功．

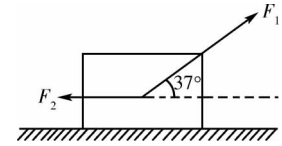


图 5.2-25

8. 如图 5.2-26 所示，质量为 m 的物体 P 放在光滑的、倾角为 θ 的直角劈上，同时用力 F 向右推劈，使 P 与劈保持相对静止，当前进水平位移为 s 时，劈对 P 做的功为多少？

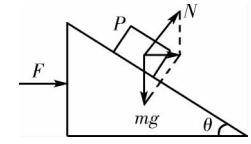


图 5.2-26

9. 如图 5.2-27 所示．A 为静止在水平桌面上的物体，其右侧固定着一个定滑轮 O，跨过定滑轮的细绳的 P 端固定在墙壁上，于细绳的另一端 Q 用水平力 F 向右拉，物体向右滑动 s 的过程中，力 F 对物体做多少功（上、下两段绳均保持水平）？

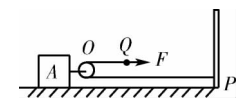


图 5.2-27

10. 用 40.0 N 与水平成 60°角向上的力作用在质量是 10.0 kg 的物体上，使它在水平地面上由静止开始做匀加速直线运动．物体与地面间的动摩擦因数为 0.10．当物体通过 2.0 m 位移时，求：

（1）物体所受各力对它做的功．

（2）物体所受合力对它做的功．

11. 起重机以 1 m/s² 的加速度将质量为 1 000 kg 的货物由静止匀加速地向上提升．若 g 取10 m/s²，则在 1 s 内起重机对货物所做的功是（　　）

A. 500 J　　B. 4 500 J　　C. 5 000 J　　D. 5 500 J

12. 某人用恒力 $F=100$ N 通过滑轮把物体 M 拉上斜面，如图 5.2-28 所示，作用力 F 的方向与斜面的夹角为 60°，若物体沿斜面运动 1 m，则力对物体做功为（　　）

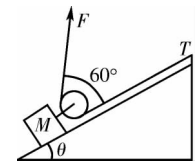


图 5.2-28

A. 100 J　　B. 150 J

C. 200 J　　D. 条件不足无法确定

13. 如图 5.2-29 所示，质量为 m 的物体 P 放在光滑的、倾角为 θ 的直角劈上，同时用力 F 向右推劈，使 P 与劈保持相对静止，当前进水平位移为 s 时，劈对 P 做的功为多少？

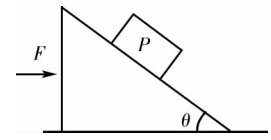


图 5.2-29

14. 水平传送带以 2 m/s 的速度匀速运行，将一质量为 2 kg 的工件沿竖直向下方向轻轻放在传送带上（设传送带速度不变），如图 5.2-30 所示．工件与传送带之间的动摩擦因数为 $\mu=0.2$，放手后工件在 5 s 内的位移是_____m，摩擦力做的功是_____J．

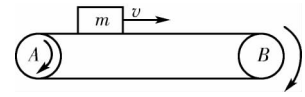
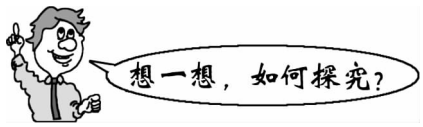


图 5.2-30

15. 质量 $m=20$ kg 的物体，与水平地面间的动摩擦因数 $\mu=0.4$．求下列两种情况下需对它做多少功：

（1）使物体沿水平地面以加速度 $a=1$ m/s² 移动 10 m.

（2）使物体竖直向上以加速度 $a=1$ m/s² 升高 10 m．取 $g=10$ m/s².



1. 在粗糙程度不同的水平面上推车，如果两种情况下所用的水平推力和车子通过的路程相同，则推力对车做功（　　）

A. 两种情况一样多　　B. 在较光滑的水平面上所做的功多

C. 在较粗糙的水平面上所做的功多　　D. 条件不足，无法比较两种情况下功的多少

2. 倾角为 θ 的斜面上有一个质量为 m 的物体，在水平推力 F 作用下沿斜面滑行距离 s（图 5.2-31）．设物体与斜面间动摩擦因数为 μ，则推力的功（　　）

A. $Fs\sin\theta$　　B. $Fs\cos\theta$

C. $\mu mgs\cos\theta$　　D. $(mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta)s$

3. 如图 5.2-32 所示，物体在两个共点力 F_1、F_2 作用下由静止沿水平面移动 2 m，则在下列情况中力对物体做功最多的是（　　）

A. $F_1=8$ N，$F_2=0$　　B. $F_1=8$ N，$F_2=8$ N，$\theta=120°$

C. $F_1=6$ N，$F_2=8$ N，$\theta=90°$　　D. $F_1=6$ N，$F_2=6$ N，$\theta=60°$

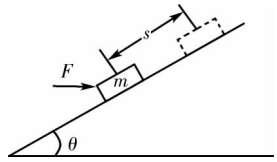


图 5.2-31

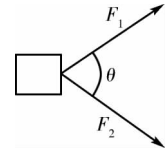


图 5.2-32

4. 放在光滑水平面上的静止物体，在水平拉力 F_1 作用下，移动距离 s 做功 W. 如拉力改为 F_2，与水平方向间夹角为 30°，使物体移动距离 $2s$ 时做功也是 W，则 F_1 和 F_2 的大小之比为（　　）

A. 2∶1　　B. $\sqrt{2}$∶1　　C. 3∶1　　D. $\sqrt{3}$∶1

5. 沿坡度不同、粗糙程度相同的斜面向上拉完全相同的物体，如果上升的高度相同，下列说法正确的是（　　）

A. 沿坡度小的斜面拉力做的功小些

B. 沿各斜面克服重力做的功一样大

C. 沿坡度小的斜面克服摩擦力做的功大些

D. 因运动状态不清楚，故沿各斜面拉力做功的大小无法比较

6. 起重机吊钩下挂着一个质量为 m 的木箱，如木箱以加速度 a 匀减速下降高度 h，则木箱克服钢索拉力做的功为（　　）

A. mgh　　B. $m(g-a)h$　　C. $m(g+a)h$　　D. $m(a-g)h$

7. 火车头用力 $F=5\times10^4$ N 拉车厢沿水平路面东行 $s_1=30$ m，又倒回来以同样大小的力拉车厢西行 $s_2=10$ m，整个过程中，火车头对车厢做的功为_____.

8. 一个质量 $m=2$ kg 的物体，在一个竖直向上的拉力作用下，从静止起向上做匀加速运动，2 s 末的速度为 5 m/s，则拉力 F 对物体做功_____；重力对物体做功_____.

9. 如图 5.2-33 所示，质量都是 m 的物体分别在恒力 F_1、F_2、F_3 作用下，在水平方向移动了相同的位移 s，讨论下列两种情况：

(1) 如果 $F_1=F_2=F_3$，那么 F_1、F_2、F_3 对物体所做功是否相同？

(2) 如果 F_1、F_2、F_3 对物体所做的功均相同，那么 F_1、F_2、F_3，哪一个大？

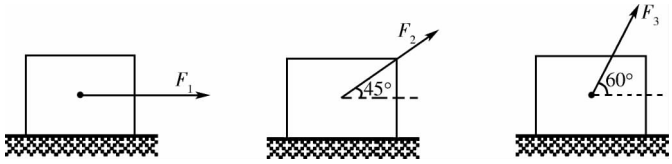


图 5.2-33

10. 质量 $m=10$ kg 的物体在力 F 的作用下，做下列各种运动，试分别求出力 F 对物体做的功和物体克服阻力所做的功：

(1) 在竖直向上拉力 F 作用下，物体匀速上升 2 m.

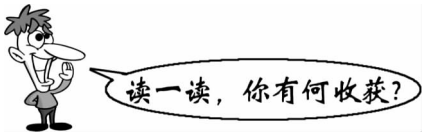
(2) 在水平拉力 F 作用下，物体在动摩擦因数 $\mu=0.2$ 的水平地面上匀速移动 2 m.

(3) 在水平拉力 F 作用下，物体在动摩擦因数 $\mu=0.2$ 的水平地面上以 $a=2$ m/s^2 的加速度匀加速

移动 2 m.

(4) 在与水平方向成 30°角向上的拉力作用下，物体在动摩擦因数 $\mu=0.2$ 的水平地面上以 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$ 的加速度匀加速移动 2 m.

11. 一列质量 $m=800\ \mathrm{t}$ 的火车在长 $s=2\ \mathrm{km}$ 的一段平直铁路上，其速度从 $v_0=54\ \mathrm{km/h}$ 增加到 $v_t=72\ \mathrm{km/h}$，若所受阻力是火车重力的 0.5%，则机车在这段路程上做功多少？



焦　耳

一、生平简介

焦耳，J. P. (James Prescott Joule 1818～1889 年)

焦耳是英国物理学家．1818 年 12 月 24 日生于索尔福．他父亲是酿酒厂的厂主．焦耳从小体弱不能上学，在家跟父亲学酿酒，并利用空闲时间自学化学、物理．他很喜欢电学和磁学，对实验特别感兴趣．后来成为英国曼彻斯特的一位酿酒师和业余科学家．焦耳可以说是一位靠自学成才的杰出的科学家．

焦耳最早的工作是电学和磁学方面的研究，后转向对功热转化的实验研究．

1866 年由于他在热学、电学和热力学方面的贡献，被授予英国皇家学会柯普莱金质奖章．

1872～1887 年焦耳任英国科学促进协会主席．

1889 年 10 月 11 日焦耳在塞拉逝世．

二、科学成就

1. 焦耳定律的发现

1840 年 12 月，他在英国皇家学会上宣读了关于电流生热的论文，提出电流通过导体产生热量的定律；由于不久 Э. x. 楞次也独立地发现了同样的定律，而被称为焦耳－楞次定律．

2. 热功当量的测定

焦耳的主要贡献是他钻研并测定了热和机械功之间的当量关系．这方面研究工作的第一篇论文《关于电磁的热效应和热的功值》，是 1843 年在英国《哲学杂志》第 23 卷第 3 辑上发表的．此后，他用不同材料进行实验，并不断改进实验设计，结果发现尽管所用的方法、设备、材料各不相同，结果都相差不远；并且随着实验精度的提高，趋近于一定的数值．最后他将多年的实验结果写成论文发表在英国皇家学会《哲学学报》1850 年第 140 卷上，其中阐明：第一，不论固体或液体，摩擦所产生的热量，总是与所耗的力的大小成比例．第二，要产生使 1 磅水(在真空中称量，其温度在 50～60 华氏度之间)增加 1 华氏度的热量，需要耗用 772 磅重物下降 1 英尺的机械功．他精益求精，直到 1878 年还有测量结果的报告．他近 40 年的研究工作，为热运动与其他运动的相互转换，运动守恒等问题，提供了无可置疑的证据，焦耳因此成为能量守恒定律的发现者之一．

3. 在热力学方面的成就

1852 年焦耳和 W. 汤姆孙(即开尔文)发现气体自由膨胀时温度下降的现象，被称为焦耳－汤姆孙效应．此效应在低温和气体液化方面有着广泛应用．他对蒸汽机的发展作了不少有价值的工作，还第一次计算了有关气体分子的速度．

需要全本请访问 www.ertongbook.com