

高等学校教学用书

物理学教程

第一卷 第二分册

C. A. 阿尔柴貝謝夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



物 理 学 教 程

第一卷 第二分册

C. A. 阿尔柴貝謝夫著
張 之 翔 等 譯

高等教育出版社

本書系根据苏俄教育部教科書出版社（Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР）出版的阿尔柴貝謝夫（С. А. Арпыбышев）著“物理学教程”（Курс физики）1951年版譯出。原書經苏联高等教育部審定为师范学院数理系的物理教材。本書共分兩卷。第一卷分兩分册出版，第一分册的内容为力学，这一分册的内容为热学与分子物理学。第二十二章的后一半，第二十三章、第二十六章为北京大学張之翔同志譯，第十九、二十、二十一、三章和二十二章的前一半为北京大学樓格同志譯，第二十五章为中國人民大学万山同志譯，第十七、十八兩章为气象專科學校段志敬同志譯，第二十四章为北京大学楊海寿同志譯。第二十三章和二十六章由宋玉昇同志校閱。全書由錢尙武同志負責校閱整理。

物理学教程

第一卷 第二分册

C. A. 阿尔柴貝謝夫著

張之翔等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号）

京華印書局印刷 新華書店总經售

書號 13910·152 開本 850×1168 1/32 印張 9 2/16 字數 232,000

一九五五年十一月北京第一版

一九五六年八月北京第三次印刷

印數 6,001—10,000 定價 8.50 元

第二分册 目 錄

第二部分 熱学和分子物理学

第十七章 熱量·一些基本概念	437
§ 1. 溫度, 標準溫度計 § 2. 水銀溫度計 § 3. 溫差電偶溫度計或高溫計 § 4. 熱量 § 5. 熱的本性 § 6. 普遍的能守恆定律 § 7. 比熱的測定	
第十八章 熱能的運動	455
§ 1. 對流 § 2. 熱量藉輻射的傳遞 § 3. 熱傳導 § 4. 熱流和導熱係數 § 5. 導熱係數的測定 § 6. 物体的冷卻 § 7. 動溫度平衡 § 8. 在溫度週期性地变化的情形下熱的傳播	
第十九章 加熱時物体的膨脹	474
§ 1. 加熱時, 固体的膨脹 § 2. 當溫度改变時, 在固體內部發生的力 § 3. 測定液体的膨脹係數 § 4. 水的密度和溫度的關係 § 5. 查理定律, 克拉 珀龍公式 § 6. 范德瓦耳斯方程式	
第二十章 熱力学第一定律及从它得出的結果	486
§ 1. 熱力学第一定律 § 2. 物态方程式, 圖解 § 3. 气体比熱間的關係 § 4. 等温过程 § 5. 絕熱过程 § 6. c_p 与 c_v 比值的測定 § 7. 多方过程 § 8. 焓 § 9. 可逆过程 § 10. 卡諾循环 § 11. 实际气体的內能	
第二十一章 熱力学第二定律及从它得出的結果	512
§ 1. 熱力学第二定律 § 2. 事件的幾率 § 3. 状态的幾率是決定过程的方向 的量 § 4. 熵 § 5. 熵增加原理 § 6. 幾個例子 § 7. 气体(蒸汽) 的熵 § 8. 熵的絕對值 § 9. 化学反应的熱效应 § 10. 等温过程中的功, 自由能 § 11. 開耳芬温标 § 12. 再論熵增加原理	
第二十二章 熱机	539

- § 1. 熱机的效率 § 2. 熱气机 § 3. 工程上的功 § 4. 以壓縮空气來工作的熱机 § 5. 活塞蒸汽机 § 6. 蒸汽机的功的圖解 § 7. 往復机的功率和效率 § 8. 多段膨脹机 § 9. 蒸汽輪机(蒸汽透平) § 10. 內燃机 § 11. 致冷机和“抽熱机”

第二十三章 气体559

- § 1. 關於物質的分子的概念 § 2. 內聚力 § 3. 布朗運動和擴散 § 4. 理想气体的物态方程 § 5. 气体分子的速率 § 6. 測定分子速率的實驗 § 7. 气体的熱容量 § 8. 量子的熱容量理論 § 9. 分子碰撞. 自由路程的長度 § 10. 擴散 § 11. 導熱性和內摩擦 § 12. 高度稀薄状态下的气体 § 13. 稀薄气体沿管子的流動 § 14. 高真空抽气机 § 15. 抽气机的功率和抽空速度 § 16. 高度真空的气压計 § 17. 在重力場中的气体 § 18. 大气中的气体 § 19. 玻耳茲曼常数和阿伏伽德罗数的測定

第二十四章 固体和液体616

- § 1. 晶体和結晶形式 § 2. 晶体點陣. 密勒指數 § 3. 某些點陣型 § 4. 單晶体和多晶体 § 5. 离子晶体 § 6. 原子晶体 § 7. 液体和非晶物体中質點的空間分佈 § 8. 固体和液体的熱容量 § 9. 液体和固体中的擴散 § 10. 擴散係数的測定 § 11. 用通过多孔壁擴散的方法使气体分開 § 12. 滲透 § 13. 得到高压的裝置 § 14. 超高压的裝置 § 15. 液体的壓縮性和粘滯性 § 16. 固体的壓縮性 § 17. 气体的壓縮性

第二十五章 表面現象657

- § 1. 表面張力 § 2. 液体的表面能 § 3. 表面能与溫度的關係 § 4. 弯曲表面下的压力 § 5. 液滴的形成 § 6. 瑞利決定油類分子大小的方法 § 7. 弯月面. 毛細現象 § 8. 毛細引力和毛細斥力 § 9. 表面活化物質. 吸附作用 § 10. 關於液体薄膜的穩固性 § 11. 浮

第二十六章 物态变化674

- § 1. 蒸發 § 2. 饱和在空間的蒸汽 § 3. 克拉珀龍-克勞修斯方程 § 4. 饱和蒸汽压与沸騰溫度的測定 § 5. 饱和蒸汽压与液体表面曲率的關係 § 6. 沸騰 § 7. 蒸發熱 § 8. 空气的濕度 § 9. 蒸汽的等溫線 § 10. 物質的臨界状态 § 11. 气体的壓縮 § 12. 氫和氮的壓縮 § 13. 范德瓦耳斯方程中的常数的確定. 对应态 § 14. 晶体的熔解 § 15. 压力對於熔

解温度的影响 § 16. 过冷液体 § 17. 非晶体的熔解 § 18. 合金和溶液的
结晶温度 § 19. 相的平衡. 三相点 § 20. 纯粹物质在等压之下的加热
§ 21. 多形性

附 錄 各种物质的主要物理特性数值表 719

- 表 1 固体的弹性
- 表 2 固体的热学常数
- 表 3 液体的热学常数
- 表 4 气体的热学常数
- 表 5 饱和蒸汽压(以毫米水银柱计)
- 表 6 某些常数的值

skp 13

第二部分 熱学与分子物理学

第十七章 熱量。一些基本概念

我們來講解物理学中一个又丰富又重要的部分，这部分係根据分子观点研究物質的構造，並研究在物体内進行的各种熱的过程。因而所要討論的是物体受熱膨脹，熱量傳遞的方式，熔解和蒸發，擴散，熱轉化為机械功的方式等等。

在這裏基本上採用兩種研究方法——熱力学的方法和統計的方法。第一种方法是研究宏觀的物理过程，不考慮分子構造。例如当用实验方法研究熱傳導時，熱量由物体加熱的地方流到冷的地方。由实验可以建立起類似流体力学方程式的方程式，而用來描述熱的運動。結果就有了嚴密的數學理論來很好地研究理論的和实际的問题。可是实际上，在物体内流过的熱的性質仍然沒有完全弄明白。当研究其他熱的現象時也利用这种熱力学的方法，並且廣泛地利用由經驗上得到的具有很大普遍性的兩条定律。在下一章裏我們將介紹这两条定律。

第二种敘述方法的出發點是物質分子構造的觀點。这种方法使我們能够在現象的本質上理解得深入得多，並且使我們能够理解熱本身的性質，以及溫度和分子運動速度之間的關係。从这个觀點看來，上面所說的傳導过程是很簡單的。物体受熱部分的分子很快地運動，和自己鄰近的分子相碰撞，把自己的能量傳給它們一部分，增加它們的速度。这些分子又与次一層の分子相碰撞，增加它們的速度，如此繼續下去。強化了的熱運動用这种方法沿着物体从受熱的部分向冷的部分逐漸傳

播。

由於物体内分子的數目是非常多的，無法描述出各个分子的運動，分子的理論是处理速度、能量、和其他物理量的平均值，因此不得不用以幾率的理論为基础的統計方法。現在熱力学和分子物理学（統計物理学）如此發達起來，以致在高等学校教学的第二階段中常常是利用廣泛的數學工具分開來学。但在我們的初級教程中，我們將這兩种科学方法应用到最簡單的，同時也是最重要的物理現象上去。

本章的目的是闡明“溫度”和“熱量”的概念，以及熱的本性。

§ 1. 溫度. 標準溫度計 關於物体的溫度，我們首先是根据我們的主觀感覺來判斷的，这些主觀感覺用下面的話來表示：熱、冷、溫熱、炎熱等等。可是这些感覺是有条件的，因此对定量描述是完全不適用的，有時候甚至定性描述也不適用。事实上，用“房內的”水來洗手時我們往往感到冷。但是如果冷天从街上回來，在同样的水中洗手我們就感到熱。

受熱時物体的所有性質都發生变化，一般說來，可以利用物体任一性質的变化作为溫度的客觀描述。例如，可以利用受熱時固体和液体的膨脹，气体压力的改变，導體电阻的改变等等。可是，所有物体，以及所有它們的特性適宜於製定溫标的程度却相差很远。經過長時期的尋求和研究，得出結論，氫是最適宜的“測溫質”。在 1878 年，國際度量衡委員會通过了下面的決議：溫度应当用化学純的氫在定容情况下的压力來測量，它在冰的熔解點時的压力为 1000 毫米水銀柱高。溫标的基本點应当和攝氏溫标的基本點相合。

圖 403 表示氫气溫度計，其中有充滿了氫气的泡 A ，泡 A 以毛細管和充滿了水銀的容器 N 相連接。这个容器用橡皮管和活動容器 R 相連接， R 能够沿着儀器的刻度移動。容器 N 內的水銀總是達到一定标号 E ，使氫气的容積保持不变。在泡內氫气的压力为

$$p = H + h,$$

此处 H 是大气压， h 是容器 N 和 R 内的水銀高度差。氫气的压力隨着它的溫度而改变。根据國際度量衡委員會的決議，使溫度差正比例於相對应的压力差。

$$t - t_1 = k(p - p_1). \quad (a)$$

常數 k 由下列条件來決定：把冰熔解的溫度当作 0°C ，而在標準气压下沸水蒸气的溫度当作 100°C 。依次把泡 A 放在熔冰內和沸水的蒸气內並測量相對应的气压 p_0 和 p_{100} ，选择泡 A 的容積使 $p_0 = 1000$ 毫米水銀柱高，得到：

$$100 - 0 = k(p_{100} - p_0)$$

或

$$k = \frac{100}{p_{100} - p_0}.$$

把此值代入(a)，得到：

$$t - t_1 = \frac{100}{p_{100} - p_0} (p - p_1). \quad (b)$$

如果溫度是从 0°C 算起，那麼在此式內必須令 $t_1 = 0$ 和 $p_1 = p_0$ 。結果得到下面的式子：

$$t = \frac{100}{p_{100} - p_0} (p - p_0). \quad (1)$$

確定了氫气压力 p ，我們由这个公式算出与攝氏溫标一致的溫度。在精確量度時，在公式(1)中对泡 A 的膨脹，对毛細管中气体的容積，对儀器的刻度和水銀的膨脹等等要進行一系列修正。但我們不預备去講这些細節。

在公式(1)中把括号 $(p - p_0)$ 展開：

$$t = \frac{100p}{p_{100} - p_0} - \frac{100p_0}{p_{100} - p_0}. \quad (c)$$

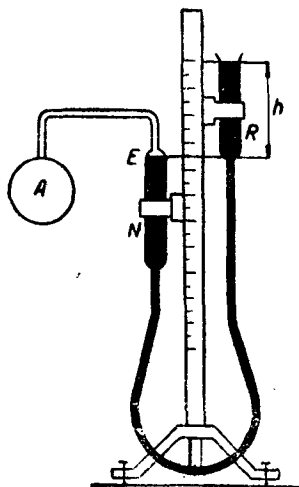


圖 403

精確的測量指出
$$\frac{100p_0}{p_{100} - p_0} = 273. \quad (d)$$

把此值代入等式(c), 得到:

$$t = \frac{100p}{p_{100} - p_0} - 273.$$

由此得到結論, 在溫度 -273°C 時氫氣的壓力為 0。這個溫度叫做絕對零度, 而從絕對零度算起的溫度叫做絕對溫度。它常用字母 T 來表示。 T 和 t 的關係用下面的式子表示:

$$T = 273 + t. \quad (2)$$

把絕對溫度代入公式(c)並考慮(d)便得到:

$$T = \frac{273}{p_0} \cdot p. \quad (3)$$

在定容時絕對溫度正比例於氫氣的壓力。

必須指出, 上面所說的, 使我們得到絕對零度概念的提議是不正確的。氫氣在 -253°C 時已變為液體, 而上面所引用的公式對於液體顯然是不適用的。但偶然地, 絕對零度的位置是正確地規定了。

英國物理學家開耳芬指出, 溫標可以從理論上決定, 而不決定於某種物質的熱的性質(參看 531 頁)。

原來理論溫標極近於氣體溫標, 而絕對零度應當是在 -273.16°C 。由此可見理論上的絕對溫度可以用下面較好的近似的式子來表示:

$$T = t + 273.16,$$

這裏 t 是由氣體溫度計決定的攝氏溫度。我們以後利用比較簡單的式子(2)。

有別於按攝氏溫標度量的溫度, 絕對溫度用字母 K 來表示(開氏溫標)。例如 20°C 相當於絕對溫度 293°K 。

氫氣溫度計是為了測量從 -250°C 至 500°C 的溫度範圍用的。對於更高的溫度它不適用, 因為在 500°C 以上時, 氫氣可滲透所有物質。在 500°C — 2500°C 和更高的溫度範圍內利用電的或光的高溫計。

当然，所有气体溫度計對於日常的測量都不適用。它們只是用來校準其他更便利的溫度計。

最後我們要指出到現在為止所得到的極端溫度。最低溫度是德·加斯 1935 年在萊頓得到的。它和絕對零度還差 0.004°C 。最高溫度是 8000°C ，它是在大氣裏高壓之下熾熱的伏特電弧的溫度，能夠保持很長的時間。為了比較起見，我們指出，供給我們以光和熱的太陽表層的溫度是 6000°C 。

讓極強的電流通過細金屬線或充滿水銀的毛細管，在很短的幾分之一秒的時間內可以得到一萬到二萬度的高溫。最近在 1945 年當原子彈爆發時得到數百萬度的高溫。

§ 2. 水銀溫度計 圖 404 表示常用水銀溫度計中最普通的一種類型。這種溫度計是由厚玻璃做成的毛細管，它的下端吹成精細的玻璃泡。用交替地加熱和變冷的方法使玻璃泡的下部充滿純水銀。然後把溫度計強烈地加熱，使水銀膨脹充滿整個毛細管，再把毛細管的上端鐸住。這之後就去定溫度計的定點，為此先把溫度計放在熔冰內然後放在沸騰的水內，如圖 405 所示。將水銀的水平位置打上記號，然後在溫度計的表面上，刻出用數字 0 和 100 來表示的兩個刻度。在 0 與 100 之間分成 100 等分。這樣就得到百度攝氏溫度計。從 100 往上和從 0 往下同樣做出刻度。

必須指出，水銀溫度計的刻度和標準溫度計的刻度不同，也和別種液體溫度計的刻度不同。一般來說，所有溫度計的刻度對於標準溫度計來講，只是具有兩個共同點： 0° 和 100°C 。所有其他的溫度它們有不同的刻度，雖然它們彼此間沒有什麼顯著的差別。圖 406 是表示水銀溫度計和酒精溫度計的刻度的例子。所以為了量度精確，溫度計都應當根據標準氫氣溫度計來校準。



圖 404

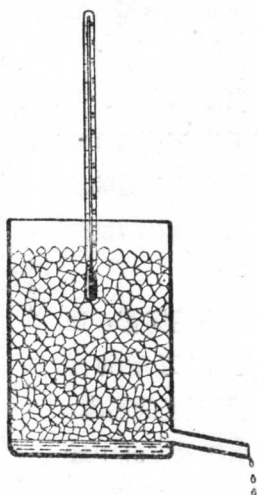


圖 405

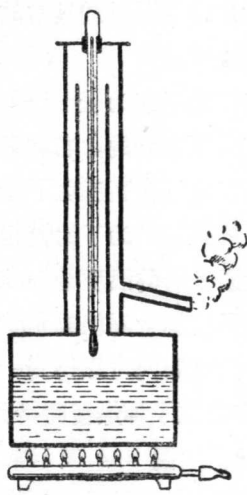
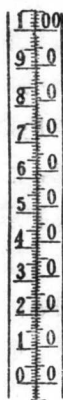


圖 406



溫度計玻璃泡的容積和玻璃的物理特性都要因時而變，結果影响到基本點的位置。所以溫度計要隨時進行校準。

玻璃水銀溫度計的量度範圍是從 -30°C 到 400°C 。如果溫度計由石

英做成並且在水銀上儲有氮氣，那麼它可以適用於測量到 650°C 的溫度。充滿了戊烷的溫度計，能夠測量到 -160°C 的溫度。

§ 3. 溫差電偶溫度計或高溫計

從中學裏面大家都已經很熟悉的所謂伏打第一定律：在只由金屬所組成的閉合電路中決不能得到電流。可是這個定律只有當所有金屬的溫度是相同的條件下才是正確的。如果溫度不同，那麼在電路內就有電流流過。雖然電流很弱，但很容易用近代儀器測出。

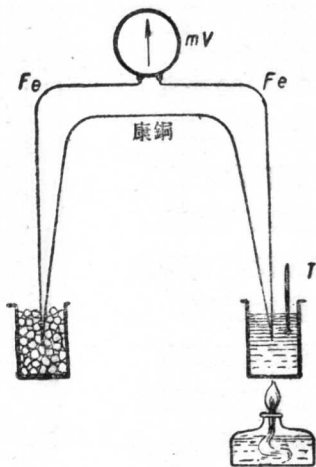


圖 407

圖 407 表示出研究这种电流的設備。在毫伏特計上接上由不同金屬做成的銲接在一起的金屬線,例如如圖所示的鉄和康銅。這類金屬線組成了所謂溫差電偶。它的接头放到两个杯子內,一个杯子內是熔化了了的冰,另一个杯子內是水。当放在水內的接头加熱時,在电路內產生電動勢。溫度計 T 和接头一起加熱,可以用來校準溫差電偶而在以後將溫差電偶用做溫度計。在水銀溫度計不能適用的溫度範圍內,用別种溫度計或者直接利用某些物質的熔解、沸騰、昇華時的恆定溫度進行刻度。下表引入某些標準溫度,根据那些標準溫度進行刻度或者進行溫差電偶和各种溫度計的校準。

氫..... K-252.78	石臘油精..... K 217.96
氮..... K-195.81	錫..... Пп 320.95
氧..... K-182.97	銻..... Пп 419.45
二硫化碳..... Пп 112.0	鎢..... Пп 630.5
二氧化碳..... C- 78.53	銀..... Пп 960.5
氯苯..... Пп - 45.5	金..... Пп 1,063
汞..... Пп - 38.87	鉑..... Пп 1,770
硫酸鈉..... Пп - 32.88	鎢..... Пп 3,400

在此表內字母 K 表示沸騰溫度,字母 C 表示結晶溫度,字母 Пп 表示熔解溫度,字母 Пп 表示从一种晶型变为另一种晶型的轉換溫度。在这个表內所引用的是標準大气压下的數值。

測量的結果表示,熱電動勢大約比例於接头的溫度差。可是在表內下部的一些材料中,它們只具有近似的數值。用作精確量度的溫度計,应当根据很多點進行刻度。

金 屬 偶	溫 差 電 動 勢
銅-康銅	在 0° 和 500°C 之間是 45×10^{-3} 伏特/度
鎳-鎳鉻合金(鎳+12%鉻)	在 0° 和 1000°C 之間是 37×10^{-3} 伏特/度
鉑-鉑+5%鎢	在 0° 和 1500°C 之間是 6×10^{-3} 伏特/度

比起水銀溫度計來,溫差電偶有很多優點。它們比較灵敏,更快地



就可以具有与周围环境相同的温度，可以应用到很大的温度范围内，从 270° — $2,000^{\circ}\text{C}$ ，并且它们的示度能够在所规定的地點內傳遞到很远的地方去。温差电偶可以应用到科学和技术的各方面；例如，長1米或更長一些的大熱电偶，用瓷管來保護，可应用在熔鐵爐內測量溫度。很小的針形的温差电偶，由細金屬線做成，可以用來測量昆虫的溫度。

有時温差电偶由一个接头做成，如圖 408 所示。如果圖 408 接头 A 的溫度和毫伏特計以及与它相連的温差电偶的溫度不同，那麼在电路內產生电流。它的电动势差不多比例於毫伏特計和接头的溫度差。可以像前面所述的一樣進行刻度，並且毫伏特計通常保持为 20°C 。如果在另一种裝置的情況下測量溫度，那麼在儀器的刻度上必需進行適當的校正。

§ 4. 熱量 加熱使一桶水沸騰比加熱使一杯水沸騰，必須燃燒較多的燃料。一桶水倒入澡盆內比一杯水倒入澡盆內，使澡盆加熱較多。許多類似的事實告訴我們，一切加熱必伴隨某些熱量的吸收，而變冷必伴隨熱量的釋放。物体所吸收的或者所釋放的熱量由它的質量，溫度的变化和組成物体的物質決定。

取卡做为熱量的單位。1 卡的熱量能够加熱一克水，使它在 14.5°C 時升高 1°C ，即升高到 15.5°C 。通常用这个單位的 1000 倍，即所謂千卡或称大卡。

所以指出 1° 是由於，使 1 克水加熱升高 1°C 所需要的熱量在不同的溫度下是不同的。但变化很小，只有在作十分精確的測量時才去考慮它。

實驗証明：使 m 克的物質加熱，从 t_0 升高到 t 所需要的熱量 Q ，正比例於它的質量和溫度差：

$$Q \sim m; \quad Q \sim t - t_0.$$

引入比例係數 c 可寫作:

$$Q = cm(t - t_0). \quad (5)$$

乘數 c 叫做物質的比熱。為了說明它的意義, 從方程式(5)解出 c :

$$c = \frac{Q}{m(t - t_0)} \text{ 卡/克度}. \quad (6)$$

從這看出, 比熱在數值上等於加熱 1 克物質使其溫度升高 1°C 所需要的熱量。

在公式(5)中的 cm 決定使物體的溫度升高 1°C 所需要的熱量。我們稱這個量為熱容量, 並用字母 c 來表示。

在平常情況下, 比熱 c 實際上與溫度沒有關係, 因而可看作物質所特有的常數。可是嚴格地講, 公式(6)表示在溫度 $t - t_0$ 間隔內的平均熱容量。把公式(6)應用到無限小的溫度間隔 dt , 我們得到正確的熱容量

$$c = \frac{dQ}{mdt}. \quad (7)$$

這個式子在應用到很低的溫度範圍內特別重要, 在低溫時所有物體的熱容量改變很快。關於這個問題, 將要在第二十三和第二十四章內更詳細地討論。

§ 5. 熱的本性 關於熱的學說發展得很慢, 只是在最近約 160 年以前, 才將“熱量”和“溫度”●這兩個基本概念清楚地區分開來。其中最惹人注目的事實是熱量由物體溫度較高的地方向溫度較低的地方傳遞。在這裏我們很自然的把熱量比做液體, 把溫度比做液體的水平面。熱量由高溫的地方流向低溫的地方就像液體在連通的容器內從高處流向低處一樣。這個把熱量看做液體一樣的概念, 在很多關係上是很方便的, 因為這個概念使我們發展了, 用統一的觀點解釋大量實驗事實的理論。這樣, 在科學中產生了熱質 (沒有重量的熱的液體) 理論。很顯

● “溫度”這個名詞在科學上出現得較晚, 在從前都是說熱的強度。

然，熱質必須認為是沒有重量的，因為當物體溫度增高時決不能夠看出質量的任何變化。熱質的總量是不變的。它不消滅也不重新產生而只是從物體的一部分傳遞到另外一部分。

熱傳導和量熱法可以很好地用這些觀念解釋，但是在其他一些問題中還要發生很多困難。例如，大家都知道當摩擦時產生熱，野蠻人用兩塊木頭互相摩擦得到火。使這些木頭加熱的熱質從何處來的呢？為什麼在將金屬鑽孔時鑽子和鉋屑要發熱呢？熱質理論還不能對這些問題給以正確的回答。

羅蒙諾索夫是第一個起來積極反對熱質論的科學家。他的著作“論冷熱的原因”，出版於1747年，在熱量和分子（羅蒙諾索夫稱為沒有感覺的質點）運動的關係上，引入完全現代的觀點。隨着物體的加熱，無感覺質點運動的速度增大，物體的堅固性減少，質點間的聯繫減弱，物體遂熔化。在繼續加熱的過程中，速度變得相當大，以至於質點不能保持在一起而組成蒸汽。羅蒙諾索夫對於臨界溫度的研究特別使我們感到興趣。按照他的意見，決不能指出溫度的上限，因為質點的速度是沒有界限的，最低溫度（我們稱為絕對零度）應當相當於質點的速度等於零時的溫度。在結論中羅蒙諾索夫舉出好多理由，指出熱質論是毫無根據的。

這個著作，在當時是太先進的，未能得到羅蒙諾索夫同時代人應得的評價而被遺忘了。

在十八世紀末倫福德進行實驗，指出熱量的“物質的”理論完全無用。下面是他的論文的摘錄：

“不久以前，在蒙車兵工廠觀察在大炮上鑽孔，我很驚奇銅炮在鑽孔時得到那麼多的熱量；在鑽孔時從炮分出來的金屬鉋屑的熱量還要強烈些（比我用實驗發現的沸水的熱量要強烈得多）。

在上面所提到的機械過程中事實上出現的熱量，是從什麼地方來的呢？

熱量是鑽孔時從堅固的金屬物體所分出的鉋屑那裏得到的嗎？

如果是這樣，為了解釋所有發生的熱，那麼按照關於潛熱和熱質論的學說，金屬物變成鉋屑以後，熱容量不只是應當有變化，還應當變化得非常顯著。

但是沒有任何這樣的變化；我發現，取重量相同的鉋屑，和從同一金屬塊用小鋸鋸下來的細金屬條，在同樣的溫度下（沸水的溫度），把它們放入盛有同數量冷水的容器內（例如 59.5°F ）；整個看來，放入鉋屑的水和放入金屬條的水的溫度會變得恰好相同。

……討論這個問題，我們不要忘記考慮到那個最明顯的情況，由摩擦產生的熱源，在這些實驗中顯然是取之不尽的。

完全有必要加以補充說，這是某種任何孤立物體或物體系能夠無限地繼續不斷地供給的東西，它不可能是物質。如果不假定這是運動，而想建立正確的熱量概念，不是不可能也是非常困難的。”

用近代物理學的語言倫福德就會說，熱是能的一種形式。所以他得到了完全正確的關於熱的性質的觀念。

倫福德的實驗對熱質論判決了死刑，雖然它以後還保存了好幾十年。例如在 1826 年卡諾在他自己有名的著作¹（我們很快要熟識它）中還是以熱質論為基礎。

拿什麼來解釋熱質理論的那種生命力呢？問題在於，熱質論給出重要的實用結果，也就是說熱質論的本身包含有某些合理的東西。關於熱流的說法是合理的，但這只是熱能流，並非是沒有重量的熱的液體。在某種範圍以內熱質數量不變（量熱法）的觀念看來是正確的。就是這些觀念迫使科學家們保存了熱質論。而當前一世紀中葉更完美的更接近事實的熱的運動理論代之而出時，這一理論就包含了所有熱質論的正確的地方。

§ 6. 普遍的能量守恆定律 在第三章裏我們詳細地討論了在力學中的能量守恆定律。某些學者研究的結果，把這些定律推廣到別的自