# 第三章 热力学定律

冷热变化是最早引起人们关注的自然现象之一。春夏秋冬，温暑凉寒，何时何处不与冷热相关？人类不但掌握了精确的测温控温方法，还可以人工产生高热和深冷，在高热和深冷的“世界”里不断发现新的科学奇迹。可以说，现代科技的每一项成功——不论是试管婴儿的诞生，还是探索原子世界的奥秘；不论是杂交水稻的培育，还是驾驶“神舟”遨游太空，都离不开“冷热”的学问。



从对一切其他的已知物理和化学过程的这类研究中可以得出这样的结论，自然界作为整体来说它蕴藏着一定数量的能量，它既不会减少，也不会增加……

——亥姆霍兹[[1]](#footnote-1)

# 第三章 1 功、热和内能的改变

## 问题？

在空气压缩引火仪底部放置少量的硝化棉，迅速压下筒中的活塞，可以观察到硝化棉燃烧的火苗。为什么筒底的硝化棉会被点燃呢？你能解释这个现象吗？



19世纪30年代，人们逐渐认识到，为了使系统的热力学状态发生变化，既可以向它传热，也可以对它做功。从1840年开始，英国物理学家焦耳进行了多种多样的实验，以求精确测定外界对系统做功和传热对于系统状态的影响，以及功与热的相互关系。这项研究工作为热力学第一定律和能量守恒定律的建立奠定了坚实的实验基础。

焦耳（James Prescott Joule，1818—1889）

## 焦耳的实验

在焦耳研究功与热等效性的许多实验中，有两个最具代表性。一个是让重物下落带动叶片搅拌容器中的水，引起水温上升；另一个是通过电流的热效应给水加热。

实验1 如图3.1–1，用绝热性能良好的材料制作容器，容器中安装着叶片组成的搅拌器。重物下落时带动叶片转动，搅拌容器中的水，水由于摩擦而温度上升。

图 3.1–1 焦耳的实验装置

固定在容器

内壁上的叶片

绝热材料

固定在轴

上的叶片

装水的容器

重物Pʹ

装水的容器

重物P

在这个过程中，系统不从外界吸热，也不向外界放热，这样的过程叫作**绝热过程**（adiabatic process）。

焦耳的多次实验测量表明，尽管各次悬挂重物的质量不同，下落的高度也不一样，但只要重力所做的功相同，容器内水温上升的数值都是相同的，即系统状态的变化是相同的。

实验2 如图3.1–2，让正在下降的重物带动发电机发电，电流通过浸在液体中的电阻丝，由电流的热效应给液体加热，使液体温度上升。

图 3.1–2 与焦耳实验原理相同的实验装置示意图

发电机

温度计

重物

多次实验结果表明，对于同一个系统，如果过程是绝热的，那么不管通过电阻丝的电流或大或小、通电时间或长或短，只要所做的电功相等，则系统温度上升的数值是相同的，即系统的状态就发生了同样的变化。

焦耳的这些实验表明，在各种不同的绝热过程中，如果使系统从状态1变为状态2，所需外界做功的数量是相同的。也就是说，要使系统状态通过绝热过程发生变化，做功的数量只由过程始末两个状态1、2决定，而与做功的方式无关。那么，必定存在一个描述系统状态的物理量，这个物理量的变化与做功相关。例如，在力学中，重力做的功仅由物体的起点和终点两个位置决定，而与物体的运动路径无关。根据这一事实人们认识到，物体具有重力势能。物体在两个位置间的重力势能之差等于物体在这两个位置间移动时重力所做的功。

与此类似，在热力学系统的绝热过程中，外界对系统做的功仅由过程的始末两个状态决定，不依赖于做功的具体过程和方式。这就使我们认识到，任何一个热力学系统必定存在一个只依赖于系统自身状态的物理量，这个物理量在两个状态间的差别与外界在绝热过程中对系统做的功相联系。鉴于功是能量变化的量度，所以这个物理量必定是系统的一种能量，我们把它称为系统的内能。

在第一章中，曾把系统中所有分子热运动的动能和分子间的相互作用势能的总和叫作系统的内能。这和此处的内能是一致的。这为内能提供了微观解释。

## 功与内能的改变

在热力学系统的绝热过程中，当系统从状态1 经过绝热过程达到状态2 时（图3.1–3），内能的变化量

空气柱

图 3.1–3 绝热压缩

Δ*U* = *U*2 − *U*1

它就等于外界对系统所做的功*W*，即

Δ*U* = *W*

可见，在绝热过程中，外界对系统做功，系统的内能增加；系统对外做功，系统的内能减少。

一般来说，如果一个热学过程的状态变化发生得极快、经历时间很短，系统与外界交换的热量就很少，即系统与外界来不及交换热量，这样的过程若不计传递的热，可以看成绝热过程。本节“问题”栏目中的实验就是这样的过程：迅速压下活塞，引火仪筒内气体被压缩，体积变小，外界对气体做了功，内能增加，温度升高。当温度达到易燃物的燃点时，易燃物发生自燃。

下面让我们再通过一个实验，认识功与内能的变化之间的关系。

### 做一做

取一个透明塑料瓶，向瓶内注入少量的水。将橡胶塞打孔，安装上气门嘴，再用橡胶塞把瓶口塞紧，并向瓶内打气，观察橡胶塞跳出时瓶内的变化（图 3.1–4）。

甲

乙

图 3.1–4 观察橡胶塞跳出时瓶内的变化



当橡胶塞跳出时，瓶内出现白雾。以瓶内气体为研究对象，橡胶塞跳出后，瓶内的气体迅速膨胀，系统对外做功，因此，气体的内能迅速减少，瓶内气体温度迅速下降，瓶内水蒸气液化，就会出现大量的雾状小水滴。

## 热与内能的改变

两个温度不同的物体A、B相互接触时，温度高的物体A要降温，温度低的物体B要升温，我们说，热从高温物体A传到了低温物体B。

外界对系统做功可以改变系统的热力学状态，而单纯地对系统传热也能改变系统的热力学状态。所以，热量是在单纯的传热过程中系统内能变化的量度。当系统从状态1经过单纯的传热达到状态2时，内能的变化量

Δ*U* = *U*2 － *U*1

它就等于外界向系统传递的热量*Q*，即

Δ*U* = *Q*

虽然做功和传热都能引起系统内能的改变，但是它们还是有区别的。做功时，内能与其他形式的能（如内能与机械能、内能与电能等）发生转化，而传热只是不同物体（或一个物体的不同部分）之间内能的转移。

像做功一样，热量的概念只有在涉及能量的转移时才有意义。我们不能说物体具有多少热量，只能说某一过程中物体吸收或放出了多少热量。

## 练习与应用

1．在图3.1-1和图3.1-2 所示焦耳的两个实验中，各是什么形式的能转化为系统的内能？

2．下列事件中，物体的内能怎样改变？（固体和液体的热膨胀很小，可不予考虑）

（1）壶里的水被加热而温度升高。

（2）一条烧红的铁棒逐渐冷却下来。

3．气体在绝热膨胀时它的温度会怎样变化？气体在绝热压缩时它的温度会怎样变化？为什么会发生这样的变化？

请分别举一个绝热膨胀和绝热压缩时温度变化的实例。

4．铅弹以 200 m/s的速度射入木块后停在木块中，木块没有移动。若增加的内能的80%使铅弹的温度升高，铅弹的温度升高了多少？铅的比热容*c*为1.3×102 J/（kg·℃）。

# 第三章 热力学定律

## 课程标准的要求

3.2.1 知道热力学第一定律。通过有关史实，了解热力学第一定律和能量守恒定律的发现过程，体会科学探索中的挫折和失败对科学发现的意义。

3.2.2 理解能量守恒定律，能用能量守恒的观点解释自然现象。体会能量守恒定律是最基本、最普遍的自然规律之一。

3.2.3 通过自然界中宏观过程的方向性，了解热力学第二定律。

## 一、本章教材概述

前两章学习的内容是分子动理论和物质三态，本章学习的热力学定律是建立在对热现象的研究基础上体现热力学本质和规律的物理学原理。热力学第一定律主要总结了能量的转化和守恒问题；热力学第二定律主要研究与热现象有关的宏观过程的方向性问题。

本章在结构设计方面可以划分为两个单元。第一单元由第 1 节“功、热和内能的改变”、第 2 节“热力学第一定律”和第 3 节“能量守恒定律”组成，着重介绍热力学第一定律及其实验基础，围绕能量守恒定律的建立过程，从科学历史发展的角度理解能量守恒定律丰富的内涵及其在科学发展上的重要意义。第二单元由第 4 节“热力学第二定律”构成，主要从宏观过程阐释热力学第二定律，说明能量转化的方向性问题。

具体来说，在编写本章内容时有以下一些思考。

### 1．从微观、宏观视角认识“内能”，深化对内能概念的认识

学生对内能的概念并不陌生，在初中物理已经学习过内能的概念。初中教科书把内能界定为“构成物体的所有分子，其热运动的动能与分子势能的总和”。在本册书第一章中我们又对分子动理论作了比较深入的探讨，特别是关于分子动能和分子势能的探讨，为内能的概念提供了微观解释。

本章内能概念的引入来源于焦耳实验的研究成果。焦耳研究功与热等效性的许多实验都表明，在各种不同的绝热过程中，如果使系统从某一状态变为另一状态，外界对系统做的功仅由过程的始末两个状态决定，而与做功的方式无关。那么，必定存在一个描述系统状态的物理量，这个物理量的变化与做功的多少相关。在此基础上，教科书通过与重力势能概念引入的方法相类比，引出内能的概念，从宏观角度界定了内能的概念，让学生认识到内能是由系统的热力学状态决定的一种能量。

在此，我们需要引导学生学会遵循一定的逻辑关系认识内能的概念。这样做的目的是让学生形成理性思维的习惯，感悟到内能的定义是有根据的，培养科学思维中推理、论证的能力。

### 2．突出热力学第一定律的实验基础，展示科学探究过程

在 19 世纪中叶，能量守恒定律、热力学第一定律都还没有建立，内能的概念也不清楚，但是这些思想已经开始萌发。焦耳提出猜想，并通过实验定量地证实了这个猜想。焦耳测定做功与传热关系的实验在物理学史上具有里程碑的意义，它是热力学第一定律和能量守恒定律重要的实验基础。

教科书以焦耳的两个典型实验为线索，通过大量的实验归纳，给出热力学系统中的功与能的关系和热与能的关系。其中，关于焦耳实验的内容体现了科学探究的特点，是科学教育的好素材。教科书编写的逻辑线索如下：

使系统的热力学状态发生变化的做功与传热是否具有等效性（问题）

焦耳的许多实验证实了做功与传热的等效性（证据）

做功或传热，系统的状态发生同样的变化（解释）

给出内能概念的科学定义（推理、论证）

我们知道，在热力学系统的绝热过程中，外界对系统做功，系统的内能会增加；系统对外做功，系统的内能会减少。用公式表示即为 Δ*U* = *W*（热力学第一定律的重要组成部分）。这是在焦耳实验的基础上导出的科学事实。焦耳的一系列实验为热力学第一定律以及更加广义的能量守恒定律奠定了坚实的实验基础。

### 3．探索能量守恒的足迹，强化能量观及其对科学态度的渗透

能量守恒定律是人类在长期的研究和实践中总结出来的，是19世纪的重大发现之一。半个多世纪，人类对能量及其守恒定律的研究，见证了人类认识自然、探索科学的过程。对此，教科书从以下三个方面阐述人类认识能量守恒定律的足迹。

第一，阐述能量观念的形成过程和守恒观念的发展过程。教科书编写的逻辑线索如下。

首先，介绍人类对能量的认识。教科书阐述了人们在研究过程中透过各种自然现象，对其本质特征“能量”的认识过程。从伦福德的实验表明热的本质是运动、奥斯特发现电流的磁效应、塞贝克发现温差电现象到法拉第发现电磁感应现象，反映了各种运动现象背后的能量和能量转化。虽然运动现象各异，但它们有其共同的描述量“能量”。科学家对各种自然现象之间的联系和转化的认识是逐步发展起来的。

其次，介绍能量守恒观念的形成。人类对能量的认识过程，体现了科学家对“守恒”思想的追寻。人类对能量守恒的认识经历了一个由浅入深、由含糊到清晰的过程，教科书列举了最具代表性的几个史例来加以说明。其中，焦耳的实验为能量守恒定律奠定了牢固的实验基础，也为其向定量描述迈出了重要的一步。

第二，阐述能量守恒定律的表述及其意义。教科书一方面强调能量的转化和守恒；另一方面也告诉我们，在能量守恒定律建立后，仍然有能量“不守恒”的假象，这就会引起科学上新的发现，因为在这种“不守恒”的假象背后，必定存在没有被我们发现的事实或规律。

第三，阐述永动机不可能制成。教科书通过列举“饮水小鸭”的实例，阐明永动机的思想违背能量守恒定律。所以，它是不可能制成的。这是一个历史探索的过程，既反映了人类科学探索的艰辛，又反映了科学探索中理论总结的重要性。任何制造永动机的尝试都失败了，这也警醒人们要更深层次地考虑问题。从某种意义上说，这也促进了能量守恒定律的建立，为科学探索的成功奠定了基础。这对学生体会科学探索中的挫折和失败对科学发现的意义，具有十分重要的教育价值。

### 4．探讨宏观自然过程的方向性，加强学生科学思维的培养

在物理学中，反映宏观自然过程的方向性的定律是热力学第二定律。它主要描述能量转化的方向性问题。这个规律可以从宏观或微观角度进行探讨。根据课程标准的要求，教科书重点采用实验事实归纳的方法得出热力学第二定律。随后，围绕热力学第二定律的克劳修斯表述和开尔文表述展开讨论。具体编写的逻辑线索如下。

第一，列举具体的不可逆过程的实例，阐明一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的，帮助学生完成对该科学过程的分析归纳，加强思维认识过程的培养。

第二，克劳修斯表述阐述了传热的方向性。相对而言，克劳修斯表述比较容易理解，原因在于这个表述的基础是学生习以为常的事实。教科书通过电冰箱的反例，说明“第三者影响”的存在，让学生深刻领会“自发”的物理意义。

第三，开尔文表述阐述了机械能与内能转化的方向性。这个问题不仅在物理学中很重要，在日常生活中也很常见。机械能可以全部转化为内能，而内能无法全部用来做功以转化为机械能。考虑到开尔文表述的事实基础和理论分析对学生来说较难理解，教科书只好简单处理。教学中不宜要求过高。

另外，关于热力学第二定律的微观解释，课程标准没有要求。因此，我们将熵与熵增加原理的内容调整到了“拓展学习”栏目之中，以供学有余力的学生自学。

### 5．注重热学基础知识体系的建构

热学知识与人们的日常生活联系非常紧密，在生产、生活和科学实践等方面都有重要的应用。在远古时代，人类的祖先发现了火、使用了火，从而开创了人类文明的历史；在科学技术高度发展的现代，各种热机和制冷设备的研制，化工、冶金、气象的研究，都离不开热学知识。

教科书前三章内容的选取和设计紧密围绕热学体系的建构而展开。从科学史上来看，热学体系的建构是从两条途径进行的。一条途径是从宏观上，建立温度、热量和内能等概念，并根据大量实验事实总结出关于热现象的宏观理论——热力学，热力学的核心内容是热力学第一定律和热力学第二定律。另一条途径是从物质的微观结构出发，以微观粒子遵循的规律为基础，利用统计方法导出宏观的热学规律，这样形成的理论称为统计物理学或统计力学。统计力学在近代物理各个领域都起着极其重要的作用，它能够让我们了解物质的宏观性质和微观因素的关系。热力学和统计力学一起，构成了现代热学的科学体系。

## 课时分配建议

第 1 节 功、热和内能的改变 2 课时

第 2 节 热力学第一定律 1 课时

第 3 节 能量守恒定律 1 课时

第 4 节 热力学第二定律 1 课时

# 第 1 节 功、热和内能的改变 教学建议

## 1．教学目标

（1）了解焦耳的两个实验的原理，认识焦耳实验探究对建立热力学规律的意义。

（2）会用功能关系构建内能的概念。

（3）知道做功与传热在改变系统内能上的区别，并会区分热量和内能的概念。

（4）理解做功与内能的改变和传热与内能的改变的关系，会解释相关的现象。

## 2．教材分析与教学建议

本节内容分为三个部分：一是焦耳的实验；二是功与内能的改变；三是热与内能的改变。本节内容主要是为热力学第一定律打下基础。焦耳的实验是热力学定律的奠基性实验，在物理学史上具有独特的地位。本节从焦耳的实验出发，介绍了在 19 世纪 30 年代焦耳所做的功与热的等效性实验。通过对实验结论的深度归纳后，引入系统内能的概念，最终得出做功与系统内能变化之间的关系。

本节在科学方法教育方面，教学中需要突出以下三点：一是强调焦耳的实验中所运用的控制变量的思想方法；二是根据焦耳的实验结果和功能关系，采用类比方法构建内能的宏观定义；三是建立两个表达式，即在绝热条件下有 Δ*U* = *W*，以及在不做功的条件下有 Δ*U* = *Q*，这两个结论是建立热力学第一定律的基础。

本节涉及的物理概念比较多，例如功、热、系统、内能等。准确理解这些概念，对正确把握本节内容和后续学习内容来说尤其重要。

### （1）问题引入

本节通过空气压缩引火仪点火的演示实验引入新课。该实验在初中物理中也有选用，但在这里的引入显然比初中有更深层次的问题需要思考。针对这个实验提出的问题是：“为什么筒底的硝化棉会被点燃呢？你能解释这个现象吗？”学生在初中时的认识不一定能够达到清晰表达的程度。因此，要让学生大胆地尝试，对这个问题进行解释，发现学生哪些方面的认识是清晰的，哪些方面的认识是模糊的，以便后面的教学能有针对性地进行教学设计。

由于该实验在本节课的教学中要起到发现问题、引发学生思考的作用，所以要认真做好，确保成功。实验成功的要领如下。

第一，取下活塞，用橡皮吹气球或打气筒将有机玻璃筒中的剩余气体置换掉，注入新鲜空气。注意不能用嘴吹，因为嘴吹出的气体中含有较多的二氧化碳和水蒸气，而氧气较少。

第二，放入的棉花量要少，且要放在底部，处于蓬松状态（一般用硝化棉）。

第三，向下压活塞的动作要快。

第四，活塞与筒壁之间的密封性要好。可以在活塞上涂上蓖麻油，以增强密封性。

### （2）焦耳的实验

本节教学的重点是焦耳的两个代表性实验。

首先，要强调实验条件。在两个实验装置中，容器及其中的水组成的系统与外界是绝热的。这样，在引起系统温度升高的原因中，就排除了外界与系统间传热的可能。

其次，认识两个实验中的做功方式。虽然两个实验都是通过做功使液体温度升高，但是做功的方式却有所不同。第一个实验是通过重物下落带动叶片搅拌水，由于叶片与水之间的摩擦而使水温升高。该实验通过机械功实现能量的转化。第二个实验则是通过重物下落使发电机发电，电流通过电阻丝做功发热使水温升高。该实验通过电功实现能量的转化。这样，种类不同、过程不同以及做功方式也不同的功却导致了同样的结果，这充分说明在热力学系统中做功与系统内能变化之间存在必然的联系。

最后，认识不同实验中的共性。做功方式以及做功的具体过程不同，但是只要外界对系统做功相同，系统上升的温度就一定相同。

①焦耳实验的设计思想

引入焦耳实验要突出控制变量的思想方法。焦耳实验的核心是研究做功与内能改变之间的关系。

**教学片段**

**焦耳实验的设计**

任务 阅读焦耳的两个实验材料，完成下面的任务。

实验设计 做功和传热都可以改变系统的内能，那么，如何设计一个实验来研究做功与系统内能改变的关系？

物理量的测量 焦耳的第一个实验中需要测量哪些物理量？记录哪些物理量？请设计一个记录数据的表格。

结论 焦耳的两个实验得出的结论是什么？

②内能的宏观定义

在第一章中教科书已经给出了内能的微观定义，在本节又给出了内能的宏观操作性定义。虽然我们并不能确定系统处在某一状态时内能的绝对值，而只能确定两个平衡态的内能差，但是，在实际问题中，往往需要确定的也只是系统两个平衡态之间的内能差，而不必知道系统内能的绝对值。

教科书关于内能概念的宏观定义指出：“任何一个热力学系统必定存在一个只依赖于系统自身状态的物理量，这个物理量在两个状态间的差别与外界在绝热过程中对系统做的功相联系。鉴于功是能量变化的量度，所以这个物理量必定是系统的一种能量，我们把它称为系统的内能。”

**教学片段**

**关于内能的宏观定义的引导过程**

任务 讨论以下内容，请你阐述在物理学中引入内能概念的理由。

问题分析 从焦耳实验的结果可知，在各种不同的绝热过程中，如果使系统从状态 1 变为状态 2，所需外界做功的数量是相同的。我们可以把这种情况与力学中重力做功的情况进行比较。在力学中，某一物体从高度 *h*1 变化到 *h*2，重力所做的功与物体经过的路径无关，只与两个位置之间的高度差有关；在热力学中，某一系统不与外界热交换，而只有外界对它做功，使其温度从 *T*1 变化到 *T*2，变化过程中外界对系统所做的功与做功方式（阶段性和累积性）无关，只与状态差异有关。

类比启发 在力学中，重力做功与路径无关，我们认为系统必定存在一个物理量（这个物理量的性质是能量），能够描述不同状态（高度为 h1 或 h2）所具有的能量，而这种能量只与位置状态（高度）有关，因此命名为“势能”；在热力学中，为了描述系统处于不同温度的状态，你认为可以做怎样的类似处理？

总结提问 从重力势能与内能概念的引入思路中，你有什么更深层次的思考？

当然，在以宏观方式定义了内能之后，要让学生能够对本节的内能定义与第一章中的内能定义进行区分和联系。从微观定义来看，内能是系统内所有分子动能与分子势能的总和；从宏观定义来看，内能表达了系统处于过程中某一状态的能量。这样，学生对于内能的认识就经历了从第一章中微观揭示到本节中宏观定义的过程。认识的过程完整且又缜密，意义重大。通过这样的处理，可让学生对于功能关系的理解更加深化，同时认识到内能与温度、压强等其他热学物理量一样，都具有宏观意义和微观解释。

③焦耳实验的意义

焦耳实验的意义在于得出内能的宏观定义。从 1840 ~ 1878 年近 40 年中，焦耳总共进行了 400 多次实验。焦耳把毕生的精力都贡献给了科学事业，堪称后人的楷模。焦耳当年以实验说明了热运动与机械运动的等价性，以精确的数值无可辩驳地为热力学第一定律和能量守恒定律奠定了实验基础。通过焦耳实验的学习，可以帮助学生建立热学中的功能关系，并体验科学家实事求是、坚持真理的科学态度以及不畏艰辛、坚持不懈、勇于探索的科学精神。

### （3）功与内能的改变

从焦耳的实验我们可以得出做功与内能变化的关系。

研究功与内能的改变是在绝热的条件下进行的，即 *Q* = 0，当系统从状态 1 变化到状态 2 时，内能的变化量 Δ*U* = *U*2 – *U*1，它就等于外界对系统做的功 *W*，即 Δ*U* = *W*。

在这里可以用绝热过程的概念讨论本节开头“问题”栏目中的实验。绝热过程可以分为两种情况：第一种情况是用绝热材料将系统与外界隔离传热，使系统不能与外界发生热交换，焦耳的两个实验就属于这种情况；第二种情况是系统的状态变化发生得非常快，经历时间极短，在这么短的时间内系统与外界“来不及”发生热交换。显然，空气压缩引火仪点火的实验就是第二种绝热过程。

如果外界对系统做功，则系统的内能就会增加（例如，空气压缩引火仪点火的实验、四冲程发动机汽缸的压缩冲程等）；如果系统对外界做功，则系统的内能就会减少（例如，教科书图 3.1–4“观察橡胶塞跳出时瓶内的变化”实验、四冲程发动机汽缸的做功冲程等）。

**教学片段**

**观察橡胶塞跳出时瓶内的变化**

实验器材 500 mL 的圆底烧瓶、三角瓶或无色透明塑料瓶，单孔橡胶塞（装有气门嘴），胶管，两用气筒。

实验观察 瓶中放少许酒精或水，摇一摇瓶子使酒精或水充分挥发。实验中注意观察橡胶塞跳起时的现象。应该看到瓶内出现白雾，但是时间很短。

实验解释 请同学来回答或解释下列问题。

* 当用打气筒向瓶内打气时，瓶内气体会发生怎样的变化？为什么？
* 橡胶塞跳出后，瓶内气体的质量、压强、温度发生了怎样的变化？为什么？
* 瓶内会产生白雾的原因是什么？

这个问题的研究对象是瓶中气体与气筒中的气体所组成的系统。在橡胶塞未跳出时，瓶内气体体积 *V* 一定。外界通过活塞对系统做了功，使得系统的内能增加，即温度升高，压强增大，使橡胶塞从瓶口喷出。看到白雾的原因在于，当橡胶塞突然跳起时气体绝热膨胀对外做功，内能减少，温度下降，所以瓶内气体中所含有的水蒸气或酒精蒸气成分有一部分被液化，成为细小的液滴悬浮在空气中而呈雾状。

### （4）热与内能的改变

内能是系统的状态量，状态确定，内能就确定。要使系统的内能发生变化，可以通过做功或传热两种过程来完成。而热量是在传热过程中，量度系统内能变化的物理量。热量反映的是物体在状态变化过程中所迁移的能量，有过程才有变化，离开过程来谈热量是毫无意义的。就某一状态而言，只有内能而不存在热量，因此我们不能说系统中含有多少热量。

研究热与内能的改变的条件是，在热力学过程中没有做功，即 *W* = 0，这时系统从状态 1 变化到状态 2 时，内能的变化量 Δ*U* = *U*2 – *U*1，它就等于外界对系统传递的热量 *Q*，即 Δ*U* = *Q*。

教学中，我们还需要让学生明确，虽然传热与做功都能引起系统内能的改变，但是它们还是有很大区别的。传热只在系统与外界存在温度差时才发生，而做功在任意温度下均可以发生。从本质上说，传热过程是不同物体（或一个物体的不同部分）之间内能的转移，在这类过程中，内能的传递是通过热交换或物质交换进行的，不发生热运动形式之间的转化。热量就是为了量度传热过程中所传递的能量的多少而引入的概念。做功过程总是伴随着其他形式的能与内能之间的转化，如机械能与内能、电能与内能之间的转化。同时，一定会伴随着其他运动形式与热运动之间的转化，如机械功伴随着机械运动与热运动之间的转化，电功伴随着电磁运动与热运动之间的转化。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 4 道习题。这几道习题的设计都很切合实际，体现了历史与现实、理论与实际的相互渗透，目的都是要培养学生的观察能力、独立思考能力等基本的物理素养。第 1 题考查焦耳的实验中是哪几种能量之间的转化，为后面将要学习的能量转化和守恒的思想做好准备工作。第 2 题通过具体问题使学生体会传热与内能改变的关系。第 3 题让学生通过生活实例进一步加深对绝热过程的认识，同时知道做功与内能改变的关系。第 4 题结合了初中所学的比热容知识，起到了承上启下的作用，考查做功与物体内能改变之间的关系。

1．在教科书图 3.1–1 的实验中，重物 P 和重物 Pʹ 的重力势能转化为水的内能；在教科书图 3.1–2 的实验中，重物的机械能转化为电能，电能再转化为液体的内能。

2．（1）壶里的水的内能增加了。

（2）铁棒的内能减少了。

3．温度降低；温度升高。

根据功与内能的改变关系，在没有热交换，或时间极短系统来不及跟外界进行热交换的情况下，气体对外界做功（即绝热膨胀），气体的内能减少；外界对气体做功（即绝热压缩），气体的内能增加。

绝热膨胀实例：本节“做一做”栏目中的实验；绝热压缩实例：本节“问题”栏目中的实验。

提示：在本节“做一做”栏目中，橡胶塞跳出瞬间，瓶内气体可看作绝热膨胀，以瓶内气体为研究对象，当橡胶塞跳出时，瓶内的气体迅速膨胀，系统对外做功，因此，气体的内能迅速减少，瓶内气体温度迅速下降，瓶内水蒸气液化，出现白雾。

在本节“问题”栏目中，迅速下压活塞时，引火仪筒内的气体可看作绝热压缩，外界对气体做功，气体内能增加，温度升高，当温度达到易燃物的燃点时，易燃物就被点燃了。

4．123 ℃

提示：铅弹的动能全部转化为木块与铅弹的内能，而其中的 80% 的内能使铅弹的温度升高。因此，有如下关系式成立：（*mv*2）×80% = *cm*Δ*t*。则 Δ*t* = = ℃ = 123 ℃。

1. 亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz，1821—1894），德国物理学家、生理学家。对生理学、光学、电磁学、数学等方面多有贡献，是能量守恒和转化学说的创建者之一。 [↑](#footnote-ref-1)