

能量转换三角

刘正荣

ZJL@CS.Stanford.EDU

此内容由人工智能(AI)辅助翻译, 若未达意, 请查阅[原文](#)

前言

能量通常以三种基本形式存在: 动能、势能和辐射能, 统称为**动态能**。运动中的物体具有动能; 势能则存在于受库仑力或引力等作用的相互作用体之间。当物体加速并引起其相关力场变化时, 产生的扰动会以辐射能的形式释放出来, 例如光和引力波等现象。

在宏观层面, 能量的传递通过辐射、传导和对流实现。但在微观尺度下, 这些过程的机制是什么呢? 量子系统的一个显著特征是其固有的随机性, 这通常被认为是量子粒子的内在属性。然而, 这又引出了一个更深层的问题: 单个粒子最初是如何获得与随机运动相关的动能的?

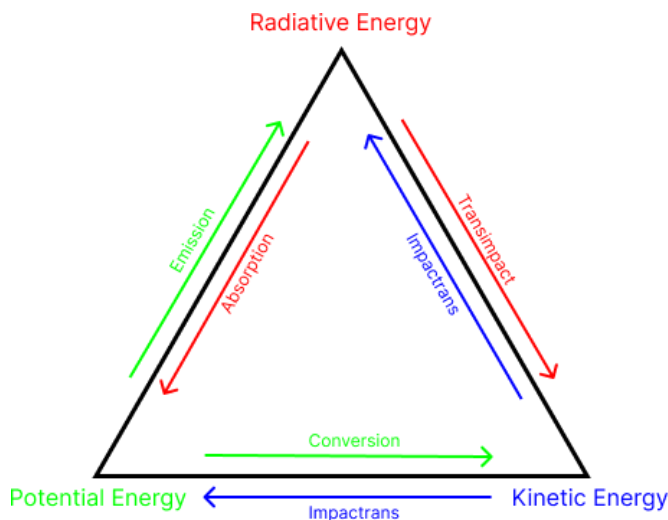


图1: 能量转换三角。能量的每一种形式沿三角的相邻边通过箭头所示的机制相互转换。

本文通过研究能量在三种基本形式——辐射能、势能和动能——之间的转换来探讨这些根本性问题。这些能量转换途径共同构成了**能量转换三角**的各个组成部分, 如图1所示。这些过程代表了驱动系统向能量平衡演化的底层机制。

从辐射能到势能

当波在水体表面传播时, 它携带并传递能量。当波经过漂浮物体时, 该物体会吸收部分能量, 并随波上下振动。类似地, 电磁波(如光)也携带能量。当电磁波遇到电子时, 电子会受到波动电场的驱动, 吸收波的一部分能量。吸收辐射能量后, 电子会被激发到更高的轨道, 这一过程称为**原子电子跃迁**, 吸收的能量以轨道电子的势能形式储存, 如图1中**(Absorption)**吸收路径所示。

势能也可以储存在原子之间的化学键或分子间的键中，当能量被吸收时，这些键就像弹簧一样储存势能。值得注意的是，化学键通常比轨道电子具有更大的势能储存能力，因为原子或分子的质量通常比电子大三个数量级以上。

粒子随机运动的动能起源

库仑引力通常发生在相邻的原子或分子之间。然而，当它们靠得过近时，价电子之间的排斥会迅速增强。在一个称为**范德华距离**的特征间距处，这两种相反的力达到平衡。在原子电子跃迁过程中，这种平衡会被打破。当电子吸收能量时，它会跃迁到更高的轨道——通常在几纳秒或更短时间内完成。随着电子云的膨胀，主原子的体积增大，与邻近原子的距离缩短。这种间距的突然减小会扰乱已建立的平衡，导致排斥力增加，从而将原子推开。这种现象称为**(Transimpact) 跃迁冲击**，如图2所示。

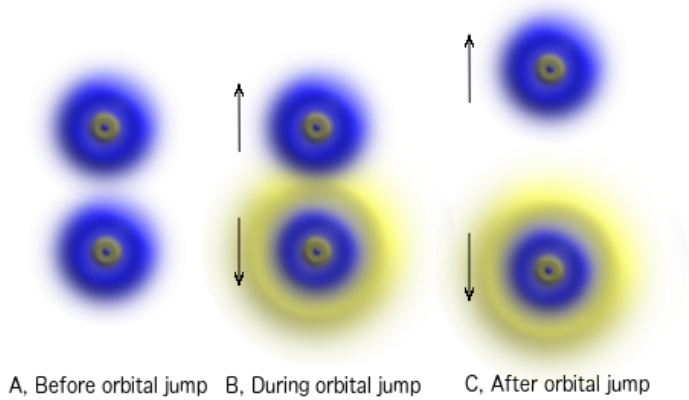


图2: 电子跃迁导致的跃迁冲击

跃迁冲击具有爆发性，类似于爆米花的突然迸裂。由此产生的动量将大量动能传递给相邻粒子，使它们远离并触发或增强其运动。在微观尺度上，原子电子跃迁是常规过程，持续发生于所有物质中。因此，跃迁冲击是普遍存在的相互作用，影响物理学的许多方面，尤其是在热力学中。它们也是**布朗运动**、**相变**以及**克鲁克斯辐射计运作**等现象背后的工作机制。因此，微观粒子的动能最终源自辐射能，并通过跃迁冲击实现转化，形成了如图1所示的，从辐射能到动能的能量转化路径。

众所周知，粒子在较低温度下振动较慢。这一关系可以通过观察温度与布朗运动强度及化学反应速率的相关性间接得到验证。然而，如果粒子在绝对零度下几乎不振动，就会产生一个问题：当温度从绝对零度升高时，粒子如何获得振动所需的动能？跃迁冲击可能提供了一种合理的机制，使粒子在能量引入的过程中逐渐获得振动动能。

从势能到其他形式

电子也可以在原子电子跃迁过程中迁移到更低的轨道，此时储存的势能以电磁辐射的形式释放出来。该过程代表了能量从势能向辐射能的转换，称为**(Emission) 发射**，如图1所示。类似地，储存在带电粒子间化学键中的势能在键收缩时也可以以辐射的形式释放。

当电子在轨道间跃迁时，其动能会与势能同步变化，这一过程被称为**(Conversion) 转换**，如图1所示。这种能量转换不仅限于微观尺度上的带电粒子，也发生在受引力支配的宏观系统中——例如，在摆动的钟摆中，势能和动能之间持续进行交换。

常见的误解是认为摆不会发射任何辐射。实际上，摆也会以引力波的形式辐射能量。然而，由于引力远比静电力弱超过30个数量级，摆产生的引力波微弱到无法被检测。只有极其巨大的天体，如黑洞，才能产生强度足以被像LIGO这样高灵敏仪器观测到的引力波。因此，摆的运动并非严格守恒：在发射引力辐射的过程中，其总能量会逐渐减少。不过，这种能量损失微小到目前的技术无法观测到。

从动能到其他形式

虽然跃迁冲击能够促进系统内动能的积累，但显然这种积累不可持续。因此，必须存在一种将动能转化为其他形式的补充机制——这一过程称为 **(Impactrans) 冲击跃迁**。在冲击跃迁过程中，粒子（如分子、原子或亚原子粒子）的运动或振动会引发由静电相互作用介导的碰撞。这些相互作用可以增强粒子的运动，并在某些情况下将电子激发到更高轨道，甚至将其完全弹出，从而改变粒子的势能。此外，电子在此类碰撞中加速运动时，还可能发射辐射。因此，通过冲击跃迁，动能可以转化为势能和辐射能，在能量转换三角中建立了从动能向势能和辐射能的能量转换途径。

动能通过冲击跃迁转化为辐射能和势能的过程在日常现象中随处可见。一个常见的例子是锤击物体表面形成的凹痕。这种形变源于材料键结构的变化：一些键被压缩，而另一些键被拉伸。被拉伸的化学键吸收了锤击的部分动能并将其储存为势能；而在形变过程中被压缩的键，其势能部分减少的能量则以辐射的形式释放出来，表现为冲击热和火花。

另一个常见例子是双手搓热时的温暖。这种摩擦热来源于冲击转换过程，宏观运动的动能通过粗糙表面传递到微观粒子间的相互作用。类似的机制也解释了气泵底部产生的热量，在那里，分子碰撞加剧，冲击跃迁事件的频率增加。再如，当用毛皮摩擦塑料棒时产生的静电，毛皮上的电子被从原子中剥离并积累到塑料棒上——这也是冲击跃迁作用的另一种表现。

总结

通过 **(Absorption) 吸收**、**(Emission) 发射**、**(Conversion) 转换**、**(Transimpact) 跃迁冲击**和 **(Impactrans) 冲击跃迁**，能量可以在三种动态形式——辐射能、势能和动能——之间相互转化。这些机制共同促进能量的交换，使系统内部或不同系统之间的能量趋于平衡，从而体现 **(Zeroth Law of Thermodynamics) 热力学零定律**。虽然前述讨论主要涉及受库仑力支配的相互作用，但类似过程在核力作用下同样可以发生。在以引力为主导的系统中，这些效应可能微弱到无法直接检测，但从原理上讲，它们仍然存在。

版本更新

- 10/22/2025: 本文在斯坦福初始发布
- [11/01/2025: 在Zenodo上发表](#)
- [12/18/2025: 增加相关文章摘要连接](#)
- [12/25/2025: 术语更改修订](#)

相关文章摘要链接

- <https://cs.stanford.edu/people/zjl/abstractc.html>, PDF
- <https://sites.google.com/view/zjlc/>, PDF
- <https://xenon.stanford.edu/~zjl/abstractc.html>, PDF
- <https://doi.org/10.5281/zenodo.17972005>, PDF

相关文献

- [热力学中的错误概念 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [克鲁克斯辐射计旋转的驱动机制 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [布朗运动的原动力 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [温度是分子平均动能的标志吗? \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [绝对零度的本质 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [能量转换三角 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [热膨胀是由于粒子振动引起的吗? \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [超流体不是流体 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [为什么相变温度保持恒定 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [摩擦为何会产生热量? \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [简明熵概念 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [熵可以减少 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [回归原理 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [金属中是否存在自由电子海? \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [电子通道: 导体超导统一论 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [低温和高温超导统一理论 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [LK-99的局限和意义 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [地球磁场超导起源说 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [关于质量的本质问题 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [从万有引力定律到广义相对论的演化 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [爱因斯坦质能方程的最简单推导 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [如何理解相对论 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [数学并非科学 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [潮汐能并非可再生能源 \(PDF: DOI\) \(中文: DOI\)](#)
- [AI 知识污染 \(PDF\) \(中文\)](#)
- [DeepSeek pk ChatGPT \(PDF\) \(中文\)](#)