



怎样学习 功和能

● 周纫兰 贾宝林 编



● 电子工业出版社



怎样学习功和能

周纫兰 贾宝林 编

电子工业出版社

(京)新登字055号

内 容 提 要

能的转化和守恒定律是贯穿物理学的精髓，功是能量变化的一种量度，通过功可以认识、理解和描述能。本书通过这个主线分十五章以实际问题的讨论和例题的剖析帮助你怎样学习功和能。

各章内容为：机械功，静摩擦力做功和动能的变化，重力势能，滑动摩擦力做功和内能，机械能守恒定律，汽车的牵引力及其做功，简谐振动的能量，能量守恒定律，热力学第一定律，人体做功和能量的转化，电荷在匀强电场中的电势能，电磁感应中的功能转换，恒流电路中的功能转换，量子化能量及能级，核反应能。

本书最适合中学物理教师和系统复习物理学的学生阅读。

怎样学习功和能

周勿兰 贾宝林 编

责任编辑：邓又强

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)
电子工业出版社发行 各地新华书店经营
北京市燕山联营印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：11.375 字数：255千字

1993年11月第1版 1993年11月第1次印刷

印数：1—3 000册 定价：9.50元

ISBN 7-5053-2100-5/TN·628

我们的愿望(代前言)

多年来，我们深深感到初等物理虽然经过百余年的发展，已经基本形成了一定的系统和模式。这种传统知识的框架和内容，应该达到尽善尽美的程度了，但心中总感觉仍存在着一些说不清、道不明的地方，这也许是我们理解水平问题，也许是目前的教科书尚有不尽善尽美的地方。

我们认为中学物理不同于大学物理，企图把大学中那些最科学最严密的理论物理知识“下放”到中学是绝对行不通，也是不必要的。二者有着不同的传授对象，他们对知识的要求、接受能力、理解水平、知识基础都不相同。我们认为中学物理的改革方向，不是对原来教材的删删改改，修修补补，而应经过充分研究，创立新的中学物理知识体系，使它体现既是近代物理的初等内容又是结构严密相对独立的知识系统。我们期待着有识之士对中学传统教材进行系统的严格的梳理和研究。

为此，应该大力提倡和推动初等物理学的研究，对传授知识中存在的似是而非，似非而是、说不清道不明的问題，甚至包括对传统的和新编的物理习题进行一番认真的研究，这样使传授者心明眼亮、一清二楚，自然被传授者也能达到一个新高度。当然，这是一个浩大的工程，需要动员广泛的社会力量，经过数年努力才能完成。我们盼望着中学新物理学教材的诞生。

本书围绕着“功和能”写了我们的一些看法和体会，实乃

我们自己的一孔之见，书中有一些与传统相悖的看法，希望读者既不要轻易一棍子打死，或不屑于一顾，也不要盲从随意同意，衷心希望您能批判谬误、吸取精华，开拓思维。

我们只想通过本书能引起教学教研同仁的共鸣，倘能于大家有一点一滴的启示和补益，或者能引起同仁们的争鸣批判，得以推动初等物理学的发展和变革。

本书在编写过程中得到了陆大雄等老师的帮助和指教，在此谨向他们表示诚挚的感谢。

真诚期望读过本书的老师、同仁、同学批评指正，热忱欢迎大家指导。

北京师范学院分院附中 周勿兰

北京市教育局教学研究部 贾宝林

一九九一年二月

目 录

第一章 机械功	1
§ 1-1 关于功的定义	1
§ 1-2 功的《作》的定义在实际应用时遇到的困难	3
§ 1-3 功的《物》的定义在使用中遇到的困难	4
§ 1-4 功和能的关系	7
§ 1-5 功的计算之一	9
§ 1-6 功的计算之二——特殊情况下功的计算	19
第二章 静摩擦力做功和动能的转化	24
§ 2-1 静摩擦力和静摩擦力的功	24
§ 2-2 关于动能	25
§ 2-3 动能在两个物体之间的传递	27
§ 2-4 转动动能和平动动能之间的相互转化	29
§ 2-5 动能在两个物体之间的传递	31
§ 2-6 静摩擦力做功与动能转化的关系	36
第三章 重力势能	39
§ 3-1 重力势能概念的建立	40
§ 3-2 为什么说重力势能属于物体和地球组成的系统	43
§ 3-3 物体做自由落体或抛体运动时，系统的重力势能与物体动能的相互转化	47
§ 3-4 隔离物体与系统的构想的依据	49
第四章 滑动摩擦力做功和内能	55

§ 4-1 滑动摩擦力	55
§ 4-2 滑动摩擦力做功	58
§ 4-3 内能	61
§ 4-4 运动物体的动能是怎样转化为系统内能的	64
§ 4-5 几个实际问题的讨论	66
第五章 机械能守恒定律	77
§ 5-1 关于“机械能守恒”与“机械能不变”的争论	77
§ 5-2 什么叫机械能守恒	79
§ 5-3 机械能守恒的条件	81
§ 5-4 浮力做功时的机械能守恒	84
§ 5-5 质点组的机械能守恒定律	88
§ 5-6 质点组机械能守恒定律的应用	91
§ 5-7 机械能守恒定律的意义	98
第六章 汽车的牵引力及其做功	102
§ 6-1 汽车各部分的受力情况及各个力的做功情况	103
§ 6-2 描述汽车各部位运动状态的物理量及其关系	105
§ 6-3 汽车各部分的动力学方程	106
§ 6-4 几点结论	108
§ 6-5 应用	111
第七章 简谐振动的能量	116
§ 7-1 竖直悬挂的弹簧振子	117
§ 7-2 单摆	119
§ 7-3 浮子	122
§ 7-4 U型管中液体的振动	125
§ 7-5 回复力为非保守力的简谐振动	126
§ 7-6 自由谐振与非自由谐振的比较	128
第八章 能量守恒定律	132
§ 8-1 能量守恒定律概述	133
§ 8-2 能量守恒定律的表达形式之一	134

§ 8-3 能量守恒定律的表达形式之二	140
§ 8-4 能量守恒定律的表达形式之三	149
§ 8-5 能量守恒定律的表达形式之四	153
§ 8-6 能量守恒定律的表达形式之五	160
第九章 热力学第一定律	168
§ 9-1 实物系统的内能	168
§ 9-2 热力学第一定律	171
§ 9-3 量度内能变化的功 (一).....	176
§ 9-4 量度内能变化的功 (二).....	181
§ 9-5 量度内能变化的功 (三)——焦耳定律.....	184
§ 9-6 量度内能变化的热量	191
§ 9-7 气态系统对外界做功	195
§ 9-8 理想气体的能量转化	197
§ 9-9 系统的内部能量与热力学第一定律的推广	203
第十章 人体做功和能量的转化.....	212
§ 10-1 系统内力做功与系统内部能量变化的关系	212
§ 10-2 人体内力功与能量改变的关系.....	213
§ 10-3 人走路过程中的功能转化.....	217
§ 10-4 人从船尾走到船头过程中的功能转化.....	221
§ 10-5 人站在地面上拉绳做功.....	228
§ 10-6 人站在船上拉绳做功	231
§ 10-7 人站在小船上通过水平轻绳去拉另一小船 做功	237
第十一章 电荷在匀强电场中的电势能和带电 电容器的能量	244
§ 11-1 电荷在匀强电场中的电势能	244
§ 11-2 带电电容器的能量	249
§ 11-3 带电电容器放电过程中的能量转化	251
§ 11-4 带电电容器的功能转换	253

§ 11-5	如何解有关带电平行板电容器放电的物理习题	255
第十二章	电磁感应中的功能转换	261
§ 12-1	在匀强磁场中运动的金属棒中自由电荷的运动和受力情况	261
§ 12-2	关于洛仑兹力做功问题	263
§ 12-3	电磁感应中的功能转换	264
§ 12-4	动生电动势	268
§ 12-5	电磁感应的三个例题	275
第十三章	恒流电路中的功能转换	285
§ 13-1	金属导电的微观描述和理想化等效假设	285
§ 13-2	电源的电动势	289
§ 13-3	纯电阻部分电路欧姆定律	290
§ 13-4	非纯电阻部分电路欧姆定律	294
§ 13-5	纯电阻闭合电路欧姆定律	299
§ 13-6	非纯电阻闭合电路欧姆定律	305
第十四章	量子化能量及能级	312
§ 14-1	光电效应	312
§ 14-2	外光电效应过程	313
§ 14-3	外光电效应发生后的过程	315
§ 14-4	光电效应的两个例题	316
§ 14-5	玻尔原子理论用到的物理恒量	319
§ 14-6	轨道量子化	320
§ 14-7	能量量子化及能级	321
§ 14-8	对氢光谱的解释	323
第十五章	核反应能	331
§ 15-1	核反应	331
§ 15-2	结合能	335
§ 15-3	放射性元素的衰变	337

§ 15-4	裂变反应	342
§ 15-5	聚变反应	343
§ 15-6	原子核的人工转变	348

第一章 机 械 功

功是牛顿力学中一个非常重要的物理概念。这不仅仅是要通过功去引入描述机械性能的两个物理量功率 P 和机械效率 η ，更为重要的是讲述功是能量变化的一种量度。做功是能量改变的一种重要方式，通过功可以认识和理解描述各种运动形式的物理量——能。能的转化和守恒定律是自然界最伟大最普遍的规律之一，它是贯穿整个物理学的精髓，也是沟通物理学与其他自然科学的桥梁和纽带。因此，正确地建立功的概念，准确地表述功的定义，至关重要。综合各种物理教科书采用的功的定义有三种：第一种是：功是力和力的作用点位移的标积，下面简称为功的《作》的定义；第二种是：功是力和受力作用的物体的位移的标积，下面简称为功的《物》的定义；第三种是：功是力和受力作用的质点的位移的标积，下面简称为功的《质》的定义。《质》的定义在中学不提及，本书不作讨论。本书认为应该采用《物》的定义，而废止《作》的定义，这将是本章讨论的中心。

§ 1-1 关于功的定义

在力的作用下，物体在力的方向上发生了位移，我们就说力对物体做了功。

“在力的作用下”，不能狭隘地认为力必须驱动物体运动，即不能只认为力对物体有推动作用才叫作在力的作用

下，而凡是在时间 t 内，力一直作用在物体上，无论是驱动还是阻止都叫在力的作用下。

“在力的方向上发生了位移”，就是说物体的位移矢量在力的作用线上的投影或者分矢量不等于零。

物体是力的承受者，力的作用效果必然体现在物体上。力对物体做功的过程就是力对物体作用效果在空间积累的过程，功就是这种空间积累效应的量度（即过程的量度）。因此在功的定义中，应包括作用在物体上的力和在力的作用下物体的位移这两个要素。

在物理学中不笼统地讲物体这个一般概念，而是抓住物体运动中的主要特征加以理想化，抽象出各种理想模型。质点就是中学物理中物体的一种最主要的理想模型，我们把只有质量而没有体积的理想物体叫做质点。

物体的机械运动可以分为平动和转动两种基本形式，振动可以作为一种特殊形式而加以单独研究。物体平动时，物体上各个质量元的位移完全相同，因此可以用一个集中了物体全部质量的点代表这个物体，作平动的物体可以看成质点。

刚体也是一种理想模型，所谓刚体就是体积和形状不发生任何改变的物体。刚体绕固定轴线转动时，刚体上各个点的角位移、角速度、角加速度都相同；刚体平动时，又可以把它看作质点；刚体作一般运动时，可以看成是刚体绕其质心的转动和质量集中于质心的质点运动的合运动。

自然界中还有一种不能忽略形状变化的物体。该物体各部分之间的相对位置不断变化，这种物体的各个部份可以看成质点，这样的物体叫做质点组。对于看成质点组的物体，再讲整个物体的位移就毫无意义了，而必须明确指出所说的

位移是质点组中哪个物体（质点）的位移。

必须强调指出，功的《物》的定义中所说的物体的位移是力的作用点所在物体或物体上某一部分的位移。前者是物体可看成质点，后者是物体看成质点组，在应用时必须具体问题具体分析。

比如人这个物体，如果体形在运动过程中不发生改变，平动时可以看成质点，转动时可看成刚体，如果四肢等部位相对躯干的相对位置有变化，则既不能看成质点，也不能看成刚体，而必须把人看成质点组。

功的定义式 $W = \vec{F} \cdot \vec{S} = F \cdot S \cos \alpha$ ，是对物体受恒力作用作直线运动时的定义。对物体受变力作用作曲线运动的情况，可把曲径分成若干小段，每小段可看成是在恒力作用下的直线运动，然后再用积分方法求出力在某段路径对物体做的功。

§ 1-2 功的《作》的定义在实际应用时遇到的困难

一个物理定义必须用起来方便准确，用其计算出的结果必须与实际符合，不能产生矛盾。功的定义正是人们对实践正确分析、认识之后上升为理性概念，正确的理论是能经受住实践的严格检验的。

例如，一粒子弹射入固定不动的大木块内，子弹与木块之间有摩擦阻力。子弹体积很小，可以看成是一个点，子弹所受摩擦力的作用点就是本身这个点，因此子弹的位移就可以认为是摩擦力的作用点的位移。问题是木块也受到摩擦力的作用，根据牛顿第三定律，物体之间的作用力和反作用力同

生同灭，固定不动的大木块虽然不发生位移，但其受到的摩擦力的作用点却毫无疑问地发生了位移，而且与子弹受到的力的作用点的位移相等。那么木块受到的摩擦力做功吗？回答是肯定的：不做功，因为木块没有发生位移。可是按功的《作》的定义，这个力是要做功的，这个矛盾无法解释。

假如木块放在光滑桌面上，在子弹推力作用下也发生位移，要计算克服摩擦阻力做的功，按功的《物》的定义是很容易的，即 $W = \vec{f} \cdot \vec{S}$ ，这里 $\vec{S}$ 是子弹相对木块的位移， $S = S_{\text{子弹}} - S_{\text{木块}}$ 。若按功的《作》的定义， $W_f = fS$ ， S 应该理解为子弹受力的作用点相对木块受力的作用点的位移，这样 $S = 0$ ，从而得出 $W_f = 0$ 的错误结论。

再如，在皮带传动中，皮带轮与皮带之间靠相互作用的静摩擦力传动，静摩擦力做功，使皮带轮与皮带之间进行着动能的传递和转化。皮带与轮边缘是面接触而不是点接触，静摩擦力的作用点的位置很难准确知道，又怎能正确地确定作用点的位移呢？这样按功的《作》的定义去计算功就很不方便了。而皮带的平动位移及轮子作为刚体的转动角位移却是显而易见的，按照功的《物》的定义去计算静摩擦力的功岂不是既方便又准确吗？有关这两种情况的计算将在本书后面章节中看到。

§ 1-3 功的《物》的定义在使用中遇到的困难

图1-1表示一个人穿着无摩擦的旱冰鞋站在水平地面上，面对坚硬的墙，假定他推墙使自己向后运动。作用于人的外力有重力 G ，地面给予的支持力 N_1 和 N_2 ，墙作用的水平力

P , 力 P 是人推墙的力的反作用力。
按功的《作》定义, 因为力 P 的作用点没有位移, 所以 P 不做功, $W_P = 0$; 而按功的《物》定义, 因为人发生了位移 S , 似乎力 P 对人做了功, $W_P = PS$ 。

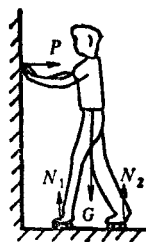


图 1-1

我们知道, 人手在推墙过程中, 手相对人身体的相对位置发生了变化, 这时再把“人”看成一个质点, 就与实际情况不相符合了, 而必须把手和身体看成两个物体, 理想化为一个质点组。

力 P 虽然是作用在手这个物体上, 对质点组来说也是质点组受的外力, 可以使质点组的质心产生水平加速度, 但它对质点组却没有做功! 因为在 P 的作用下, 手没有发生位移, 人的身体却发生了位移 S 。

其实, 人的手、人的身体、人整体是完全不同的概念, 在这个例子中不能混为一谈。力 P 是作用在人手上的力, 位移 S 是人身体的位移, P 和 S 是对两个物体的物理量, 用 P 乘 S 去计算功, $W_P = PS$ 是完全错误的, 也是毫无意义的!

人的胳膊在屈伸推墙的过程中, 好象一个压缩的弹簧把人手和人身体两个质点连接起来, 组成人这个质点组。“弹簧”在伸长过程中对人的身体的推力做正功, 增加了人身体的动能, 人身对“弹簧”的反作用力对“弹簧”做负功, 使“弹簧”弹性势能减少。人身体获得的动能, 也可以说人这个质点组获得动能正是通过质点组内力做功由弹性势能(相当于人的肌肉运动消耗的人生物能)转变而来的。(必须指出弹簧也必须看成许多质点连接而成的质点组!)

动能定理对质点和质点组来说是不一样的，质点所受的力都是外力，外力功的代数和 ΣW 等于质点动能的增量 ΔE_K ，即 $\Sigma W = \Delta E_K$ 。而质点组是把每个质点的 $\Sigma W = \Delta E_K$ 求和，所有质点的 ΔE_K 之和叫做质点组的动能增量。所有功的代数和可以分为两大类，一类是质点组之外的力对每个质点所做的功叫做外力功 W_e ；另一类是质点组之内各质点之间的相互作用力做的功叫内力功 W_i ，这样质点组的动能定理表示式可写为 $\Sigma W_e + \Sigma W_i = \Delta E_K$ 。

按照功的《物》的定义，不仅很严格地解决了为什么 $W_P = 0$ 的问题，而且指出了人身体动能变化的实质性原因。

再举一个例子，一个圆柱体沿斜面没有相对滑动地滚下，圆柱体与斜面之间的相互作用力是一对静摩擦力，接触点显然是静摩擦力 f_0 的作用点。按照功的《作》的定义，认为斜面对圆柱体的力 f_0 的作用点没有发生位移，而仅仅是变换，所以 f_0 不做功，这与事实是符合的。这里 f_0 的作用点是否有位移并非是显而易见的，有人曾做过严格的论证：①首先分析人走路时，双脚与地面没有相对运动，作用在人脚上的力是静摩擦力 f_0 ，以地面为参照物， f_0 的作用点没有位移。左右两脚交替向前迈动时，前面的脚所受力 f_0 的作用点比后脚所受力 f_0 的作用点靠前一些，但它不是后脚所受力 f_0 的作用点移到这里来的。前后两脚所受的静摩擦力在不停地交替着，两只脚所受力 f_0 的作用点自始至终都不动，没有位移。②把圆柱体看成一个正 n 边棱柱体，它滚动时，各条棱依次与斜面接触，就好像人走路时左右两脚交替迈进一样，相邻的两棱所受静摩擦力的作用点不发生位移，而仅仅是发生变换！③当 $n \rightarrow \infty$ 时，正 n 边棱柱体就成了圆柱体，这样可以得出圆柱体滚动时静摩擦力的作用点不发生位移，而仅仅

是变换而已，从而说明静摩擦力不做功。且不说这个论证相当麻烦，不过对 $W_{f_0} = 0$ 还是容易理解的。

那么，按功的《物》的定义，很明显圆柱体沿斜面滚下发生了位移 S ， $W_{f_0} = f_0 S$ ，这不证明静摩擦力对圆柱体做功了吗？导致这个错误的原因，是没有全面看问题，圆柱体滚动时，不仅发生平动，而且还绕中心轴转动。静摩擦力对转动有力矩作用，也要做功（ $W_M = M\theta = f_0 R\theta$ ）。滚动时 $S = R\theta$ ，可以明显地看出 M 对圆柱体转动所做的功和 f_0 对平动所做的功总是一正一负，功的大小相等，静摩擦力对圆柱体所做的总功（或者说是净功）为零。这不仅圆满地说明了静摩擦力 f_0 对圆柱体不做功，而且告诉我们圆柱体在滚动时正是通过这个静摩擦力对转动和平动做正、负功，而实现转动动能和平动动能的相互转化的。

通过以上讨论可以看出，只要我们能正确选择研究对象，明确力所作用的物体及其发生的位移，应用功的《物》的定义去计算力对物体所做的功是既简便又准确的。

§ 1-4 功和能的关系

做功是能量转化的一种方式，功是能量变化的量度，即功等于能量的增量， $W = \Delta E$ 。自然界中，物质以各种各样的运动形式在永恒地运动着。与每一种运动形式相对应都有一种能的形式。一定量的某种运动形式的产生总是以一定量的另一种运动形式的消失为代价，而一定量的某种运动形式的消失又总要产生一定量的另一种运动形式。在物质的运动形式发生转变时，能的形式也要相应地发生转变，而能的总量不变。物质各种运动形式的相互转化过程，本质上就是与运动