一、测量 2019年9月26日13点35分

**物理测量** 物理基于物理量的测量。某些物理量被选择为**基本量**（例如长度，时间和质量）；每个都已根据标准进行了定义，并指定了计量单位（例如米，秒和千克）。 其他物理量是根据基本量及其**标准**和**单位**定义的。

**国际单位** 本书强调的单位系统是国际单位制（SI）。表1-1中显示的三个物理量在前面的章节中使用。通过国际协议已经为这些基本数量建立了必须可访问且不变的标准。这些标准适用于所有物理测量，包括基本量和从基本量导出的物理量。科学符号和表1-2的前缀用于简化测量符号。

**表1-1 三种国际基本量单位**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 物理量 | 单位名称 | 单位符号 |
| 长度 | 米 | m |
| 时间 | 秒 | s |
| 质量 | 千克 | kg |

**单位转换** 可以通过使用链转换来执行单位的转换，其中原始数据连续乘以写入单位的转换因子，然后像代数一样操纵单位，直到仅保留所需单位。

**长度** 米的定义是光在指定的精确时间间隔内的行进距离. 其中光在真空的速度是, 一般用字母c表示. 一米就是光在真空中行进秒的长度.

**时间** 第二个是根据原子（铯133）源发出的光的振荡来定义的。在标准化实验室中，通过原子钟输入的无线电信号可以在全球范围内发送准确的时间信号。

**质量** 千克是根据巴黎附近的铂铱标准质量定义的。为了进行原子级的测量，通常使用以原子碳12定义的原子质量单位。

**密度** 物质的密度等于质量除以体积

二、直线运动 2019年9月26日13点35分

**位置** 粒子在轴上的位置相对于该轴的原点或零点定位粒子。该位置可以为正或负，具体取决于粒子在原点的哪一侧;如果在原点，则为0。轴上的正方向是正数递增的方向；相反的方向是轴上的负方向。

**位移** 粒子的位移是其位置的变化:

位移是矢量。如果粒子沿轴的正方向移动，则为正；如果粒子沿负轴的方向移动，则为负。

**平均速度** 当粒子在时间间隔内从位置移动到, 则它在这段时间的平均速度为

的代数符号表示移动的方向(是一个向量). 平均速度不依赖粒子移动的实际距离, 二十依赖于它的开始和结束位置.

**平均速率** 粒子在时间间隔的平均速率依赖于它在这段时间内移动的总距离:

**瞬时速度** 移动粒子的瞬时速度为：

其中和如公式2-2定义. 瞬时速度（在特定时间）可以作为x对t的曲线的斜率（在特定时间）。速率是瞬时速度的大小.

**平均加速度** 平均加速度是速度变化量与发生这一变化所用时间的比值, 是描述物体速度变化快慢的物理量，通常用a表示，单位是. 加速度是矢量，它的方向是物体速度变化（量）的方向，与合外力的方向相同。

代数符号代表的方向.

**瞬时加速度** 瞬时加速度是速度关于时间的一阶导数或位置关于时间的二阶导数, 即

**匀速度** 有关匀加速的5个常用公式:

当加速度不恒定时，这些无效。

三、向量

四、二维和三维空间中的运动 2019年10月10日11点42分

**位置向量** 粒子相对于坐标系统原点的位置被称为位置向量，用符号表示:

其中,和是位置向量的分量, ,和是标量. 一个位置向量要么由大小和一个或两个角度的方向描述，或者由它的向量或标量描述.

**位移** 如果一个粒子从位置向量移动到, 则该粒子的位移为

**平均速度和瞬时速度** 如果一个粒子再时间区间内经历一段位移, 则它在这段时间内的平均速度为

随着公式中逐渐趋于0, 达到极值时被称为速度或瞬时速度:

用单位向量符号表示为

其中, , . 一个粒子的瞬时速度总是朝着粒子路径的切向量方向.

**平均加速度和瞬时加速度** 如果一个粒子的速度在时间区间从变化到, 则它在的平均加速度为

随着公式中逐渐趋于0, 达到极值时被称为加速度或瞬时加速度:

用单位向量符号表示为

其中, ,.

**抛体运动** 抛体运动指的是粒子以初速度发射的运动. 在飞行期间, 粒子的水平加速度为0并且垂直加速度为自由落体加速度. 如果用速率大小和水平夹角表达, 则沿着水平x轴和垂直y轴的粒子运动公式为

抛体运动中粒子的轨迹（路径）是抛物, 由下列公式给出

如果公式4-21至4-25中和为0. 则粒子发射起点距离粒子运动后返回到与起点相同高度的水平距离R为

**匀速圆周运动** 如果一个粒子以固定速率沿着半径为r的圆或圆弧运动, 则被称为匀速圆周运动，并且加速的大小为

的方向朝着圆或者圆弧的中心, 并且被称为向心加速度. 粒子完成圆周运动的时间为

被称为运动周期，或简称周期.

**相对运动** 当两个参考点A和B以固定速度相对运动时, 粒子P的速度在A点的观察值通常与在B点的观察值不一致. 这两个测量值的关系为

其中是B相对于A的速度. 两个观察值有相同的加速度:

五、力和运动—Ⅰ2019年10月17日09点19分

**牛顿力学** 当物体受到其他物体的一个或多个力（推动或拉动）时, 物体的速度会发生变化（物体会加速）.牛顿力学将加速度和力联系起来.

**力** 力是矢量. 它们的大小由标准千克的加速度来定义. 将标准物体精确加速的力的大小定义为1N. 力的方向就是它引起加速度的方向. 力是根据矢量代数规则的组合. 物体上的净力是所有作用在物体上的力的矢量和.

**牛顿第一定律** 任何物体都要保持匀速直线运动或静止状态，直到外力迫使它改变运动状态为止.

**惯性参考系** 牛顿力学所成立的参考系称为惯性参考系或惯性系. 牛顿力学不成立的参考系称为非惯性参考系或非惯性系.

**质量** 物体的质量是该物体的特征, 该特征将物体的加速度与引起加速度的净力相关联. 质量是标量。

**牛顿第二定律** 作用在质量为的物体上的力与物体加速度的关系为

**受力图**是一个简化的图, 其中仅考虑一个物体, 该物体由草图或点表示. 画出作用在物体身上的外力, 并放置一个坐标系, 以简化求解.

**一些特殊的力** 作用在物体上的重力一般是由另一个物体施加的. 在大多数情况下，另一个物体是地球或者其它行星物体. 对于地球, 该力朝向地面，并假设地面是一个惯性系. 在这种假设下，的大小是

**法向力**是指物体从其所按压的表面向其施加的力, 法向力始终垂直于该表面.

**摩擦力**是当物体沿表面滑动或试图沿表面滑动时施加在物体上的力. 力始终平行于表面运动方向，以抵抗滑动. 在无摩擦的表面上，摩擦力可忽略不计.

**牛顿第三定律** 相互作用的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.

六、力和运动—Ⅱ 2019年10月24日09点40分

**摩擦力** 当一个力作用在物体试图沿表面滑动时,来自表面的摩擦力同时也作用在物体上.摩擦力平行于表面并朝着与物体滑动相反的方向.这是由于物体原子与表面原子之间的键合所致,这种现象称为冷焊.

如果该物体没有滑动，则摩擦力称为**静摩擦力**. 如果出现滑动，则称为**动摩擦力**.

1. 如果物体没有移动，静摩擦力的大小等于平行于表面的分量的大小，方向与分量方向相反.如果分量增加，同样也增加.
2. 的模存在极大值, 由公式

其中是**静摩擦系数**, 是正向力的大小. 如果平行于表面的分量超出, 则物体开 始在表面上滑动.

1. 如果物体开始在表面上滑动，则摩擦力的大小会迅速减小至恒定值,由下式给出

其中是**动摩擦系数**.

**阻力(Drag Force)** 当空气（或其它流体）和物体存在相对运动时, 物体遭受一个与相对运动相反，朝着相对于物体的流体流向方向的阻力.的大小与相对速率有关，并由**阻力系数**确定

其中是流体密度(质量每单位体积), 是物体的有效横截面积(垂直于相对速度的横截面的面积).

**最终速率** 当一个钝物在空气中下落足够远时，阻力的大小与作用在物体上的重力的大小相等. 此时物体以**最终速率**下坠

**匀速圆周运动** 如果一个粒子以固定速率沿着半径为r的圆或圆弧运动,则被称为**匀速圆周运动**, 其中**向心加速度**大小为

这个加速度是由于作用在粒子上的合**向心力**导致的，大小为

其中是粒子质量. 向量和都朝向粒子路径曲率的中心. 粒子做圆周运动仅当由合向心力作用在其身上.

七 动能和功

**动能** 动能与粒子的质量和速率有关，如果远小于光速, 则

**功** **功**是能量通过作用在物体上的力在物体之间的转换.转移到物体的能量称为正功, 从物体转移出的能量称为负功.

**恒定力做功** 作用在粒子上的恒定力通过位移上做的功为

其中是和之间的夹角. 只有当分量沿着位移才能对物体做功. 当多个力作用在一个物体上时, 它们的总功(net work)等于各个子力做功之和.

**功和动能** 对于粒子，变化的动能等于作用在粒子上的总功:

其中是粒子的初始动能,是做功之后的动能. 重新整理公式得到：

**重力做功** 由重力作用在质量为m的粒子上经过位移所做的功为

其中是和之间的夹角.

**上升和下降物体的做功** 在重力作用下，物体上升或下降的动能变化为

其中是施加合力做功.如果, 公式会简化为

**弹性力** 来自弹簧的弹性力为

其中是弹簧末端相距放松状态（既不压缩也不拉伸）的位移,称为弹簧常数(弹簧刚度的度量). 如果x轴沿着弹簧，原点位于弹簧放松状态时的自由末端，公式可被写为

弹性力是一个变化力：它随弹簧自由末端的位移而变化。

**弹力做功** 如果一个物体绑定到弹簧末端，物体在弹力作用下从初始位置移动到最终位置所做的功为

如果并且, 则公式变成

**变化力做功** 当力作用在依赖物体位置的粒子时，粒子从坐标为的初始位置移动到坐标为的最终位置时，力所做的功必须通过积分才能求得. 即

**功率** **功率**指的是单位时间(指定时间区间)内做功的多少. 如果力在时间区间内做功, 则平均功率为

瞬时功率是做功的顺势效率：

如果作用在物体上的力与物体瞬时速度的夹角为,瞬时功率为

八、势能和能量守恒 2019年10月31日10点02分

**守恒力** 在物理系统里，假若一个粒子，从起始点移动到终结点，由于受到作用力，且该作用力所做的功不因为路径的不同而改变，则称此力为保守力(Conservative Force)。等价地，如果力在两个点之间移动的粒子上所做的净功不取决于粒子所采用的路径，则该力是保守的。重力和弹簧力是保守力；动摩擦力是非保守力。

**势能(Potential Energy)** 势能是一种能量，与被作用在保守力的物理系统有关. 当保守力在该系统内对粒子做功, 则该系统势能的变化量为

如果一个粒子从点移动到点,该系统的势能变换为

**重力势能(Gravitational Potential Energy)** 与包含地球和近地粒子的系统有关势能被称为重力势能. 如果粒子从高度移动到点, 该系统重力势能的变化为

如果粒子的参考点设置为并且相应的系统重力势能设置为, 则粒子的重力势能在任意高度是

**弹性势能(Elastic Potential Energy)** 弹性势能与弹性物体的压缩或伸张状态有关. 当弹簧的自由末端位移为x,此时弹簧施加的弹力为 弹力势能为

**机械能(Mechanical Energy)** 一个系统的机械能等于其动能和势能之和.

独立系统指的是没有外力作用在该系统并导致能量变化. 如果独立系统仅受到保守力作用, 则该系统的机械能不会发生变化. 机械能守恒原理写为

守恒原则同样被写为

**势能曲线** 假设一个系统的势能函数是由一维力作用在粒子上得到的, 则为

如果是在图像上给出的, 则在x上任意一点，力是该处曲线斜率的负值, 并且粒子的动能为

其中是系统的机械能. 点x在粒子保留其运动的位置被称为拐点(在这里, K=0).当的斜率为0时粒子处于平衡状态.

**外力对系统做功(Work Done on a System by an External Force)** 当外力作用在系统时，做功W是转移到系统或从系统转移出的能量. 当由多个力作用在系统上，它们的合功等于转移的能量. 当不包好感摩擦力时, 对系统的做功和系统变化的机械能是相等的:

当动摩擦力作用在系统内部时，系统的热能会发生变化.(该能量与系统中原子和分子的随机运动有关.) 然后在系统上做功为

变化的与摩擦力大小和由外力导致的位移大小d有关：

**能量守恒** 一个系统的总能量只能通过系统能量的转入和转出改变. 这种实验事实被称为能量守恒. 如果对系统做功，则

如果系统是独立的(), 则

九、质心和线性动量 2019年11月7日09点39分

**质心** 由n个粒子组成的系统的质心定义为

或

其中是粒子系统的总质量, 和分别是第i个粒子的坐标和质量.

**牛顿第二定律用于粒子系统** 任何粒子系统质心的运动在牛顿第二定律下定义为

其中是作用在粒子系统上的合外力, 是粒子系统的总质量,是粒子系统的质心加速度.

线性动量(Linear Momentum)和牛顿第二定律 对于单个粒子, 我们定义动量称为该粒子的线性动量：

并且我们可以用动量表达牛顿第二定律

对于粒子系统这种关系变为

**碰撞和冲量** 对类似于粒子的物体在碰撞中应用牛顿第二定律动量会引导出冲量——线性动量理论:

其中是物理线性动量的变化值, 是物体在碰撞过程中由其它物体施加到自身的力导致的冲量:

如果是碰撞期间的平均大小,是碰撞持续时间, 则对于一维运动

当质量为m且速度为v的稳定物体流与位置固定的物体碰撞时，固定物体上的平均力为

其中是物体与固定物体碰撞的变化率, 是碰撞物体速度所发生的比那花. 因此平均力可另写为:

其中是质量与固定物体碰撞的变化率. 在公式和，如果物体冲撞后静止不动则; 如果物体向反方向弹射并且速度保持不变则.

**线性动量的保守(Conservation of Linear Momentum)** 如果一个系统是独立的，即没有合外力作用于它，那么该系统的线性动量是恒定的:

这同样可被写为

**一维非弹性碰撞** 在两个物体的非弹性碰撞中，两个物体系统的动能不守恒(不是常数). 如果系统是封闭且隔离的，则系统的总线性动量必须守恒(是常数)，我们可以将其写成向量形式

其中下标和分别表示碰撞前和碰撞后的动量状态.

如果物体在单个坐标轴上运动，则公式可以被写为

如果物体粘在一起，则碰撞是完全无弹性的碰撞，并且物体具有相同的最终速度(因为它们粘在一起).

**质心运动** 由两个碰撞体组成的封闭、隔离系统的质心不受碰撞的影响. 特别地，质心速度不能通过碰撞而改变.

**一维运动的弹性碰撞** 弹性碰撞是一种特殊的碰撞类型，其中碰撞物体系统的动能是守恒的. 如果系统是封闭和隔离的，则其线性动量也是守恒的. 对于以物体2为靶子而物体1为投射体的一维碰撞，动能守恒和线性动量守恒产生以下表示碰撞后的速度公式:

**二维碰撞** 如果两个物体碰撞并且它们的运动不是沿着单个轴（碰撞不是正面的），则碰撞是二维的。 如果两物体系统是封闭且孤立的，则动量守恒定律适用于碰撞，可以写为

在分量形式中，定律给出了两个描述碰撞的方程式. 如果碰撞也是弹性的（特殊情况），则碰撞过程中的动能守恒给出第三个方程：

十、旋转 2019年11月14日10点06分

**角位置** 为了描述刚体绕固定轴(称为旋转轴)的旋转，我们假设参考线固定在物体上，垂直于该轴并随主体旋转，我们测量这条线相对于固定方向的角位置. 以弧度表示时，

其中是半径为角度为的圆弧路径的弧长. 弧度量度与转数和角度量度的关系为：

**角位移** 物体绕轴旋转，角位置从变化到，这期间的角位移为

逆时针旋转时为正, 顺时针旋转时为负.

**角速度和速率** 如果一个物体在时间区间内的旋转位移是,则平均角速度

物体的瞬时角速度为

和均为向量,其方向由图10-6中的右手法则决定. 逆时针旋转时为正, 顺时针旋转时为负. 物体角速度的大小就是角速率.

**角加速度** 如果一个物体在时间区间内角速度从变化到.则该物体的平均角加速度为

物体的瞬时角加速度为

和均为向量.

**恒定角加速度的动力学公式** 恒定角加速度( =常数)是旋转运动的重要特殊情况. 表10-1中给出了相应的动力学公式:

**线性和角变量的关系(Linear and Angular Variable Related)** 旋转刚体上的一个点距离旋转轴的垂直距离为,以半径做圆周运动.如果物体绕轴旋转的角度为, 则这个点经过的弧长是

该点的先行速度是圆弧的切线；该点的线性速率是

其中是该物体的角速率,是标量.

该点的线性加速度同时拥有切线分量和径向分量.切线分量为

其中是角加速度的大小().的径向分量为

如果点是匀速圆周运动，则该点和物体的运动周期T为

**旋转动能与旋转惯性** 绕固定轴旋转的物体的动能为

其中是物体的旋转惯性, 对于离散粒子系统定义为

对于具有连续分布质量的物体定义为

这些公式中的和表示从旋转轴到物体中每个质量元素的垂直距离，并且积分在整个物体上进行，以包括每个质量元素.

**平行轴定理** 平行轴定理将物体绕任意轴的旋转惯性与相同物体绕通过质心关联:

其中是两个轴之间的垂直距离，并且是物体关于com轴的旋转惯性. 我么可以把理解为实际旋转轴与com轴之间的偏移.

**扭矩(Torque)** 扭矩是作用在物体上使物体绕旋转轴发生扭曲或转动的力.如果作用在距离旋转轴位移为的点上,则扭矩力的大小是

其中是垂直于的分量并且是和之间的夹角. 是旋转轴与通过向量的扩展线之间的垂直距离. 该扩展线被称为的作用线, 被称为的力矩臂(moment arm). 相似地,是的力矩臂.

扭矩的SI单位是牛顿米(). 如果扭矩倾向于使静止状态的物体逆时针旋转，则为正；如果倾向于使物体顺时针旋转，则为负.

**牛顿第二定律的角度形式** 牛顿第二定律的旋转类比为

其中是作用在粒子或刚性物体上的合扭矩力,是粒子或物体关于旋转轴的旋转惯性,是关于旋转轴的角加速度.

**功和旋转动能** 用于计算旋转运动中的功和功率的公对应平移运动的公式，它们是

并且

当是常量时,公式10-53退化为

用于旋转物体的功-动能定理的形式为

十一 滚动、扭矩和角动量 2019年11月21日11点35分

**滚动物体** 对于半径为R的轮子平稳滚动，

其中是轮子质心的线性速度,是轮子关于其中心的角速度. 还可将轮子视为围绕与其接触的“道路”的点P瞬时旋转. 轮子在此点的角速度与在中心的角速度相同. 轮子轮具有动能

其中是车轮绕其质心的旋转惯量，是车轮的质量. 如果车轮正在加速但仍在平稳地滚动，则质心加速度与围绕该中心的角加速度有关

如果车轮沿角度为的坡道向下平稳滚动，则其沿x轴向上延伸的加速度为

**扭矩向量** 在三维空间中, 扭矩定义为与固定点(通常为原点)有关的向量:

其中是作用在粒子上的力, 是粒子相对于固定点的位置向量. 的大小为

其中是与之间的夹角, 是垂直于的分量, 是力矩臂. 的方向由右手法则决定.

**粒子的角动量** 一个粒子线性动量为, 质量为, 线性速度为,则它的角动量定义为与固定点(通常为原点)有关的向量:

的大小是

其中是与之间的夹角, 和分别是和垂直于的分量,是固定点到(扩展线)之间的垂直距离. 的方向由叉乘的右手法则决定.

**牛顿第二定律的角形式** 对于粒子的牛顿第二定律可以被写成角形式

其中是作用在粒子上的合扭矩力, 是粒子的角动量.

**粒子系统的角动量** 粒子系统的角动量是单个粒子的角动量的向量和：

该角动量的时间变化率等于作用在系统上的净外部扭矩力（由于与系统外部粒子相互作用而产生的转矩的矢量和）：

**刚体的角动量** 对于绕固定轴旋转的刚体，其平行于旋转轴的角动量的分量为

**角动量守恒** 如果作用在系统上的净外部扭矩为零，则系统的角动量将保持恒定：

**陀螺旋进(Precession of a Gyroscope)** 旋转的陀螺仪可以以一定的速率绕垂直轴旋进

其中是陀螺质量，是力矩臂，是旋转惯量，是旋转速率.

十二、平衡和弹性 2019年11月28日09点55分

**静态平衡** 杠体处于静态状态被称为静态平衡.对于这样的物体，作用在其上的外力的矢量和为零：

如果所有力都位于xy平面上，则此向量方程等效于两个分量方程：

静态平衡还意味着作用在物体上任何一点的外部扭矩的矢量和为零，或者

如果力位于xy平面上，则所有转矩矢量都平行于z轴，且公式(12-5)等效于单分量方程

**重心** 重力作用在物体每一个单独的元素上. 重力作用在重心的效果等于单独作用力的合效果.如果重力加速度对物体的所有元素是相同的.则重心位于质心.

弹性模量(Elastic Moduli) 三种弹性模量用于描述物体响应作用在其上的力时的弹性行为（变形）。根据一般关系，应变（长度的分数变化）通过适当的模量与施加的应力（每单位面积的力）呈线性相关.

**张力和压缩(Tension and Compression)** 当物体处于拉伸或压缩状态时,公式12-22写为

其中是物体是拉应力或压应力,是产生应力的大小是(垂直于)的作用横截面积,并且是物体的杨氏模量.应力为.

**剪切力(Shearing)** 当物体承受剪切应力时， 12-22被写成

其中是物体的剪切应力,是物体在作用下末端的位移(如图12-11b所示),并且是物体剪切模量(shear modulus). 应力为.

**水力应力** 当物体由于周围流体施加的应力而受到水压时,公式12-22被写成

其中是由于流体作用在物体上的压力(水力压力),(应变)是物体在该压力下体积变化的绝对值，是物体的体积模量.

十三 重力 2019年12月5日09点43分

**重力定律** 宇宙中的任何粒子都会以引力吸引其他粒子，其大小为

其中和是粒子的质量,是它们之间的分离,是重力常量.

**均匀球壳的引力行为** 物体之间的重力是通过将作用在物体内部单独粒子上的作用力累加(积分)而得到的.但是，如果物体中任意一个是均匀的球型壳体或球形对称实体,则施加在该物体上的合重力可以通过所有质量集中在质心一点上计算.

引力遵循叠加原理.也就是说，如果个粒子相互作用，则(标记为)粒子1所受到的合力等于其它粒子对该粒子的引力之和:

从额外物体对粒子产生的重力可以通过将物体分割成微分质量单位,其中每一个产生作用在粒子上的微分力，然后将它们积分得到:

**重力加速度** 质量为的粒子的重力加速度仅归因于作用在其上的重力.当粒子与质量为的均匀球形物体中心的距离为时，作用在粒子上的重力的大小由公式13-1给出.因此，根据牛顿第二定律

则

**自由落体加速度和重量** 由于地球的质量分布不均匀,行星不是完美的球形,并且由于自转,所以粒子的实际自由落体加速度在地球表面与重力加速度略有不同,并且粒子的重量（等于mg）也不同于重力加速度.

**球壳内的引力** 均匀的物质壳不会对位于其内部的粒子施加任何净重力。这意味着，如果粒子位于距其中心距离的均匀固体球内部，则施加在粒子上的重力仅归因于位于半径为的球体（内部球体）内的质量. 重力大小为

其中是球体的质量，是它的半径.

**重力势能** 假设一个系统存在两个粒子，质量分别为和,在相互重力作用下之间的距离从无穷远到,此时该系统的重力势能为负，等于相互重力做功.能量大小为

**系统势能** 如果系统包含两个以上的粒子，则其总重力势能等于所有粒子对势能之和.例如，对于质量为和的三个粒子,

**逃逸速度** 如果物体在物体表面附近的速度大于等于逃逸速度,则该物体将逃脱质量为且半径为的天文物体的引力（即，它将达到无限距离）.逃逸速度为

**开普勒定律** 星体运动，无论是自然的还是人造的，都受以下定律约束：

轨道定律 所有行星都在以太阳为其中一个焦点的椭圆轨道上运动.

面积定律 将任何行星连接到太阳的直线以相等的时间间隔扫出相等的区域。（此陈述等效于角动量守恒。）

周期定律 任何行星的周期T的平方均与其轨道的半长轴的立方成正比.对于半径为的圆形轨道,

其中是吸引物体的质量——这里指太阳.对于椭圆形行星轨道，用半长轴代替.

**行星运动中的能量** 当质量为的行星或卫星沿半径为的圆形轨道运动时,其势能和动能由下式给出:

机械能,则

对于半长轴的椭圆轨道，

**爱因斯坦的引力观** 爱因斯坦指出，重力和加速度是等效的.这种等效原理引导了引力理论(相对论的一般理论),该理论用空间曲率解释了引力效应.

十四 流体 2020年1月9日09点53分

密度 任何材质的密度定义为材料质量每单位体积:

通常,当材料样本比原子尺寸大得多时,我们可以将公式写为

流体压强 流体是可以流动的物质.它符合容器的边界,因为它不能承受剪切应力.但是,它可以施加垂直于其表面的力.该力用**压强**描述:

其中是作用在面积的表面元素上的力.如果力均匀的分布在平坦的面积上,则方程14-3可写为

在流体的特定点处由流体压强产生的力在所有方向上都具有相同的大小.**表压[Gauge pressure]**是某一点的实际压强(或绝对压强)与大气压之间的差.

压强随高度和深度的变化 静止流体中的压力随垂直位置变化.对于,向上测量为正

对于同一水平上的所有点,流体中的压力都相同.如果是低于某个参考水平(压力为)的流体样品的深度,则样品中的压力为

帕斯卡原理 施加到封闭流体上的压力变化不会减弱地传递到流体的每个部分以及容纳容器的壁上.

阿基米德原理 当身体完全或部分浸没在流体中时,来自周围流体的浮力作用在物体上.该力指向上方,其大小为

其中是被物体排出的流体(即已被物体推开的流体)的质量.

当物体漂浮在流体中时,物体受到的(向上)浮力大小等于物体受到的(向下)重力大小. 浮力作用在物体的表观重量与其实际重量有关

理想流体流 **理想流体[ideal fluid]**是不可压缩的且缺乏粘度,并且其流动稳定且无旋转.流线是单个流体粒子所遵循的路径,流管是一束流线,任何流管中的流都遵循**连续性方程[equation of continuity]**:

其中是**体积流量[volume flow rate]**,是流量管在任何点的横截面积,是该点处的流体速度,**质量流量[mass flow rate]**是

伯努利方程 运用机械能守恒的原理,一个理想的流体导致伯努利沿流的任何流管:

第十五章 振荡[Oscillations] 2020年1月16日11点00分

**频率** 周期性或振荡运动的频率是每秒振荡的次数.在SI系统中,以赫兹为单位进行度量:

周期 周期是一个完整的振荡所需的时间.与频率有关

**简谐运动[Simple Harmonic Motion]** 在简谐运动(SHM)中,粒子从其平衡位置的位移由以下方程式描述

其中是位移的**振幅[amplitude]**,是运动的**相[phase]**,是**相常量[phase constant]**.**角频率[angular frequency]**与运动的周期和频率有关

对方程 15-3取微分导出粒子随时间变化的简谐速度和加速度方程式:

在等式15-6中,正量是运动的速度幅度.在等式15-7中,正量是运动的加速度幅度.

**线性振荡器[The Linear Oscillator]** 质量为的粒子在给定的胡克定律恢复力的影响下运动时,表现出简谐运动.且

这样的系统被称为**线性简谐振荡器[linear simple harmonic oscillator]**.

**能量** 假如一个粒子做简谐运动,则在任意时间,动能且势能.如果不存在摩擦,则即使和变化,机械能也保持恒定.

**摆钟** 经受简谐运动的设备的示例是图15-9的**扭转摆[torsion pendulum]**,图15-11的**简单摆[simple pendulum]**和图15-12的**物理摆[physical pendulum]**.小振荡的振荡周期分别为

简谐运动和均匀圆周运动 简谐运动是将均匀圆周运动投影到发生圆周运动的圆的直径上.图15-15显示，圆周运动的所有参数(位置,速度和加速度)都投影为对应的简谐运动值.

**阻尼简谐运动** 实际振荡系统中的机械能在振荡期间会降低,这是因为外力(例如拖曳力)会抑制振荡并将机械能转换为热能.然后,真实的振荡器及其运动会被**阻尼[damped]**.如果**阻尼力[damping force]**由给出,其中是振荡器的速度,是**阻尼常数[damping constant]**,则振荡器的位移由下式给出:

其中是阻尼振荡器的角频率,由下式给出

如果阻尼常数很小(),则,其中是无阻尼振荡器的角频率.对于小,振荡器的机械能为

**强迫振荡与共振[Forced Oscillations and Resonance]** 如果角频率为的外部驱动力作用于自然角频率为的振荡系统,则该系统将以角频率振荡.当

该系统的速度振幅达到最大.公式被称为**共振**.该系统的振幅在相同条件下达到最大.

第十六章 波(1) 2020年2月12日14点30分

横向波和纵向波[Transverse and Longitudinal Waves] 机械波只能存在于物质介质中,并受牛顿定律的约束.横向机械波(如拉伸弦上的机械波),其中介质的粒子垂直于波的行进方向振荡.介质粒子平行于波的行进方向振荡的波是纵波.

正弦波[Sinusoidal Waves] 沿轴正方向移动的正弦波具有数学形式

其中是波的**振幅[amplitude]**,为**角波数[angular wave number]**,是**角频率[angular frequency]**,并且是相[相].**波长[wavelength]**与的关系为

波的**周期[period]**和**频率[frequency]**与相关

最后,波速与其它参数的关系

行波方程[Equation of a Traveling Wave] 任何函数形如

可以由公式给出的波速和数学形式给出的波形来表示行波.正号表示波沿正轴行进,负号表示波沿负轴行进.

拉伸弦上的波速[Wave Speed on Stretched String] 拉伸弦上的波度由弦的属性决定.张力为且线密度为的弦上的速度为

功率 拉伸弦上正弦波的平均功率或能量传输的平均速率为

波浪叠加[Superposition of Waves] 当两个或更多个波穿过相同的介质时,介质中任何粒子的位移都是各个波将赋予它的位移之和.

波的干涉[Interference of Waves] 同一弦上的两个正弦波会产生干涉,根据叠加原理会相加或相消.如果两者沿相同方向传播,并且具有相同的振幅和频率(因此具有相同的波长),但相位相差一个相位常数,则结果是具有相同频率的单波:

如果,则这些波正好同相,并且它们的干扰是完全相长的;如果,则它们完全异相并且其干扰是完全破坏性的.

相量[Phasors] 可以用相量表示波.这是一个大小等于波振幅的矢量，它绕原点旋转，其角速度等于波的角频率。旋转相量在垂直轴上的投影给出单个点沿波传播的位移.

驻波[Standing Waves] 沿相反方向移动的两个相同正弦波的干涉会产生驻波.对于端点固定的弦,驻波为

驻波的特征是零位移的固定位置称为节点[nodes],最大位移的固定位置称为波腹[antinodes].

共振[Resonance] 可以通过反射来自弦末端的行波来建立弦上的驻波.如果一端固定,则它必须是节点的位置.这限制了在给定弦上将出现驻波的频率.每个可能频率是谐振频率[resonant frequency],并且相应的驻波模式是振荡模式[oscillation mode].对于两端固定的长度为的拉伸弦,谐振频率为

对应于的振荡模式称为基本模式或一次谐波.对应的模式为二次谐波,等等.

第十七章 波(2) 2020年2月12日16点20分

声波 声波是纵向机械波,可以通过固体,液体或气体传播.在具有体积模量和密度的介质中,声波的速度为

在的空气中,声速为.

声波导致质量元素在介质中的纵向位移为

其中,是从平衡开始的位移幅度[displacement amplitude](最大位移),和是声波的波长和频率.该波还会引起从平衡压力处产生的压力变化:

其中压力幅度[pressure amplitude]为

干扰 穿过同一点的具有相同波长的两个声波的干扰取决于它们的相位差.如果声波同相发射并沿大致相同的方向传播,则为

其中是它们的路径长度差[path length difference](波到达共同点的距离之差).当为的整数倍时,会发生完全相长干扰,

等效地,与波长的关系为

当是的奇数倍时会发生完全破坏性干扰,

等效地,与波长的关系为

声音密度[Sound Intensity] 表面声波的**强度[intensity]**是单位面积上能量通过声波传递通过表面或传递到表面上的平均速率:

其中是声波能量传递的时间速率(功率),是声波拦截表面的面.强度与声波的位移幅度的关系为

距发出声功率的声源的距离为的强度为

分贝的声级[Sound Level in Decibels] 以分贝(dB)为单位的声级定义为

其中是与所有强度进行比较的参考强度水平.强度每增加10倍,声音水平就会增加.

管道中的驻波图[Standing Wave Patterns in Pipes] 管道能产生驻波波形.两端开口的管道会在以下频率产生共振

其中是管道空气中的声速.对于一端封闭而另一端开放的管道,其共振频率为

节拍[beats] 当同时检测到两个频率略微不同的和的波时,就会产生节拍.

多普勒效应[The Doppler Effect] 多普勒效应是当源或检测器相对于传输介质(例如空气)移动时,观察到的波的频率变化.对于声音,观察到的频率由源频率给出:

其中是检测器相对于介质的速度,是源的速度是介质中的声音速度.选择这些符号,使得趋向于朝运动方向增大而f趋向于朝远离运动方向减小.

激光波[Shock Wave] 如果源相对于介质的速度超过了介质中的声音速度,则多普勒方程不再适用.在这种情况下,会产生激光波.马赫锥的半角为

第十八章 温度,热和热力学第一定律 2020年2月20日09点42分

温度;温度计 温度是与我们的冷热感有关的SI基准量.用温度计进行测量,该温度计包含具有可测量属性(例如长度或压力)的工作物质,该物质会随着温度的升高或降低而有规律地变化.

热力学零定律 当温度计和其它物体相互接触时,它们最终达到热平衡,然后将温度计的读数作为另一个物体的温度.由于热力学的第零定律,该过程提供了一致且有用的温度测量值:如果A体和B体与第三个C体（温度计）处于热平衡状态,则A和B彼此处于热平衡状态.

开氏温标[The Kelvin Temperature Scale] 在SI系统中,温度以开尔文标度进行测量,该温度基于水的三相点(273.16 K).然后,通过使用恒定体积的气体温度计定义其它温度,其中气体样本保持恒定体积,因此其压力与温度成正比.我们将气体温度计测量的温度定义为

这里的以开尔文为单位,和分别是273.16 K和测量温度下的气体压强.

摄氏和华氏刻度 摄氏温度标度定义为

华氏温度标度定义为,

热膨胀 所有物体都会随着温度的变化而变化.对于温度变化,任何线性尺寸的变化都由下式给出:

其中是线性膨胀系数[coefficient of linear expansion].固体或液体体积的变化为

是材料的体积膨胀系数.

热 热量Q是由于系统与环境之间的温差而传递的能量.可以以焦耳(J),卡路里(cal),千卡(cal或kcal)或英制热量单位(Btu)进行测量,

热容和比热[Heat Capacity and Specific Head] 如果热量被物体吸收,则物体的温度变化与Q有关,即

其中是物体的热容.如果物体具有质量m,则

其中是构成对象的材料的比热.材料的摩尔比热是每摩尔的热容量,即每个元素基本单位.

热传递[Heat of Transformation] 物质可以三种常见状态存在:固体,液体和气体.材料吸收的热量可能会改变材料的物理状态,例如,从固体变为液体,或者从液体变为气体.每单位质量的特定材料改变其状态(但不改变温度)所需的能量就是热传递.因此,

汽化热是每单位质量必须添加的能量,以使液体汽化或必须除去以冷凝气体.熔化热是必须添加以熔化固体或必须去除以冻结液体的每单位质量的能量.

与体积变化相关的工作 气体可以通过工作与周围环境进行能量交换.气体从初始体积膨胀到最终体积时所完成的功的量为

积分是必要的,因为在体积变化期间压强可能会变化.

热力学第一定律 热力学第一定律表达了热力学过程的能量守恒原理,该定律可以采用以下两种形式中的任一种

或

代表材料的内部能量,仅取决于材料的状态(温度,压力和体积).表示系统及其周围环境之间以热交换的能量;如果系统吸收热量,为正;如果系统释放热量,为负.是系统完成的做功;如果系统抵抗来自周围环境的外力膨胀,则为正;如果系统由于外力收缩,则为负.和取决于路径;与路径无关.

第一定律的应用 热力学第一定律在几种特殊情况下得到应用:

绝热过程[adiabatic processes]:

常体积过程[constant-volume processes]:

循环过程[cyclical processes]:

自由爆炸[free expansions]:

传导,对流和辐射 能量从物体温度较高的一侧传递到温度较低的一侧的速率为

此处,物体的每个面的面积均为,平板的长度(面之间的距离)为为材料的热导率.

当温度差通过流体内的运动引起能量转移时,就会发生对流.

辐射是通过电磁能的发射而进行的能量转移.物体通过热辐射发射能量的速率为

其中是Stefan-Boltzmann常数,是物体表面的发射率,是物体的表面积,是物体的表面温度(以开尔文为单位).在均匀温度(开氏温度)下,物体通过其周围环境通过热辐射吸收能量的速率为

第十九章 气体动力学理论 2020年2月27日09点16分

气体动力学理论 气体动力学理论将气体的宏观特性(例如,压强和温度)与气体分子的微观特性(例如,速度和动能)联系起来.

阿伏伽德罗数[Avogadro’s Number] 一摩尔物质包含(阿伏伽德罗数)个元素单位(通常是原子或分子),而在实验中发现是

任何物质的一摩尔质量是一摩尔物质的质量.它与物质单个分子的质量有关

由个分子组成的质量样品中包含的摩尔数为

理想气体 理想气体的压强,体积,和温度满足下列关系

这里,是存在的气体的摩尔数,是气体常数().理想气体定律也可以写成

其中**玻尔兹曼常数[Boltzmann constant]**为

等温体积变化的做功 在等温(恒温)从体积到体积的过程中,理想气体所做的功为

压强,温度和分子速度 摩尔理想气体所施加的压强与分子速度的关系为

其中是气体分子的均方根速度[root-mean-square speed].从公式得到

温度和动能 理想气体每分子的平均平移动能为

平均自由程 气体分子的平均自由程是其在碰撞之间的平均路径长度,由下式给出

其中是每单位体积的分子数,是分子直径.

麦克斯韦速度分布 麦克斯韦速度分布是一个函数,使得给出分子在速度,速度区间时的分布:

气体分子之间速度分布的三种测量方法是

以及上面等式19-22定义的均方根速度.

摩尔比热 恒定体积下的气体的摩尔比热定义为

其中作为热量是与摩尔气体样本传入或传出的能量,是气体的温度变化结果,是气体内部能量的变化结果.对于理想的单原子气体,

恒定压强下气体的摩尔比热定义为

其中和如上定义.还可以定义为

对于摩尔的理想气体,

如果摩尔的受限理想气体由于某个过程而经历温度变化,则该气体的内能变化为

自由度和 能量定理的等分式指出,分子的每个自由度具有能量每分子(每摩尔).如果是自由度数,则以及

对于单原子气体(三个平移度);对于双原子气体(三个平移度和两个旋转度).

绝热过程 当理想气体发生绝热体积变化(的变化)时,

其中是气体的摩尔比热之比.对于自由扩展,为常数.

第二十章 熵和热力学第二定律 2020年3月5日09点37分

单向过程 不可逆过程是指不能通过环境的微小变化而逆转的过程.不可逆过程的前进方向由经历该过程的系统的熵变化来设定.熵是系统的状态属性(或状态函数).也就是说,它仅取决于系统的状态,而不取决于系统达到该状态的方式.熵假设声明(部分):如果密闭系统中发生不可逆过程,则系统的熵总是增加.

计算熵变 将系统从初始状态转换为最终状态的不可逆过程的熵变化等于将系统从相同状态转变为两个状态的任何可逆过程的熵变化.后者(但不是前者)可通过下列方式计算

这里,是在过程中作为热量传递到系统或从系统传出的能量,是过程中系统的温度,以开尔文为单位.

对于可逆的等温过程,等式20-1简化为

当系统的温度变化相对于处理前后的温度(以开尔文为单位)较小时,熵的变化可以近似为

是系统在此过程中的平均温度.

当理想气体从温度和体积的初始状态可逆地变化到温度和体积的最终状态时,气体的熵的变化为

热力学第二定律 该定律是熵假设的扩展,它指出:如果过程在封闭系统中发生,则对于不可逆过程,系统的熵增加,而对于可逆过程,系统的熵保持恒定.它永远不会减少.在方程式中

引擎 引擎是一种循环运行的设备,它从高温储罐中提取能量作为热量并进行一定量的做功.任意引擎的效率定义为

在理想的引擎中,所有过程都是可逆的,并且不会因例如摩擦和湍流而产生浪费的能量转移.**卡诺引擎[Carnot engine]**是遵循图20-9的理想发动机,其效率为

其中和分别是高温和低温储层的温度.实际引擎的效率始终低于方程式给出的效率.不是卡诺引擎的理想发动机的效率也较低.

理想引擎是一种假想的引擎,其从高温储罐中吸收的热量完全转化为功。这样的引擎将违反热力学的第二定律，该定律可以重述如下:不可能进行一系列过程,其唯一的结果是从储热器吸收能量作为热量并将该能量完全转换为功.

电冰箱 冰箱是一种循环运行的设备,由于它从低温储罐中提取能量作为热量,因此对冰箱进行做功.冰箱的性能系数定义为

卡诺冰箱是反向运转的卡诺引擎.

对于卡诺冰箱,等式成为

理想的冰箱是一种假想的冰箱,其中从低温储罐中吸收的热量完全转化为热量,释放到高温储罐中,而无需进行任何做功.这样的冰箱将违反热力学的第二定律,该定律可以重述如下:不可能进行一系列过程,其唯一的结果就是将能量作为热量从给定温度下的储罐传递到更高温度下的储罐.

从统计角度看熵 系统的熵可以根据其分子的可能分布来定义.对于相同的分子,分子的每个可能的分布都称为系统的微状态,所有等效的微状态都分组为系统的构型,构型中微状态的数量是该构型的多重性.

对于可能分布在盒子的两半之间的个分子的系统,多重性由下式给出:

其中是盒子一半的分子数,是另一半的分子数.统计力学的基本假设是所有微状态都是同等概率的.因此,具有大多样性的配置最经常出现.

系统配置的多重性和该配置下的系统的熵与玻耳兹曼的熵方程有关:

其中是玻尔兹曼常数.

第二十一章 库仑定律 2020年3月12日09点36分

**电荷[Electric Charge]** 粒子与周围物体发生电相互作用的强度取决于其电荷(通常表示为),电荷可以为正也可以为负.电荷符号相同的粒子彼此排斥,而电荷符号相异的粒子彼此吸引.具有两种相等电荷量的物体是电中性的,而具有不平衡电荷的物体带电并具有过量的电荷.

**导体**是具有大量电子自由移动的材质.**非导体**(绝缘体)中的带电粒子不能自由移动.

**电流[electric current]**是电荷通过一个点的速率:

库仑定律 库仑定律描述了两个带电粒子之间的静电力(或电场力).如果粒子的电荷分别为和,相隔距离,并且彼此相对静止(或仅缓慢移动),则作用于彼此的力的大小可表示为

其中是介电常数[permittivity constant].比率经常被替换为静电常数[electrostatic constant](或库仑常数).

由于第二个带电粒子作用在带电粒子上的静电力矢量直接朝向第二个粒子(相反的电荷迹象)或直接远离第二个粒子(相同的电荷迹象).与其它类型的力一样,如果是多个静电力作用在粒子上,净力是单个力的矢量和(不是标量和).

静电学的两种壳理论是

壳外部的带电粒子在表面均匀分布的电荷被吸引或排斥,就像壳的电荷集中在其中心一样.

壳内部带电粒子的电荷均匀分布在其表面上,由于壳的作用,没有净力作用在壳上.

导电球形壳上的电荷均匀分布在(外部)表面上

**基本电荷** 电荷被量化(限制为某些值).粒子的电荷可以写为,其中是正整数或负整数,是基本电荷,等于电子和质子的电荷量(约为).

**电荷守恒** 任何独立系统的净电荷始终是守恒的.

第二十二章 电场 2020年3月19日10点15分

电场 为了解释两个电荷之间的静电力,我们假设每个电荷在其周围的空间中建立一个电场.然后,作用在每个电荷上的力归因于另一个电荷在其位置建立的电场.

电场的定义 在任何点上的电场都是根据将施加在此处的正测试电荷上施加的静电力来定义的:

电场线 电场线提供了一种可视化电场方向和强度的方法,任何点的电场矢量都与通过该点的电场线相切.任何区域中的场线密度与该区域中的电场强度成正比.磁力线始于正电荷,终止于负电荷.

点电荷引起的场 由点电荷在距电荷的距离处建立的电场强度为:

如果电荷为正,则方向远离点电荷,如果电荷为负,则朝向点电荷.

电偶极子引起的电场 一个电偶极子由两个粒子组成,它们的电荷等价于,但符号相反,相距一小段距离.它们的电偶极矩的大小为,从负电荷指向正电荷.由偶极子在偶极子轴上的一个远点(穿过两个电荷)建立的电场强度为

其中是点与偶极子中心之间的距离.

连续电荷分布引起的电场 通过将电荷元素视为点电荷,然后通过积分求和所有电荷元素产生的电场矢量以求出净矢量,可以找到由于连续电荷分布而产生的电场.

充电磁盘导致的电场 通过均匀充电的圆盘在中心轴上的一点处的电场强度为

其中是沿磁盘到磁盘中心的距离,是磁盘半径,是表面电荷密度.

作用在点电荷上的力 当点电荷置于外部电场中时,作用于点电荷的静电力为

如果为正,力方向相同,如果为负,力的方向相反.

电场中的偶极子 当偶极矩的电偶极子置于电场时,该电场会在偶极子上施加转矩:

偶极子具有与磁场方向相关的势能:

当垂直于时,该势能被定义为零.当与对齐时是最小(),当与相反时是最大().

第二十三章 高斯定律 2020年4月16日09点36分

高斯定律和库仑定律是描述静态情况下电荷与电场之间关系的不同方法.高斯定律是

其中是虚像闭合表面(高斯表面)内的净电荷,是通过该表面的电场的净通量:

库仑定律可以源自高斯定律.

高斯定律的应用 使用高斯定律以及某些情况下的对称性论证,我们可以得出静电情况下的一些重要结果.其中包括:

1.孤立导体上的多余电荷完全位于导体的外表面.

2.带电导体表面附近的外部电场垂直于该表面,其大小取决于表面电荷密度:

在导体内部时,.

3.具有均匀线性电荷密度的无限长电荷线引起的电场在任意点处垂直于电荷线并且大小

其中是从电荷线到点的垂直距离.

4.具有无限均匀表面电荷密度的不导电薄片所产生的电场垂直于薄片的平面并具有幅度

5.半径为且总电荷为的电荷的球形壳外部的电场被径向引导并具有幅度

在此,是从壳的中心到测量E的点的距离.(对于外部点,电荷的行为就好像它们都位于球体的中心.)均匀的球形电荷壳内部的场恰好为零:

6.均匀电荷球内部的电场被径向引导并具有大小

第二十四章 电位 2020年4月16日10点39分

电位 带电物体的电场中点的电位为

如果它从无限远处带到P,那么带正电的电荷所要完成的功就是,而是存储在测试电荷-对象系统中的势能.

电势能 如果将带电荷的粒子置于电位为的带电物体的点上,则粒子-物体系统的势能为

如果粒子移动通过电势差,则势能的变化为

机械能 如果粒子在没有施加作用力的情况下通过电势变化进行移动,则施加机械能守恒将使动能的变化为

相反,如果施加的力作用在粒子上,做功为,则动能的变化为

在特殊情况,作用力所作的功仅涉及粒子通过电势差的运动:

等势面 等电位面上的点都具有相同电位.将其从一个这样的表面移动到另一个表面时对测试电荷进行的工作与这些表面上的初始点和最终点的位置以及连接这些点的路径无关.电场始终垂直于相应的等势面.

从中找到 两点和之间的电势差为

积分在连接点的任何路径上进行.如果在任何特定路径上积分都很困难,我们可以选择一条更容易积分的路径.如果选择,则对于特定点的电位,

在大小为E的均匀场的特殊情况下,以距离隔开的两条相邻(平行)等势线之间的电势变化为

带电粒子的电势 单个带电粒子在距该粒子的距离处产生的电势为

其中与具有相同的符号.由于带电粒子的聚集而产生的电势为

电偶极子的电位 在距离偶极矩大小为的偶极子的距离处,偶极子的电势为

当时成立;角度由公式(24-13)定义.

连续电荷分布的电位 对于电荷的连续分配,等式(24-27)变成

其中积分取自整个分布.

从V计算 在任何方向上的分量都是电位在该方向上随距离变化的速率的负值:

的和分量可以从下列获得

当是均匀时,公式(24-40)简化为

其中垂直于等势面.

带电粒子系统的电势能 带电粒子系统的势能等于组装该系统时所需的功,其中粒子最初处于静止状态且彼此无限远.对于间隔为的两个粒子,

带电导体的电位 在平衡状态下,放置在导体上的多余电荷将完全位于导体的外表面上,电荷会自行分布,从而发生以下情况:(1)整个导体(包括内部点)都位于均势[uniform potential].(2)在每个内部点,由电荷引起的电场会抵消本来应该存在的外部电场.(3)表面上每个点的净电场都垂直于表面.