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.