

理論物理学

第一册 热力学

И. В. 苏什金 著

高等教育出版社

物

学

第一册

热力学

И. В.

苏什金

高

53.3

001842



理 論 物 理 学

第一册 热力学

И. В. 苏什金 著

北京师范大学物理系翻译组译

高等教育出版社

本書系根据苏联专家 Н. В. 苏什金 (Н. В. Сущин) 于 1956—1957 年在北京师范大学物理系理論物理进修班講課时所用的講义譯出。

本書共分四册出版, 順序是: 一、热力学; 二、統計物理学; 三、电动力学; 四、原子物理学基础(即量子力学)。

本書可作高等师范学校物理系的理論物理参考書, 也可供綜合性大学物理系参考。

第一册热力学是由北京师范大学物理系翻譯組閻金鐸、梁維雨两同志譯出, 喀兴林、梁紹荣两同志校訂, 最后由閻金鐸同志整理出版。

理 論 物 理 学

第一册 热力学

Н. В. 苏什金著

北京师范大学物理系翻譯組譯

高等教育出版社出版北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版业营业許可証出字第 051 号)

人民教育印刷厂印装 新华书店发行

統一書号 13015.706 开本 860×1160 1/16 印张 5 1/16

字数 132,000 印数 8001—12,000 定价 (C) 20.00

1959 年 12 月第 1 版 1960 年 1 月第 2 次印刷

譯者序

本書是苏联专家 И. В. 苏什金(И. В. Сүшкин)于 1956—1957 年間在北京师范大学物理系为理論物理进修班講課时所用的講義譯出的,原講義是苏什金专家根据多年的教学經驗編写而成的。本書的特点是:系統鮮明,由淺入深,概念清楚,取材适度,內容丰富以及結合实际与結合物理学新成就等。如,在热力学中着重闡明了熵的概念,同时对不可逆过程热力学作了介紹;在統計物理学中,从几率的基本理論出发,之后講出玻耳茲曼分配,进一步才引出統計热力学中的重要規律——吉布斯分配;电动力学的系統是先講真空中的电磁場的規律,逐步建立了在真空中的麦克斯韦方程組,然后,再將此麦克斯韦方程組推广到媒質中去,而由此出发,來講授媒質中的电磁場的規律;在量子力学中着重闡明了波函数 ψ 的物理意义,同时介紹了布洛欣采夫(Д. И. Блохинцев)和福克(В. А. Фок)的觀點,在量子力学中还以二次量子化的方法討論了超导电性和超流动性問題,同时对量子場論作了初步的介紹。

本書还注意貫徹辯証唯物主义观点,着重批判唯心主义观点。如對热力学中的“宇宙热寂論”,相对論中的唯心主义的时空观以及量子力学中的唯心主义观点等都作了頗有說服力的批判。

本書共分四册出版,即:一、热力学;二、統計物理学;三、电动力学;四、原子物理学基础(即量子力学)。

本書可作师范大学或师范学院物理系的理論物理参考書,也可作綜合性大学物理系的参考書。

北京师范大学物理系翻譯組謹識

序

本書是我于 1953—1957 年間在北京师范大学講課時的講稿。基本上是按教學大綱編寫的，書中不包括新的教材，它就是普通大學的熱力學課程。但在教材的選擇、安排或講授深度方面不同于其他書籍，因此，本書可能在教學法方面對讀者有些幫助。

由于學員具有較高的水平，并且給這門課的時間不多，所以對一系列問題的講述都是很扼要的，由于同樣的原因，完全省略了和熱力學發展史有關的問題。這本講稿又不得不比課程本身更加粗略些和扼要些。因而在講稿中出現公式化是可以理解的。

一切只要在熱力學範圍內能夠作到的地方，我都盡量強調指出了物理意義的一面，在一定程度上把教學放在了次要地位。在我看來，講述物理本質是非常重要的和必要的，因為數學工具一般在学习過程中不會帶來什麼困難。

根據以上所談的原因，并考慮到本課程應當是對第一次學習理論物理的三年級學生講的，因此熱力學的公理式的講法未必是適當的。所以有一些普遍的規律是從一些特殊情況推導而得來的。

我深刻地意識到這本講稿是不完全的。在出版前，我曾希望盡量根據我的學生們所提出的問題和意見來把它修改得好一些，但，非常遺憾，我沒能把它修改成我所希望的那樣。

著者

目 录

譯者序.....	v
序	vi

緒 論

§ 1. 理論物理的研究对象.....	1
§ 2. 热力学的特点.....	8

第一章 基本概念与热力学第一定律

§ 3. 热力学系統和热力学态.....	14
§ 4. 热力学过程.....	16
§ 5. 在准静态过程中压力所作的功.....	17
§ 6. 态函数.....	18
§ 7. 热力学第一定律.....	20
§ 8. 經驗溫度.....	25
§ 9. 态方程.....	28
§ 10. 热容.....	29
§ 11. 第一定律对于理想气体的应用 絕對經驗溫度 焦耳定律.....	30
§ 12. 理想气体的各种过程: 等容过程、等压过程、等溫过程、絕热过程、多方过程 和不平衡过程.....	33
§ 13. 第一定律对于处在压力作用下的实际的均匀系統的应用.....	39
§ 14. 第一定律对化学的应用.....	42

第二章 热力学第二定律

§ 15. 热力学第二定律的表述.....	47
§ 16. 卡諾定理.....	53
§ 17. 热力学第二定律的另外一些表述方法.....	59
§ 18. 热力学絕對溫度.....	60
§ 19. 第二定律的数学表述.....	62

§ 20. 焓及其性質	67
§ 21. 第二定律和宇宙	71
§ 22. 計算焓及其变化的最简单的例子	74
§ 23. 焓和量热学的概念	76

第三章 热力学第一定律和第二定律 对均匀系統的应用

§ 24. 定律的应用方法	80
§ 25. 热力学(特性)函数: 内能、焓、自由能、热力势	83
§ 26. 亥姆霍兹-吉布斯方程	87
§ 27. 电池	88
§ 28. 热力学量的导数之間的变换	90
§ 29. 导数变换的应用	92

第四章 非均匀系統和平衡条件

§ 30. 在热力学中的平衡	103
§ 31. 孤立系統的平衡	105
§ 32. 非封闭系統的平衡	107
§ 33. 热力学函数和物質的量之間的关系	111
§ 34. 化学平衡的条件	113
§ 35. 物質的量是一种势	115
§ 36. 平衡的普遍理論的应用	118
§ 37. 对于任意非均匀系統的推广 吉布斯相規則	120
§ 38. 单元系的两相平衡条件	124
§ 39. 第二类相转变	126
§ 40. 多元系	129
§ 41. 能斯脱定理	132

第五章 不可逆过程的热力学的基础

§ 42. 熵增加的速度	166
§ 43. 稳定的不可逆过程的理論及其应用	171

緒 論

§ 1. 理論物理的研究对象

物理学是一門自然科学，“物理学”这个詞的希腊文的精确譯文就是关于自然的学說。但是，这个定义太一般化了，不够精确。物理学不同于其他的自然科学，如天文学、地質学及动物学等等。它所研究的对象和現象沒有具体的范围。自然界的任何一种物体，任何一种現象都可以用物理学的观点来研究。一切現象，或精确地說，一切現象和物理学有关的方面，都是物理学所研究的对象。可是又不能認為物理学是一切自然科学的总和。只有在約3000年以前，物理学在希腊产生时，才是这样理解物理学的，当时物理学研究自然界的所有的物体和所有的現象。在那个时候的物理学相当于今天所理解的自然科学。从那个时候起，由物理学中分出了不少独立的科学，如地質学、化学、天文学以及生物学等等。

要說明每一門科学的特点，就要知道这門科学研究什么和怎样研究。物理学所研究的是物質和运动的最簡單、最普遍的形式。

例如，物理学研究行星、炮弹和人的运动。行星、炮弹和人的运动都有相同的地方，即在空間的位移。物理学正是研究这个相同的地方，而不考虑运动物体的具体性質。再举一个例子，在物理学中所研究的电流，可以由发电机产生的，也可以由电池或生物方法产生的。物理学推导結論所需的資料可从自然界各个方面取得。由于对月球和行星的天文观测，牛頓得出了万有引力定律；用电綫把青蛙的肌肉联成封閉的迴路，然后研究青蛙肌肉的动作，

由此就得到最初的电流学說；等等。

但是，如果說别的科学——如天文学、生物学等促进了物理学的发展，那么物理学的結論和方法也被所有别的自然科学所利用。作为科学原理的物理学原理具有特別的意义。因为最简单的物理規律具有极其普遍的性質，所以在自然界的一切現象中都有物理規律在起作用，因此在自然科学的任何部分都不可避免地包含有物理学。天体的研究借助于望远鏡、攝譜仪等最得力的物理仪器；关于天体构造和在天体中发生的过程的推論，是以近代物理的原子学說的論据为基础的；在医学中广泛采用着研究和治疗的物理方法；此外，还可以举出很多的例子。

物理学內容的极端广泛性和普遍性使物理学和世界观，和哲学发生直接的接触。物理学最普遍的原理，如能量的守恒和轉換定律、运动的相对性、物質的原子性，这些都是基本的哲学原理——辯証唯物主义原理的具体表現。因此辯証唯物主义的創造者馬克思、恩格斯、列宁把自己的注意力集中到物理学的問題上去完全不是偶然的。我們指出，恩格斯的“反杜林論”、“自然辯証法”、列宁的“唯物主义和經驗批判主义”都最直接地牽涉到物理学的原則性方面。在这些有名的著作中，深刻地分析了物理学的哲学基础，并指出了物理学发展的道路。可以很清楚地看出，所举出的那些恩格斯和列宁的著作都应当是唯物主义的物理学家的参考書。

物理学是实验科学，它是建立在定量实验的基础上的。当在許多实验之間还没有建立起相互的联系，还没有建立起理論——即解釋一系列的物理現象的統一观点的时候，实验的总和还不能成为科学。理論不但可以使已有的实验資料系統化，并且能預見到新的事实，这些事实是可以通過实验来驗證的。

众所周知，根据研究方法的不同，物理学分成实验物理学和理論物理学。如果說实验物理学的基础是实验，那末研究实验材料

和获得普遍規律所用的特殊数学方法就是理論物理学的特点。

理論物理学的任务是：建立物理量之間的关系，找出反映客观世界的性質的物理規律。确定物理量的数值，一般不包括在理論物理的任务中，物理量的数值是由实验物理求得。但不能把理論物理看成是脱离实验的，因为理論是由綜合实验而产生的，并且要根据由理論所得出的結果和推論是否和实验相符来檢驗理論的正确性。

我們要注意，物理学的定律是近似的，这些定律之所以是近似的，第一，这是因为无论什么实验都不是绝对精确的。由任何一种测量所得出的物理量的数值不是绝对的精确，而是一个上下限，所测量的量存在于这界限范围以内。随着测量技术的发展，上下限愈来愈近，但是要它們重合是不可能的。物理定律之所以是近似的，第二，或許这是更重要的，是因为現象的相互关联的性質，每一种現象都和极多数的别的現象有联系，而要考虑到所有的联系，自然是不可能的。当建立物理理論和根据实验数据推导定律的时候，总是由观察的現象中取出主要的、基本的現象加以考虑，而抛弃次要的現象。当分析的时候，实际現象就被理想化和简单化了，为另外一些設想出来的、只带有主要特点的現象所代替了。由于对現象作了必要的简单化，所以理論就是近似的。自然，随着物理的发展，分析理論时，在所有有关現象中，应加以考虑的数目逐渐增多，物理定律逐渐精确起来，但是，要得到绝对精确的定律是不可能的。辯証唯物主义教导我們說，自然界是不可穷尽的，彻底地了解整个自然界是不可能的。只能逐渐地提高正确性，愈来愈多地認識自然界。

忘了物理定律的近似性質，不管在什么时候都是不應該的。每一个定律只有在由它的理想化所决定的正确性范围之内才是适用的。

例如,自由落体的速度

$$v = (2gh)^{1/2}$$

对不大的 h 才是正确的;

$$f = ma$$

对不大的速度才是正确的;等等。超出适用范围的界限,将只能引导出极大的错误。

由前面给出的理论物理的定义就可以知道,理论物理和数学紧密地联系着,它广泛地应用着数学工具。这是可以理解的,因为理论物理研究各种物理量之间的数量关系,而数量关系是借助于数学来表现的。在近代的理论物理中,数学的“比重”不断地在增加,这是和新的数学假定的方法,即数学外推法的出现分不开的。现在我们来较详细地谈谈这方法的特点。

当简化事物的原理时,可以说,任何一种物理理论都是由相互补充和相互联系着的两部分所组成的。说明其中的第二部分比较简单,第二部分是理论的数学工具,它不是物理学,而纯粹是数学。第一部分是联系数学工具和自然界的那一部分,即第一部分把在第二部分中建立数学关系的那些量和真正的自然客体和现象联系起来。每一部分单独存在时都不能成为物理的理论。例如,

$$f_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} \text{ 或 } \left[i\hbar \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 - U \right] \psi = 0,$$

当数学符号和物理量之间还没有建立起联系时,这些方程纯粹是数学。这两部分进行的次序是这样的:起初,把自然界的物体和数(物理量)联系起来,然后进行数学演算,并获得结果;最后,进行相反的过程,即用物理概念来表现这些结果,使得能把所得到的结果和实验数据进行比较。我们要注意,任何理论的数学结构必须符合于自然现象的本质,不然理论的推论就会是荒谬的。

经典物理是这样发展的,第一部分通常走在第二部分之前,即开始时把物体、事物和物理量联系起来,然后在物理量之间列出方

程并建立定律。因为从日常的經驗中可以清楚看到事物和物理量之間的联系，所以列出方程是主要的工作。

近代物理，特别是量子力学和量子电动力学，以前和現在的发展都不是这样的。首先，把已知的方程加以完全任意的改变和推广，而建立起一套数学工具，即建立第二部分。然后把数学的假定或者是数学外推（因为已經超出已知界限之外）的結果和实验比較，看这些結果是否为实验所証实，从而决定是采用这个数学假設还是当作不正确的而抛弃它。用数学假設来建立理論的这种方方法，使得方程中的量，甚至方程本身的意义，常常都是完全不清楚的。仅仅由于理論进一步发展的結果，不清楚的地方才逐漸消失。

为了証明这点，我可以举出几个大家熟悉的例子，在 1900 年的时候，普朗克获得了理想黑体的光譜中的能量分布的公式。过了一段时间之后，普朗克才根据光輻射的量子概念解釋了这个公式。

薛定格建立了量子力学的数学工具，这个数学工具給出分立的能量值，而这結果和实验比較时有惊人的一致性。但是，在这时引进了一个新的量——波函数 ψ ，关于这个函数的意义，在这函数产生 30 多年后的今天也还进行着激烈的爭論。

量子理論沿着和相对論相結合的道路发展，而首先发展的仍然是数学工具。因此第一部分的发展就落后了。在这个基础上，在許多国家中，很多科学家迷恋于第二部分，而忽略了第一部分，結果就使得所建立的理論加倍数学化和极端脱离实际。因此产生了象列宁所說的情况：

“物質消失了，只剩下一些方程了。”

上述情况就引导到形式主义，引导到对物理方面的遺忘。这是物理学中的唯心主义根源之一。

在近代物理学中和在任何其他科学中一样，不断地和唯心主义进行着斗争。辩证唯物主义与资产阶级科学的代表者们所伪称的科学的“客观性”相反，公开地承认科学的党性和阶级性。科学，从这个词的广泛意义上来讲，一般地是属于社会意识形态的，属于思想意识形态的（属于思想意识形态的有法律，道德，科学，艺术，信仰）。但是，这样的结论须要加以说明。思想形态是上层建筑，任何上层建筑都由相应的基础而产生的。让我们回忆一下，基础是社会发展到这个阶段的社会经济制度，而上层建筑是相应于基础的种种社会思想的总和，是思想体系方面的生产关系。思想形态——法律，道德，哲学等等以及所有组成上层建筑的一切，都随着社会的经济制度改变而改变着。在基础变化的时候，自然科学和其中的物理学的情况却不同。实际上，欧几里得与毕达哥拉斯所建立的几何光学和几何学的定律直到现在也没有多大变化。而在这一段时期内，社会经济制度经过了一系列的根本变化：封建社会代替了奴隶社会，以后又出现了资本主义社会，最后产生了社会主义社会。因为自然科学的基本原理反映物质世界，即自然界的规律，所以这些基本原理具有不变的性质。

任何自然科学都必须分成两方面，其中一方面具有不变的特点，不依赖于社会经济制度，尤其是不依赖于思想意识形态的特点。这一部分是科学的实验部分，这部分科学的定律和生产工具、机器等相类似，它服务于社会上各个阶级和各种类型的社会。

科学的另一方面是变化的，是有阶级性的，带有思想意识形态，上层建筑的一切特点。这一部分是规律的解解释和说明。解解释具有积极的、阶级的和党性的意义。从海森堡的测不准关系式，热力学第二定律开始，到河外星云光谱的紅向推移为止，对一系列物理定律和现象的各种唯心主义解解释是大家所熟知的。

资本主义总危机的加深除开带来所有其他后果之外，还带来

了在各方面更尖銳的思想鬥爭。很自然，思想鬥爭也滲入物理學中來了。一系列的大物理學家，例如薛定格、海森堡、狄拉克、約爾旦、波恩等，不斷地鼓吹物理學中的公開的唯心主義觀點。對於這些唯心主義體系，不僅應當看出他們對真正科學世界觀即辯證唯物主義世界觀的無知，並且應當很清楚地看出他們完全是為了滿足一定的社會要求。

在蘇聯的科學文獻中，和外國物理學家的一些具體的科學成果一起，常常也滲進來了各種類型的唯心主義。蘇聯的一系列理論物理書籍，如朗道和栗弗席茲的“理論物理學教程”，弗倫格耳的“統計物理學”，最大缺點是在其中沒分析物理的基本方法論的問題，也沒有批判在外國傳播很廣的唯心主義觀點。為了了解不清楚的方法論方面的問題和揭穿有害的唯心主義觀點，進行了很多爭論和討論，從 1948 年開始的爭論和討論涉及了近代物理學中的一些最重要的問題。在這裡，要敘述爭論和討論的結果，即便是簡單地敘述，也是不可能的。我介紹大家去看“哲學問題”雜誌，這本雜誌定期地闡述爭論的過程。集體來討論理論的作用是很大的——“如果沒有不同意見的爭論，沒有自由的批評，任何科學都是不可能發展，不可能進步的，”（斯大林：“馬克思主義與語言學問題”）。對於量子力學和相對論的方法論問題的爭論結果，在蘇聯幾乎所有的學院都進行過討論。在這些學院里討論過許多國外的和蘇聯的物理學家所寫的書籍和文章。這件工作獲得了應有的成績。但是，為清除理論物理中的唯心主義而進行的鬥爭，應當經常地進行，並且也確在經常地進行着，因為只有唯物主義的科學才能給出有價值的和正確的結論。

在結束關於理論物理的討論時，應當來談談它的實際意義。但是，近代技術是這樣地依賴於物理學，以致沒有物理學就不可能存在。這些是大家都知道的，因此再談它就成為多餘的了。

§ 2. 热力学的特点

馬克思哲学唯物主义教导我們說：世界按其本性說來是物質的，即世界上所有的現象都是不断运动着的物質底显现。在哲学意义上說，物質运动就是在自然界中发生的所有可能的变化：在空間中的移动、化学反应、物質从一种态到另一种态的轉变(例如溶解、蒸發)、思維过程等等。每一种运动的形式或一系列彼此有关的运动形式都分別由一門科学来研究。例如：化学是研究物質定性的变化，心理学是研究运动的特殊形式——思維——的規律。物理学研究的对象是运动的最簡單、最普遍的定量的性質和規律，由于本身的广泛性，这些性質和規律在某种程度上在自然界的所有現象中均可見到。

能量是物質运动的量度。在机械运动的特殊情况下，能量与空間移动速度的平方成正比。能量的各种特殊形式——机械能、电能等，相应于运动的各种形式。無論就形式而言，或就强度而言，物質运动的任何变化都能立刻反映出能量的变化。因此，研究物質能态的变化应当得出物質运动变化的知識。

研究有关物体能态的变化、能量从一种形式到另一种形式的轉換、能量从一个物体到另一个物体的轉移这些宏观現象方面是物理学的一部分，称为热力学。当然，热力学也研究与能态有关的物体的性質。因为能量的規律表現于任何形式的物質运动中，所以热力学可以用来研究各种不同的現象：物理現象、化学現象、生物現象。

然而，必須立刻指出，直到最近，热力学仅研究最簡單的平衡現象；热力学研究的所有过程都是平衡态的延續。关于热动平衡的学說——热靜力学——获得了很大的发展，它变成了專門的和具有广泛应用的物理学部分。直到最近几年，通常所說的热力学

實質上是热靜力学。

現今的热动力学——关于迅速的不平衡过程的学說——在最近才兴起和开始发展,由于这个原因,現在应当把热力学(当然,热靜力学也包括在内)理解为所有物理过程的一般唯象理論。

在这本講义中,絕大部分将講述热靜力学的問題,仅在最后一部分,才簡短地闡明热动力学的原理。

两个綜合实验事实的定律是热力学的基础,这两个定律是能量守恒和轉換的定律(第一定律)及确定自发的(无外界影响而进行的)物体能态变化过程的方向的定律(第二定律)。两个定律是科学世界观的基础,因此,它們具有重要的哲学意义。通常所遇到的热力学的定义(即热力学是根据两个定律来研究各种現象的科学)并没有足够完全地說出热力学的特征。

热力学的全部內容都是从两个定律出发按严格的邏輯推理導出的。这情形和以牛頓定律为基础的力学,和有麦克斯韦方程的經典电动力学相类似。这两門科学都是演繹的,数学的科学。在这兩門科学中以結論和实验的比較来檢驗基本原理的正确性。如果有即使是一个結論与实验事实相矛盾,則这就是說原理是不正确的。从热力学两个定律出发,还没有得到这样的“矛盾的”結論。

按照研究的范围來說,动力論和統計力学是与热力学相近的物理学的二个分支,而动力論和統計力学的研究方法是与热力学的方法很不相同的。热力学的研究可以認為是現象的外部描述,而不涉及現象的内部分子机构。热力学是一門完全不考虑物質的原子-分子結構的唯象的科学。由此可見,热力学給出的是帶有一些常数的方程(主要是微分方程),这些常数的值,或从实验、或从現象內部机构的分析(这已經不屬於热力学范围了)来获得。

統計力学是把物体看作由大量遵循力学定律的分子所构成

的。应用几率的数学理論，我們能得出关于分子集合的行为的普遍結論。用統計的方法可以得到和解釋热力学的关系(例如，第三定律)，但常数值还是不能确定。这里，可能发生这样的問題：热力学是否应当仍作为一門科学繼續存在？是否应把热力学与統計力学合并起来？热力学应当作为一門科学而繼續存在，因为它具有不同于統計物理学的特殊的研究方法和研究对象。

热力学和統計力学給出一些相同的結果，这种情况，仅仅表示以不同的方法描述統一的运动着的物質性質的两种科学体系的正确性。

动力論研究各种現象中每一单个分子过程的机构，并从关于分子及其間的作用力的一些假定出发，获得热力学中未知的常数值。

統計力学和动力論之間比較其中任何一个与热力学之間有更多相似的地方；統計力学和动力論都从一定的、具有不同詳細程度的分子概念出发，而热力学却不是这样。然而，在它們之間划一条清楚的界綫却没有必要，因为这些科学从不同观点研究运动着的物質的近似性質，可以互相补充，并且在其基本概念中具有很多相同之点。

热力学的力量在于它的唯象性和与現象机构无关的抽象性。如果我們已知所研究的現象的一些定量的規律，則应用热力学的方法可以完全形式地得到新的我們不知道的关系。例如，从輻射压等于輻射能密度的 $\frac{1}{3}$ 的事实，很容易得到斯忒藩-玻耳茲曼定律，从超导体的热容量和溫度关系可以导出临界磁場和溫度的关系式等等。由此，一种流行的說法：“热力学使我們的知識增加了一倍”的意义就很清楚了。可是，热力学只能增加一倍，再多是不可能的，因为再多就必须研究热力学所完全不考虑的現象的微观分子方面。