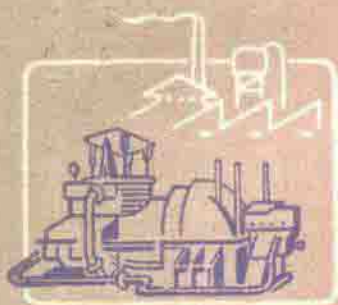




高中物理教学参考读物

动力学

(修订本)

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社

高中物理教学参考读物

动 力 学

(修 订 本)

上 海 市 物 理 学 会
中学物理教学研究委员会编

上 海 教 育 出 版 社

高中物理教学参考读物

动 力 学

(修 订 本)

上 海 市 物 理 学 会

中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 上海日历印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.25 字数 96,000

1956 年 11 月新知识第 1 版 1959 年 6 月新 1 版

1961 年 12 月新 2 版 1979 年 5 月第 14 次印刷

印数 354,001—554,000 册

统一书号: 7150·534 定价: 0.38 元

目 录

第一章 质点动力学.....	1
(一) 牛顿第一运动定律	1
1. 牛顿第一运动定律	1
2. 力的概念	3
3. 重力 弹力 摩擦力.....	5
4. 惯性	8
(二) 牛顿第二运动定律	9
1. 质量	9
2. 牛顿第二运动定律	12
3. 单位制和量纲	17
4. 冲量和动量——牛顿第二运动定律的另一种形式	22
(三) 牛顿第三运动定律	23
1. 物体的相互作用	23
2. 牛顿第三运动定律	24
3. 动量守恒定律	28
(四) 惯性系和非惯性系	45
1. 惯性系 伽利略相对性原理	45
2. 非惯性系 惯性力.....	47
3. 惯性离心力	51
(五) 牛顿定律的适用范围	54
(六) 共点力的平衡	56
1. 合力 分力 平衡力.....	56

2. 力的合成	59
3. 力的分解	69
4. 共点力的平衡条件	74
第二章 刚体动力学	86
(一) 刚体的平动	86
(二) 质心和质心运动定律	87
1. 质量中心的意义	87
2. 质心的计算	88
3. 质心的运动速度和加速度	90
4. 质心的运动定律	91
(三) 刚体绕固定轴转动	96
1. 力矩和力偶	96
2. 刚体的动能	101
3. 转动惯量	101
4. 转动定律	105
(四) 动量矩定理 动量矩守恒定律	107
1. 动量矩和冲量矩 动量矩定理	107
2. 动量矩守恒定律	107
(五) 刚体的平衡	115
1. 有固定转轴的刚体的平衡	115
2. 平行力的合力	118
3. 重心	119
4. 一般刚体的平衡条件	124
附录 重要物理量的量纲和单位表	131

第一章 质点动力学

动力学的任务是要研究引起物体运动状态变化的原因，以及这种变化之间的关系。我们先来讨论质点动力学，然后再简略地讨论一下质点静力学。质点动力学的基础是牛顿运动三定律。

自从1686年英国物理学家牛顿(1643—1727)总结前人在力学方面的种种发现，加上他自己的观察和实验，发表著名的牛顿运动三定律以后，力学的发展，可以说是一日千里。十八、十九两个世纪里，科学家们发展了牛顿的成就，使力学在科学领域和生产技术上，获得了光辉的成就。虽然从十九世纪末叶以来，新现象不断发现，使牛顿的某些基本概念必须修正，但只是修正而已，并不是说牛顿定律已被推翻不能用了。相反的，在很大范围内，它还是能够很正确地反映客观规律的。现在我们就来讨论牛顿运动定律。

(一) 牛顿第一运动定律

1. 牛顿第一运动定律 在日常生活中我们可以看到，一个静止的物体，我们不去碰它，它是不会运动的。一个运动着的物体，如果把它放在粗糙不平的地面上，它的运动速度很快就会减小，并且不久就会停止。如果在比较光滑的水泥地上运动，速度就减小得比较慢，并且要运动得比较远一些才停止。如果在更光滑的冰上运动，速度就减小得更慢，要运动得更远才停止。因此我们推想，假如物体在这样一个面上运动，这个面光滑到连一点摩擦也没有，那末物体的速度将不会减小，继续以这个速度运

动，永不停止。我们叫它匀速运动。另外，我们还看到物体在运动过程中，除了碰到障碍物会改变它的运动方向外，它总是沿直线运动的。

总结上面的现象，我们得到：**物体在不受别的物体作用时，将保持自己的静止状态或匀速直线运动状态不变。**这就是牛顿第一运动定律。

这定律使我们知道：

第一，如果要改变物体的运动状态，必须有别的物体对它作用。在上例中，只考虑地面和物体间的摩擦，这是为了简单易懂。实际上，空气等阻力都应该考虑。所谓不受别的物体作用，意思是作用在物体上的一切影响都抵消了，这样，这个物体才作匀速直线运动。

第二，所谓改变物体运动状态，就是改变物体运动速度。速度是一个矢量，同时改变速度的大小和方向，或者只改变速度的大小，或者只改变它的方向，都表示速度改变，都是改变运动状态，都需要别的物体的作用。静止只是速度等于零的运动状态。

在日常生活中，我们很容易找到速度作各种变化的运动。例如：从枪口射出的子弹，由于受到地球的引力，使它沿抛物线运动，速度的大小和方向都时刻在变。地球由于受到太阳的引力，使它绕太阳作匀速圆周运动（近似的），速度的大小不变，方向变。从树上落下的苹果，在重力作用下，沿直线作匀加速运动，是速度的大小变方向不变例子。

第三，静止状态和匀速直线运动状态，都表示速度没有变化，也就是都没有加速度。因为在这两种状态下，速度的大小和方向都没有变化。因此，都不需要别的物体的作用。

第四，这定律是从客观事实中间接推导出来的结论，不能用实验来直接验证。因为世界上没有一个物体可以孤立地存在着

而不和其他物体发生联系的。换句话说,“物体不受其他物体作用”这句话是理想的,不合事实的。因此,对于这句话的正确理解应该是:物体受到其他物体作用,但这些作用刚巧平衡。例如放在桌上的茶杯,一方面受到地球的作用(茶杯的重力),另一方面又受到桌面的作用(桌子托茶杯的力),这两个作用刚巧平衡,所以茶杯不动。如果我们把桌子的一边抬高些,两个作用就不能平衡,茶杯就要沿桌面滑下去了。

2. 力的概念 牛顿第一运动定律的重要性在于它指出了力的意义。这个定律首先使我们知道,物体不受其他物体的作用时,它的运动速度保持不变。其次又使我们知道,其他物体的作用可以迫使物体改变速度,获得加速度。因此我们把力的意义定为:**任何使物体产生加速度的别的物体的作用都叫做力。**

人们对于力的认识,最初是从肌肉的感觉中获得的。例如把一根树枝折断,把一块石头提起等等,我们必须使用一定的“劲”,说明人们在对树枝和石头等作用时,人们从肌肉的感觉中产生了力的概念。

物理学上所讲的力,本质上是和我们经验中的力一致的,不过比较确定些、严格些。我们把力看作是任何物体间的相互作用,这种作用使物体改变速度,也就是获得加速度,所以我们也说**力是产生加速度的原因。**

对于力的概念,通常有两种错误认识。第一,有人以为力是维持物体运动速度的原因。例如:马连续不断地使劲,才能使车子前进,如果马不使劲,车子就会停下来。这是从表面现象看问题,不全面,缺乏深入的分析和研究。运动着的车子所以要停下来,是因为摩擦力的关系。前面举的例子就足以说明这个问题。任何运动物体,都在摩擦力、空气阻力等外力作用下,这些外力使物体的速度逐渐减小。如果这些外力减小到可以不计的程度,

那末本来运动着的物体自己是不停下来或慢下来的。

这个问题，在物理学史上，也曾有过争论。亚利斯多德就曾经说过：如果撤去作用在物体上的力，物体就停下来。直到伽利略经实验分析后，指出了运动有匀速和变速的区别，只有变速运动才有力的作用。这样才纠正过来。

第二，有人以为力是产生速度的原因，不是产生加速度的原因。这种想法的人很普遍，纠正也比较困难，特别是对作用时间极短的现象。例如他们说：静止着的皮球，踢它一脚，它运动了，得到了速度；一个足球踢过来，踏住它，足球停止了，它的速度变为零；这样的例子他们能举出很多。错误的关键到底在什么地方呢？在于他们还不理解加速度这个概念。他们所举的例虽然都对，但速度由零变为某一速度，或由某一速度变为零，或由某一速度变为另一速度，一定有个过程。换句话说，速度的改变是渐变的，不是突变的，因此，一定有个时间因素在里面，这个时间可能很长，也可能很短。我们把这个速度的变化，与完成这个变化所经过的时间的比，叫做加速度。比如我们踢足球，假使脚和足球接触的时间是 0.1 秒，球的速度由零变为 5 米/秒，那末足球得到的平均加速度就是 $\frac{5-0}{0.1}=50$ 米/秒²。如果我们把脚和球的

接触时间 0.1 秒分成 0.01 秒、0.02 秒、0.03 秒……0.1 秒几个阶段（当然还可以分得再小些），假使速度的变化是均匀一致的话，那末①

$$0.01 \text{ 秒末的速度} = 50 \times 0.01 = 0.5 \text{ 米/秒,}$$

$$0.02 \text{ 秒末的速度} = 50 \times 0.02 = 1.0 \text{ 米/秒,}$$

$$0.03 \text{ 秒末的速度} = 50 \times 0.03 = 1.5 \text{ 米/秒,}$$

① 实际上踢足球用的力是冲力，足球开始的运动并非匀加速运动，此地为了便于说明问题，所以当做匀加速运动来处理。

直到 0.1 秒末的速度 $= 50 \times 0.1 = 5$ 米/秒。

所以，脚对足球作用的结果，使足球获得了加速度 50 米/秒²，而它的速度是跟力所作用的时间的延长逐渐增大的。

我们的祖先在两千四百多年前，就已经认识力的意义了。我国伟大的思想家墨翟，在他所著的墨经中就说过：“力，形之所以奋也。”又说：“力，重之谓。”这里的“形”作物体讲，“奋”作运动讲，或作快讲。第一句说明物体所以能够从静止开始运动，或者得到加速度，是因为受到力的作用的缘故。第二句说明物体有重量是力的表现之一。

这里我们还要强调指出，世界上没有一种叫做力的东西能够独立地存在着的。力是一个物体对另一个物体的作用，离开了物体来谈力是没有意义的。

3. 重力、弹力、摩擦力 上面说过，力是一个物体对另一个物体的作用。根据作用方式的不同，我们把力分为重力（万有引力）、弹力、摩擦力、电力等等。力学里常见的是重力、弹力和摩擦力。

重力就是物体的重量。它是由于地球的吸引而使物体受到的力。重力和物体的质量有密切的联系，实质上是两个完全不同的物理量。至于为什么说是两个完全不同的物理量，留在质量一节里再谈。

物体受到外力作用时，一定发生形变。即使外力很小，形变也一定发生，不发生形变的物体是没有的。物体发生形变时，内部就要产生反抗外力来恢复它原来的形状，这个力就叫做弹力。形变愈大，弹力也愈大；形变消失，弹力也消失。

最常见而应用又最广的，要算是弹簧的弹力。根据虎克定律：在弹性限度内，弹力 F 和弹簧的伸长或压缩 l 成正比，即

$$F = Kl。$$

式中 K 叫做弹簧的倔强系数,它是随弹簧而异的恒量。

两物体相互接触时,不仅要产生和接触面正交的压力,还要产生和接触面平行的摩擦力。产生摩擦力的原因很复杂,除了接触面粗糙不平外,分子引力和静电吸引力等都有关系。

当相互接触的两个物体,在外力作用下有滑动倾向时,两物

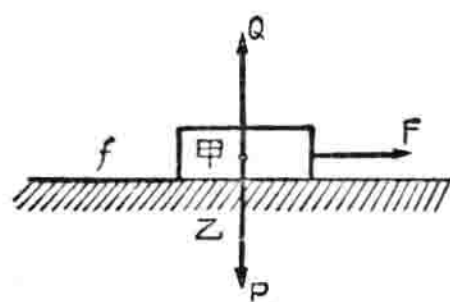


图 1

体间便产生静摩擦力。图 1 中甲、乙两个相互接触的物体,当物体甲受外力 F 作用时,如果两接触面间没有摩擦力,甲物体将沿外力 F 的方向开始滑动。但事实上,当 F 小于某一数值时,甲物体并不滑动。可见甲物体必然同时受

到和外力 F 大小相等方向相反的静摩擦力。外力增大或减小时,静摩擦力也跟着增大或减小。但当外力增大到某一数值时,物体开始滑动,可见静摩擦力的增大有一限值。这个限值叫做最大静摩擦力。实验证明,这个最大静摩擦力 f 和压力 P 成正比。即

$$f = \mu_0 P.$$

式中 μ_0 叫做静摩擦系数。它和物体的质料、表面情况等有关。静摩擦力的方向总是跟物体的滑动趋势相反。

要甲物体在乙物体上作匀速滑动,必须经常用一定数值的外力拖它。可见这时甲物体也受到一定数值的摩擦力。这种摩擦力叫做滑动摩擦力。它的方向总跟物体的相对运动方向相反。实验证明,滑动摩擦力 f 也和压力 P 成正比,即

$$f = \mu P.$$

式中 μ 叫做滑动摩擦系数。它也和物体质料、表面情况等有关。

实验证明,当两个物体的接触面不很大或者不太小时,摩擦系数和接触面的面积几乎没有关系。

例一 为了使 500 公斤的木材在冰上滑动,最初用 10 公斤的水平力拖它,接着又增加到 15 公斤、17 公斤的水平力拖它,但都不能使木材滑动。一直增加到 20 公斤后,木材才开始滑动,求上述各种情况下的静摩擦力和静摩擦系数。

【解】 (1) 木材受到外力作用而不动,其所受到的摩擦力,一定大小等于外力,方向和外力相反。因此

当它受到 10 公斤的外力时,摩擦力=10 公斤;

当它受到 15 公斤的外力时,摩擦力=15 公斤;

当它受到 17 公斤的外力时,摩擦力=17 公斤。

(2) 木材受到 20 公斤的外力时,开始滑动,这就说明最大静摩擦力=20 公斤,所以静摩擦系数

$$\mu_0 = \frac{20}{500} = 0.04.$$

例二 为了使上题中的木材继续在冰上作匀速运动,我们必须经常用 17.5 公斤的力拖它。求滑动摩擦系数。

【解】 木材在冰上作匀速滑动,我们用 17.5 公斤的力来拖它,是拿来克服它所受的摩擦力的,因此摩擦力也是 17.5 公斤。所以滑动摩擦系数

$$\mu = \frac{17.5}{500} = 0.035.$$

例三 在两块木板中间,夹着一个 5 公斤的四方木块,所用的压力是 15 公斤,木板和木块间的摩擦系数是 0.2。想从下边拿出这个木块,需要多大的力? 想从上边把它拿出来,需要多大的力?

【解】 要想把木块拿出来必须用的最小的力 F , 一定要满足这样的条件:木块所受的向上的力的和等于向下的力的和。因此

(1) 从下边把木块拿出来[图 2(a)], 这时摩擦力向上, 左右两侧各等于 $15 \times 0.2 = 3$ 公斤。

$$\therefore 5 + F = 3 \times 2, \quad F = 1 \text{ 公斤}.$$

(2) 从上边把木块拿出来[图 2(b)], 这时摩擦力向下,

$$\therefore F = 3 \times 2 + 5 = 11 \text{ 公斤}.$$

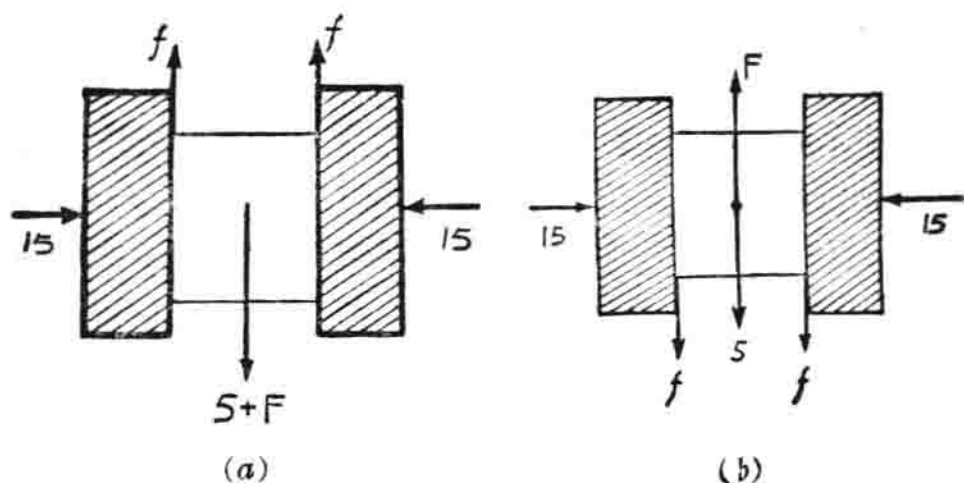


图 2

通常总以为“摩擦力的方向总是和物体运动方向相反”。实际上并不都是如此。例如下面的实验：在粗糙的桌面上放着一块板，板上又放着一个物体，板与物体间也存在摩擦力（图 3）。现在用力把板从物体中抽出来，这时，板上的物体或者有相对落后于板的趋势，或者跟板一起运动，但决不会超出板之前。所以物体给板以向后的摩擦力，板则给物体以向前的摩擦力。后者就不是与物体的运动方向相反，而是相同。

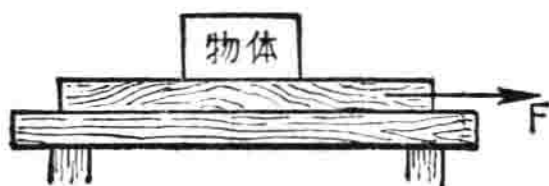


图 3

所以摩擦力的方向，应该理解为跟物体的相对运动方向（或者说滑动趋势）相反。上例中物体既有落后于板的趋势，板就给物体摩擦力不使它落后。

4. 惯性 第一运动定律的重要性，还在于它指出了任何物体都具有一种特性。这种特性首先表现在物体没有受到其他物

体作用时,保持运动状态不变这一事实上。我们把这种特性叫做惯性。所以,牛顿第一运动定律也叫做惯性定律。

其次,我们知道,在相同的作用力下,有的物体很容易改变它的运动状态,有的物体不容易改变。例如,两个大小一样的皮球和铅球,在同一条件下,皮球的运动状态容易改变,但铅球就比较不容易。因此,对于运动状态容易改变的物体,我们说它的惯性小,对于运动状态不容易改变的物体,我们说它的惯性大。量度物体惯性的方法,就是根据这个道理制定的。

物体惯性的表现,在日常生活中经常可以碰到。例如,电车售票员从行驶着的电车里跳下时,必须向电车行驶的方向跑几步。这是因为售票员在电车里,具有和电车相同的运动速度,刚跳下时,他本身有保持这个速度不变的惯性,所以脚着地后,还不能立刻把这个速度消除,如果他不向前跑几步,一定要跌倒。又如在公共汽车里,如果我们是面向汽车行驶方向坐着,当汽车突然煞车时,我们要向前倾,突然加快速度时,要向后倒,这也可以用惯性来说明。再如赛跑的人到达终点以后,不能立刻停住,还要向前跑几步;电风扇在断开电路后,还要继续转几下;汽车、电车、火车以及其他机器在发动机停止工作后,还要继续前进,或继续转几下。这些都是惯性的表现。电车司机在车辆到站前用关电余车法节省电力,也是利用惯性的实例。惯性是一切物体共有的属性,我们应该时时留心它。

(二) 牛顿第二运动定律

1. 质量 质量是力学里也是整个物理学里最基本的概念之一。牛顿首先以明确的形式构成了质量的概念,作为他的力学基础。按牛顿的意思,物体是由原子组成的;同类物体里所含的原子愈多,它的质量就愈大;原子排列得愈紧密,所包含的原

子数目就愈多，也就是物体的质量愈大。根据这个意见，我们通常把一个物体中所含物质的多少作为这个物体的质量。就是说，含有物质较多的物体，它的质量就较大；含有物质较少的物体，它的质量就较小。

从这样的质量概念出发，必然会得到一个结论，那就是物体的质量是不变的。它不象重量那样跟所在地的不同而变。因为物体的质量既由它所含物质的多少来决定，我们就没有理由说，这个物体在这个地方含的物质多，在另一个地方含的物质少。质量不变的另一个意义是说物体的质量跟物体的其他情况，如物体的运动速度等无关。事实上，在平常情况下，也确是如此。因此，在牛顿力学的系统里，我们都认为物体的质量是不变的。

按现代的观点看，这样的质量概念是有缺点的。第一，它把质量和物质两个概念混淆起来了，因此阻碍了我们对现代物理学中所发现的新现象的正确理解。第二，质量不是一个恒量，它跟物体的运动速度有密切的联系。这些，我们将在牛顿定律的应用一节里再谈。

最后我们要谈一谈质量和重量的关系。在重力、弹力、摩擦力一节里，我们曾提过质量和重量有密切联系，但实质上是两个完全不同的物理量。这是因为：第一，质量是表示物体内部含有物质多少的量，它是物体惯性的量度，是物体本身的属性；重量是由于地球的吸引使物体受到的力，是产生重力加速度的原因，是其他物体对它的作用。第二，物体的质量是一个恒量，把物体放在任何地方，它的质量总是不变的（牛顿观点）；物体的重量却不是一个恒量，同一物体在地球上各个地方的重量是不一样的。第三，物体的质量是一个标量，而重量是一个矢量，方向近乎指向地心。它们是以这样的公式联系着的，即

$$P = mg。$$

式中 P 是物体的重量, m 是质量, g 是重力加速度。

在地球上同一个地方, 各个物体的重力加速度相等。因此

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1}{m_2}。$$

式中 P_1 和 P_2 是两个物体的重量, m_1 和 m_2 是它们的质量。如果 $P_1 = P_2$, 则 $m_1 = m_2$ 。这就是我们所以利用天平来量度物体质量的道理。

在纬度 45° 的海平面上, 质量多少公斤的物体, 它的重量也是多少公斤。但在别的纬度上就不同了。例如, 一个物体在某一地方

$$P = mg,$$

在另一地方

$$P' = mg',$$

两式相除得

$$\frac{P}{P'} = \frac{g}{g'}。$$

这样, 根据各地测得的重力加速度, 就可以求出同一物体在各地的重量。例如, 在纬度 45° 的海平面上重量 1 公斤的物体, 在赤道是

$$\frac{P}{1} = \frac{978.05}{980.66}, \quad \therefore P = 0.99734 \text{ 公斤};$$

在两极是

$$\frac{P}{1} = \frac{983.24}{980.66}, \quad \therefore P = 1.0026 \text{ 公斤}。$$

因为在纬度 45° 的海平面上 $g = 980.66$ 厘米/秒², 在赤道 $g = 978.05$ 厘米/秒², 在两极 $g = 983.24$ 厘米/秒²。

由于相差很小, 所以一般计算时, 也可用质量多少公斤, 重量也是多少公斤。

2. 牛顿第二运动定律 第一运动定律告诉我们物体不受力的作用时的情形,也告诉我们力和惯性两个概念的意义。第二运动定律将告诉我们物体受到力的作用时的情形,并确立了力、质量和加速度三者之间的关系。所以第二运动定律是在第一运动定律的基础上的进一步的发展,跟第一运动定律一样,第二定律也是从许许多多事实中归纳出来的客观规律,并且已经在人类实践中获得了验证。让我们来做个实验,研究这定律的内容。

实验是这样的:在一块水平板上放一个较重较长的小车 T ,车上竖一杆,上连弹簧 D 。从滑轮 B 上跨过的那根绳子,一头拴在弹簧上,一头挂着砝码 G (图4)。弹簧伸长多少,决定于绳子的拉力。弹簧附有指针,正对指针的地方,在小车上竖一刻度的小尺。从指针所指的刻度,便知道弹簧的伸长数。应用虎克定律,可以知道小车所受的力 F (不用弹簧,直接把绳子拴在小车上也可。这样小车所受的力可以认为等于砝码 G 的重量,但不够正确)。

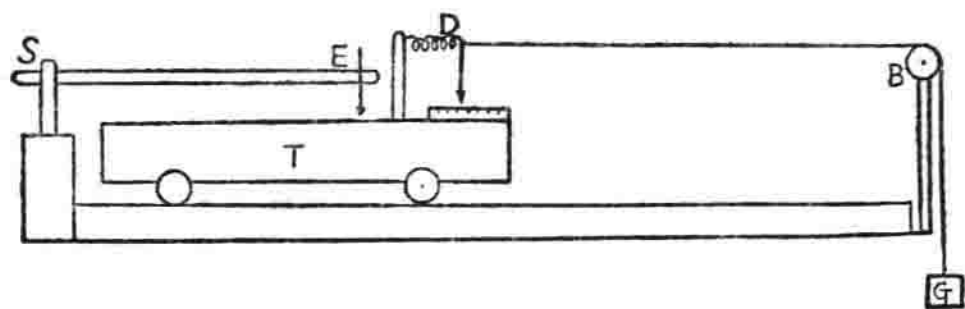


图 4

量度小车运动的时间是利用弹性很好的薄钢片 E 的性质:在相等时间内,它的振动次数相同。 E 的一头固定在支柱 S 上,另一头附一小针,正对着平放在小车上的玻璃板,并和板刚好接触。板上刷了一层均匀的白粉。这样,在小车的运动和钢片的振动同时发生时,小针就在玻璃板的白粉上划出了一条波状曲线