符号、单位、术语和基本物理常量目前状况与未来走向

第 2 委员会
Brian W. Petley

引　言

这个领域以特殊方式涵盖整个物理学，因而根据整个物理学未来发展的研究，此领域很可能的未来发展将是显而易见的。

这是一个重实效的课题，它利用可资用的最佳测量。这既依赖于又帮助提供我们对物理学之理解的最严谨检验，因此这些是很难以事先预言的，所以我们倾向专注于本书其余各章中不会予以强调的那些方面。

应该着重指出，物理学的这个一般领域，尽管广泛范围的人才都能加以吸纳，它在智力需求方面，正像物理学的任何其他部分一样迫切。虽然经常受挫，最末位小数的物理学具有独特之美，从事于此者会证实这一点。我们受教导要通过分离变量进行物理研究。然而，在最末位小数方面，人们从不知有何其他物理学会干扰这个正确原则。物理学家进入其领域，一些人停留下来，其他人继续前进——当他们这样做时，有些人领取他们的诺贝尔奖。没有必要为准确度而困扰。激励起兴趣是由于杰出物理学家的看法，“上帝就在细节之中”(魔鬼也是如此)。计量学家必须对物理学像对准确测量事物一样地普遍感兴趣——那就是对此课题感兴趣之部分原因所在。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

为了对物理学的发现进行交流和将理论与实验进行比较，必须要有国际上约定的词汇，物理量系统，所作测量所达到程度的传达方法，以及相应良好定义的单位制。这使得旁人能将我们的工作与其自身的工作联系起来。

词汇、物理量、单位和不确定度,现在与过去相比而言,因此更加是近代物理学的基本部分。有一同事指出，我们对这个方面的工作没有给予充分关注，当然，这是有益的，但也是颇为令人厌烦的。

在物理学中，我们倾向于要使术语与特殊目的相配，因为我们显然总会期望，当从事达许多位小数的工作时要比仅执行是非型测量时给予更多关注。物理学术语，计量单位以及相关不确定度陈述必须全都能够应用到情况所需要的最高准确度和任何精致程度。因为科学测量的准确度一直在提高，所以相应计量系统也必须不断改进。

词汇和准确度规则

物理学家并非在孤立环境下工作，因而甚至极重大问题之所以要加以克服也是为了物理学与科学和技术其他分支学科之间在概念和数据方面成功的双向交流。我们还必须能够(i)与大街上的男男女女进行交流，因为在负担我们的工作费用方面最终是他们以某种方式扮演主要角色，以及(ii）与尚在教室内的下一代物理学家进行交流。所有这些方面，尽管有时使人厌烦，但对近代物理学是很重要的。随着物理学进展到越来越高的准确度，我们对一个稳定的与约定的工作平台的需求也变得越来越重要。

我们的单位制的许多方面（例如其量纲，以及计量词汇）是为科学、技术与日常目的而制定的，我们的观念会随新近发现而演变。尽管我们的强烈直觉认为应该可行，大自然迄今未曾提供过长度、质量和时间的任何惟一自然单位；比如以电子和质子质量、普朗克常量、基元电荷、光速、牛顿引力常量等这样一些基本物理常

量的组合为基础，可以有许多种可能性。

国际单位制(SI)

物理学家为了讨论特殊问题，总是需要各自领域的特有单位，经常有一类小组词汇，用于小组内以简约方式进行观念的交流，但这会使界外人士引起困惑。因此必要条件是要有一个使大家都能理解的普适单位制。国际单位制(SI)为科学和技术提供了一种通用单位制。尽管他们可能喜欢其特有单位，物理学家初次应用它们时,最好用 SI 单位来给出其结果；以便人人确切知道正在说的或者写的是什么意思。近四十年应用期间，随着科学和技术取得进展,SI 制也经受了修正。使大多数物理学家非常满意的是，人为标准正由建立在原子和量子现象基础之上的那些单位和标准所取代。看来今后几十年这个过程很可能会继续下去，它反映着这样的事实，大自然并未提供唯一一组自然单位。

(1) 秒和时间计量

计量准确度一旦超越百万分之一的水平，地球证明是愈来愈差的时计。国际计量大会（CGPM 1968)首次依据与铯 133 原子基态中指定超精细能级间跃迁相对应的微波频率来定义秒。现在的准确度达到这样的程度，以致于对测量得的铯频率必须作广义相对论修正，以便考虑到涉及室温仪器与黑体辐射有关的频移，以及考虑到高度效应。这种引力的和其他的修正在未来甚至会更加重要。

精密计时技术已经用于测量月球的距离达厘米准确度，而卫星导航系统会立即告知我们在太空中、在空中、海上或地面的位置达到相当于 0.1 纳秒计时准确度或更佳。

使冷原子产生激射的能力的发展已导致铯喷泉原子钟，铯原子先垂直上升几十厘米后通过同一微波腔回落，从而可以观测极窄光学（拉姆齐）条纹。这些已经增强了我们以很高准确度去实现

和计量时间的能力。还有其他一些系统，包括汞和铷离子，室温和低温氢微波激射器，以及甚高 Q 微波腔，它们是理想的辅助标准。

在可见光谱区以及更短波谱区曾经观测到极窄共振，未来其中一二完全可能提供更加准确的频率标准或时钟。今后三十年左右，根据铯中超精细跃迁给出的秒的定义完全有可能被取代。

(2) 米

激光技术使得通过时间与光速约定值来定义米成为可能。其结果是原则上可使米以象秒一样的准确度得到实现。令其能实现之必需技术的发展使此可能成为现实。然而，长度计量的准确度尚未完全赶上时间计量的准确度。

离子和原子阱使得能够在可见光谱区和甚至更高频率下对极窄跃迁进行研究。如上所述，计量准确度正在很迅速地取得进展，有一天可能导致使用光学跃迁来定义秒。原子氢中 1 s—2 s 跃迁早已是米的定义中投入实践的部分。

(3)伏特和欧姆

低温固体物理学曾经导致利用布赖恩 · 约瑟夫森的约瑟夫森效应和克劳斯 · 冯 · 克利青的量子霍尔电阻来分别保持很稳定的电势和电阻的单位。尤其是约瑟夫森效应，未来也许能够改进至更高准确度。量子霍尔电阻的当代测量所能掌握的准确度颇差。未来或许会有其他固态测量容许精细结构常数与空间阻抗的其他组合，而不是与量子霍尔电阻的组合。我们的物理知识过去经常被证明为只不过是真实之近似。作为这个过程的一部分，未来会为这两个效应的基础理论提供日益严谨的检验。

(4)千 克

千克原器所达到的准确度完全在计量学家的目标以内。他们有一供选择的方法，它以电瓦特的实现为基础，当准确度一达到下一位小数，他们就能看出所实现的质量单位之发展趋势。我们已经习惯于由质量、长度和时间的单位所导出的计量系统，人们早已会

推测应如何用某种类型原子质量的定义来替代千克的定义。有几种相关的可能性，包含阿伏伽德罗常量的约定值。可以想像，但未必可能的是，瓦特甚至会变成一个基本单位，而千克则成为一个导出单位。然而，目前看来更可能的是这种情况会以同样方式发生，差不多就像一度曾建议用欧姆作为基础电学单位但隐含于安培的定义中那样。所采取的解决办法将依赖于科学界、技术界、商界以及其他各界的观点，并且只有在经过最广泛可能的协商后才能达成。

(5)开尔文

我们的温度单位当前是以水的三相点为基准的。不很明确的是术语水所指究竟为何物，因为含氘水与含氢水的三相点之间有显著差异。水的氘含量随水源而变化。因而尽管目前未规定水的同位素成分，但当科学与技术显现出需要更高准确度的温度计量时，这将逐渐变得更加重要。更长期而言，可能用某种方法以玻尔兹曼常量(或者等效地,摩尔气体常量)为基础,而不是以水的三相点为基础，这样的定义在今后二十年左右将会日益受到讨论并得到实现。

(6) 坎德拉

坎德拉几乎纯属一个生理学单位，因为它强烈地依据于人类眼睛的特性。对于很重要的电影业、照明业、摄影业、电视业以及其他有关工业，它是必不可少的一个单位。通过在低温辐射计中用等量电能替换而以高准确度来计量光能：这样的能力日益增进，使人联想到用流明作为光学基础单位或许会是更好的长期选择——但仅当那是大多数人所想要的。诚然，在许多场合，用瓦特来表达激光功率要比用坎德拉来表达其发光强度更加经常。目前该单位的实现达到比 0.1%更好些。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

摩　　尔

这个量在近代化学中以及在物理学与之相交叠部分中极为重要。摩尔往往没有为物理学家正确理解。这情况伸展至阿伏伽德罗常量以及包含摩尔的其他物理常量，诸如法拉第常量和摩尔气体常量。许多这些问题反映了厘米、克、秒单位制的继续使用以及认为 SI 制只不过是前者所导出的误解。在某些方面它是如此，但在另一些方面则有重大差异，尤其是在涉及摩尔之处。

阿伏伽德罗常量隐含于摩尔的定义中，但其值必须由实验获得。对于以原子质量和原子能量诸量为基础的单位和计量与以相应 SI 单位为基础的计量两者之间的关系而言，它是其重要部分。因此，它的计量与我们对原子质量单位、普朗克常量等的知识有关，以及与前面所讨论过的千克的实现有关。

基本物理常量

自然界存在一组不变量的实验确证，导致实验上测量其值的种种方法。不久就有了比常量数目更多的测量，所以必须发展出统计方法以寻求与大量数据相一致的一组值。由 R. T. 伯奇所倡导的这个过程，现今在国际科学技术数据委员会（CODATA)基本物理常量工作组的领导下继续开展。从物理学不同部分得出的值，它们互相一致或者不一致达何种程度，为有关实验的准确度以及我们对所涉及现象的理解提供一种严谨检验，这样的比较有时曾导致新发现。

许多基本常量的评定值，其准确度每十五年左右提高十倍，此过程似应继续下去。这种情况之所以成为可能，部分是由于我们在越来越高的频率下作准确计量的能力以及我们在越来越低的温度下操作以降低热噪声和多普勒运动的能力。

关于许多基本物理常量未来可预期的准确度，我们并不试图

在这里给出其详细清单，因为它们日益相互依存。这情况反映我们对最末位小数的物理学的理解。当然，一切计量均会有极限准确度，但在物理学的许多领域，我们离极限前沿尚远。

原子质量

原子质量是基本常量的一个子集，其计量准确度类似地一直在取得惊人进展。这不仅适用于稳定核素的质量，而且也适用于远非稳定核素的质量，以及还适用于新镄后元素质量的计量。元素 114 区的稳定岛是令人感兴趣的特殊区，人们很可能要致力于此区元素的生产。

离子阱已经用于对质子、硅和铯离子的原子质量以碳 12 为标准作极准确计量。这些质量只不过是通过校正电离过程中所脱离电子的质量与结合能而使之校正至相应原子质量。离子阱很可能日益被用于其他离子的场合，以便改进我们对元素性质的理解，而这个领域非常艰难的进展将补充成为改进的原子质量表。

精细结构常数

通称精细结构常数的量在物理学中以及也在计量学中起深远作用，尤其是在选择适当单位来表达我们的测量方面。因此，我们需要尽可能准确地知道此常数，因为它是如此普适。在量子电动力学领域中尤其重要，它提供机会来检验我们对显著不同领域中物理学的理解的准确性。

使冷原子产生激射的可资应用性，已被用于改进我们关于这个常数的知识，具体是通过诸如铯等重原子之康普顿波长的经改进测量，这样一个过程很可能将继续下去。然而，其他光谱测量提供重要信息，如轻子的反常磁矩以及冯·克利青电阻等的准确测量这类例子所说明的那样。

普朗克常量的测量

如果我们信赖约瑟夫森效应和冯·克利青效应的理论，普朗克常量以及其他许多常量的准确度受限制于我们对 SI 制瓦特的知识。就 20 世纪大部分时间而言，这是利用安培和欧姆予以实现的。然而，布赖恩·基布尔等人发展了一种新方法，通过瓦特的绝对实现使人们能获得极高准确度。于是可将这个实现与通过约瑟夫森伏特和冯·克利青欧姆所维持的那个相比较。用这种方法，就我们所知，许多基本常量的准确度已经提高大约五倍，视具体常量而定。看来方法的准确性能够进一步改进，也许会达到允许替代千克的程度。因此人们能期望有这样的一天，当许多常量的值用 SI 制单位表达时，它们真正是常量——几乎就像光速值已被固定而包含于米的定义中那样。推导基本物理常量的这个方法，当前看来要比从硅的晶格参量和密度的测量来推导阿伏伽德罗常量这样一种可选择途径更加有希望。然而，将由未来作抉择，因为物理学永远充满惊奇。

结　论

第 2 委员会(C2)所覆盖的领域是物理学“机房”的一个重要部分，在帮助物理学应用于为人类利益服务方面亦是如此，这个简短评述阐明本篇标题所覆盖的整个范围正取得惊人进展。这些进展既是建立在物理学其他领域所取得的进展之上，又有助于使后者成为可能。进一步的进展在未来一段时间是可以预言的。

（徐锡申译）

20 世纪转折时的统计物理学

第 3 委员会

Kurt Binder . Pierre C. Hohenberg

引　言

统计力学是物理学的一个分支，它把原子尺度（埃的尺度）的物理性质与宏观尺度的物理性质，以及所有有关的介观与宏观现象联系起来。如果知道了原子之间的相互作用力，要计算所有感兴趣的宏观物理量，就需要处理涉及大数量的相互作用的问题（须知凝聚体每立方厘米所包含的原子数目量级达到 10^{22}）。倘若这一任务能够完成，我们不仅理解了热力学的原理，而且具备了应用于许多其他领域，如工程、材料科学以及物理化学等的理论基础。

上面所勾画的统计物理学的概念已有一百多年历史了。它可以追溯到 19 与 20 世纪转折时期的玻尔兹曼，吉布斯以及许多其他现代物理学家的贡献。在一百年以后的今天，我们要问：统计力学这一物理学分支的现状怎样？标志其发展的里程碑是什么？哪些基本问题尚未解决？未来几十年的发展重点会是什么？等等。

统计力学基础问题

人们或许会感到惊讶，统计力学最基本的基础仍然是一个活跃的研究领域。让我们简单地概述一下这些问题。我们知道，在基本粒子和原子尺度描述系统随时间演化的基本方程已是熟知的了。我们还知道，在经典极限情况下，量子力学的运动方程还原为

经典力学的牛顿方程，它们描述系统的态随时间的演化。因此，很自然的是把宏观系统（假定处于热平衡态）的任何可观察量看成是相应的微观量沿着相空间中系统的相轨道的时间平均（在经典统计力学中，N 个原子的相空间是由所有粒子的坐标和动量构成的 $6N$ 维空间）。

根据统计力学的遍历性假设，上述的时间平均可以代之以适当的统计系综(描述代表点在相空间的几率分布)的平均。例如，完全与其环境隔绝的孤立系统的能量是守恒的，因此系统的相轨道必定落在相空间的能量超曲面上。按照统计力学的微正则系综，在此能量超曲面上的所有区域是等几率的。由此可以建立统计力学定义的熵，并由熵极大原理导出相应的可观察量的系综平均值。当然，沿相轨道的时间平均与在能量超曲面上的系综平均的等价性，是高度非平庸的。因为它意味着能量超曲面上的相轨道是充分的混沌，以致于它能在足够短的时间内（译者注：指宏观短但微观长的时间）充分接近超曲面上的任意点。要使这些条件（这里只能非常粗略地叙述）尽可能精确地实现，并认识到系统的哪些性质保证了遍历性假设得以满足，以及对少数几个相当特殊的反例，为什么遍历性假设不满足，这些都是长期以来具有挑战性的问题。

与此相关的另一个问题是不可逆性。热力学第二定律告诉我们，如果孤立系不处于平衡态，它的熵随时间的变化总是增加的，绝不会减少（除了统计涨落外，而后者在热力学极限下绝对可以忽略）。那么要问：如何能从完全时间可逆的经典力学的牛顿运动方程推导出热力学第二定律呢？

上述两个问题，遍历性与不可逆性，都是很难回答的，其阐述需要用相当复杂的数学语言，这里不准备叙述。但我们想强调，对这两个问题的认识，很多得益于对经典力学中非线性问题和非线性动力学，以及混沌运动科学的细致深入的研究。有关的进展已被记载在玻尔兹曼奖获得者的工作中，如鲁勒(D. Ruelle，1986)，席

耐(Y. Sinai，1986),和利玻威芝(J. L. Lebowitz，1992)。不过仍然存在相互矛盾的观点。1998年在巴黎举行的上一届统计物理会议中，关于不可逆性的争论就是一个明证。毫无疑问，这种情况在未来几十年还会持续。我们还想强调，这些有争议的问题主要涉及的是基本原理，而与解决实际问题（包括不可逆现象）的具体计算没有什么关系。事实上，对偏离平衡态很小的现象可以很方便地用线性响应理论处理，久保亮武（R. Kubo）因这方面的贡献而获得1977年玻尔兹曼奖,以后该理论还有许多进一步的发展。然而,远离热平衡态的现象仍提出了许多重要的、涉及对统计物理基本认识的问题，下面还会再谈到。

临界现象理论

当我们处理平衡态统计力学问题时，各种统计系综（微正则、正则、巨正则）原则上均可提供描述原子及它们的相互作用的微观哈密顿量与平衡态物质的宏观性质之间的精确联系。然而要实际完成这一计算,只能对相当简单的系统(理想气体,稀溶液,谐振子集合,以及能用它们描述的系统,如低温下的晶体,理想顺磁体,等等）。这些都已成为各种统计力学标准教科书中广泛叙述的内容。而所有其他的系统，仍然是活跃的研究课题。熟知的一个例子是经历气-液凝聚的稠密流体：虽然早在一百年前就可以用范德瓦尔斯理论定性描述，但该理论却不能正确描述临界点邻域的行为（例如，我们知道序参量的临界指数是 $b=0.325$，而不是如该理论所预言的 $b=1/2$），这一点五十多年前已从实验上知道了，但定量精确描述气-液相变的临界行为的理论直到60年代才出现。理论进展中非常重要的一步是对临界现象一些普遍性质的认识，它们包括：

(1) 趋近临界点时,序参量(上例中为液、气密度之差)可任意地小，然而自由能却不能按朗道理论所假定的那样展成泰勒级数，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

为什么会这样？

（2）各种物理量的临界奇异性是如何相互联系的？什么是表征临界指数相互关系的标度律？

（3）如何理解临界现象的普适性的物理基础？例如，为什么气-液临界点的临界指数与二元混合流体，各向异性磁体，以及某些二元合金(如 β铜)的有序-无序转变的临界指数相同？

在过去 40年中，统计物理理论最大的成功之一就是临界现象的上述问题得到了阐明。为此，玻尔兹曼奖颁发给了费希尔（M. E. Fisher，1983）、卡达诺夫(L. Kadanoff，1989）与威多姆(B. Widom，1988），以表彰他们在发展标度律和普适性等方面所做出的特殊贡献。尤其重要的成就是重正化群理论的建立，威尔逊(K. Wilson）因在这方面开拓性的工作而获得 1977 年玻尔兹曼奖与1982年诺贝尔物理奖。重正化群理论使我们能够理解哪些性质决定了普适类，临界指数及相关的普适量（如标度函数与普适的振幅比)究竟与哪些性质有关,与哪些性质无关。

数值方法

必须强调，除了相当简单的“球模型”可以在任意空间维数严格求解外，我们还不知道有任何其他模型可以在三维空间严格求解,并具有临界点。因此,为了研究三维空间的临界现象与相图,发展数值方法非常有价值。例如蒙特卡罗方法（Metropolis 等,1953年)以及分子动力学摸拟方法(用高速计算机解牛顿运动方法)。这些方法仅在最近几十年才变成统计力学的最重要的工具之一，虽然用计算机模拟获得的某些重要发现（例如硬球系统的固-液相变）要更早一些。值得注意的是，尽管重正化群方法可以精确计算临界指数等普适量，但该方法不能预言非普适量，如临界温度和流体的临界密度，或临界振幅的绝对大小。现在这些任务可以用蒙特卡罗方法，借助于对有限大小的系统的计算机模拟结果的恰当的

分析，并根据有限大小标度理论得出的适当的参数作为输入，而满意地解决。（要知道在实际数值模拟中，N 不是 10^{22}，而量级仅为 $10^2 \sim 10^8$。因此用 N 的变化作为一个控制参数是最有用的）。

一方面，由于计算机模拟能以相当直接的方式实现统计力学的许多概念（如加上或除去各种微扰的线性响应概念，以及对大系统中一些小的子系统的分析）；另一方面，不像 30 年前，今天每位科学家的办公桌上就有计算机，因此近年来计算机模拟已成为解决统计力学任务的一种标准工具，而且还远未被充分开发。显然，计算机模拟方法将继续得到广泛应用。但是另一点也很清楚，要使计算机模拟的潜力充分发挥，必须注意它与解析方法及实验方法的相互影响；还须注意，分子动力学方法和蒙特卡罗方法本身都有一些重要问题没有解决。无论是它们处理经典统计力学的原来的形式，或是推广以处理量子统计力学，有时会遇到严重的困难。例如，当我们试图推广量子蒙特卡罗方法去处理费米子自由度时遇到的著名的‘负符号问题’的困难。如果这一领域能得到突破，用数值方法处理统计力学将在低温凝聚物质系统得到广泛的应用（如磁性，超导体，半导体，金属-绝缘体转变等）。

有序化与相变的新类型

有一个相变的分支迄今还没有得到很好的理解，它涉及淬致无序效应。虽然复本方法(replica method)对研究某些问题是有用的工具，爱德华兹(S. Edwards)因这方面的贡献而获得 1995 年玻尔兹曼奖，但许多问题仍未解决。著名的例子包括具有无规场作用的伊辛模型，或具有正负符号相互竞争的随机键的伊辛模型（即所谓‘自旋玻璃’）。

过去 30 年中，在这些系统中已发现了性质上不同的新的有序化与相变类型。尽管平均场理论对伊辛铁磁体是平庸的，但它却是处理伊辛自旋玻璃的有力工具。帕里西(Parisi)因这方面的贡献获

1992年玻尔兹曼奖。不过三维伊辛自旋玻璃的“玻璃转变”点以及低温相的性质至今仍有争议。此外，我们也还不了解自旋玻璃与“普通”玻璃转变（即从过冷流体到非晶态固体）有多少共同之处。了解玻璃转变无疑是当代凝聚态物理学中面临的重大挑战之一。现在，这方面已引起了人们很大的关注，并将在未来几十年中继续成为统计力学的基本研究课题之一。

与上述同样状况的是表面与界面现象的研究。虽然早在200年前就有了用杨氏方程确定液滴与固体表面的接触角，以描述与饱和气体相接触的固体表面“润湿”或“非润湿”的概念。但直到1977年才建立了对这两种状态之间的润湿相变的概念的理论表述。润湿现象及其相关的问题（如多层吸附，界面粗糙化及表面张力波，临界吸附及表面临界现象，晶体的小面化转变，表面熔化以及其他类型的表面诱发的有序-无序转变等),是十分活跃的研究领域，还远远没有被充分地探索。

软凝聚物质

关于平衡态统计力学，我们想在这里强调的最后一个题目是“软凝聚物质”，它包括许许多多不同的系统，最突出的有液晶，高分子溶液与熔体,橡胶,高分子乳胶,气-液界面的肥皂分子以及与之相关的由类脂分子形成的朗缪尔薄膜，生物膜及由它们形成的超分子结构等。50年前,这些都被认为是化学研究的课题,早期的理论成就还被授予了诺贝尔化学奖，如1974年弗洛里（P. J. Flory）因研究高分子而得奖，但现在已形成统计物理很大的一个研究领域。特别是通过德让纳(de Gennes)开拓性的工作(获1991年诺贝尔物理奖），他证明了研究临界现象所发展的理论（标度理论与重正化群）在这一领域是多么有用，并解决了一些长期悬而未决的问题，如良溶剂中长柔性巨分子端到端距离所遵从的规律。

软凝聚物质中的相变与统计物理学中的相变存在多方面的联

系。例如溶液-凝胶转变可以联系到逾渗问题，即用导电或绝缘的线段随机放置在点阵上，问什么条件下点阵网络出现宏观导电性。又例如高分子乳胶或嵌段共聚物熔体的中间相，它们与简单固体中的有序结构具有惊人的相似性，但前者更容易用统计力学解析方法求解。这是因为它们所涉及的长度尺度很大，可以用“平均场”类型的理论更准确地描述。毫无疑问，这一领域是统计力学中发展最快的研究领域之一,并有特别高的‘回报”,因为经常会发现这一领域与其他问题之间存在极有趣的联系：例如，“蛋白质折叠”与“玻璃转变”之间存在联系，二者的相空间中都具有复杂的“能景”(“energy landscape”)。软凝聚物质还可以用非平衡统计力学最有效地加以研究。由于过程进行得比较慢，且发生在更长的空间尺度,因而比较容易用实验方法加以研究。例如对‘失稳分解’过程，即二元混合物在其不稳定区通过自发浓度涨落而引起的离析过程，可以通过高分子混合物充分地加以研究。

非平衡问题

毫无疑问，非平衡统计力学是一个非常重要的、并日益活跃的分支领域。在讨论遍历性时我们曾提到‘非线性动力学”,它推动了对湍流初现及流体动力学斑图（pattern）形成等的研究。虽然本世纪中已开始研究完全发展的湍流的标度性质，但仅在最近 30 年，非平衡凝聚物质中斑图形成的物理规律才成为研究焦点，包括流体动力学的经典问题［如瑞利-贝纳尔(Rayleigh-Benard)对流］,以及其他一些问题，如枝状凝固，粘性指进，共晶结晶以及表面上生成的前分界面等，所有这些显然有重要的技术应用，如有助于了解金相微结构。

我们知道，平衡态问题可以用自由能函数的极小来表述，但远离平衡现象不存在这样统一的原理，而必须解动力学方程。如为了描述化学反应中的螺旋波等斑图，需解反应扩散方程。为了描述瑞

利-伯纳尔圈等流体动力学斑图，需解纳维-斯托克斯（Navier-Stokes）方程，或其简化形式，如振幅方程，后者与描述临界涨落动力学及相分离系统中的浓度涨落动力学的朗道-金兹堡方程类似。对某些系统，如受驱颗粒物质，建立适当的唯象方程仍是未解决的问题。目前我们有关颗粒介质的斑图的知识仍然来源于计算机模拟。当然，所有这些流动现象的研究都有重要的工业应用。

尽管统计力学的某些应用是非常明显的，如工程师应用平衡态物态方程处理热力学过程，但是也有一些应用是事先并未预料到的"副产品"。例如对自旋玻璃的研究导致模拟退火的概念，它已成为优化问题的公认的原则。自旋玻璃的研究还促进了神经网络的发展，后者也有许多实际应用。目前，随机过程[从无规行走到利维（Levy）飞行]理论几乎都已得到应用，从生物学到股票市场分析，这许多看起来十分不同领域的相似性，难道仅仅是引起我们的好奇，而不值得探索其背后的本质吗？

未来的发展趋势

总的来说，对大多数研究者而言，统计物理这一领域具有巨大的潜力，还远远没有被完全发挥，这是十分明显的。统计物理必将在越来越多的科学领域中得到应用。以前是化学家而不是物理学家研究的"软凝聚物质"就是一个很好的例子。此外，统计物理学还经常使不同物理学领域之间联系起来，例如格点规范理论作为处理量子色动力学的一种方法，形式上与统计物理的配分函数的路径积分表述相似，它已在基本粒子理论与天体物理学，特别是早期宇宙的理论以及夸克-胶子等离子体相变中得到应用。

对于统计物理学的研究者，未来几十年究竟应考虑哪些研究课题，我们不打算作任何特定的预言。不过有一点可以肯定，这些课题必定是十分多样化的，从凝聚态物理到物理化学，从各种技术应用中提出的问题(如模拟交通流程)到生物学与经济学，等等。我

们预期，由于解析方法与计算机模拟方法之间的相互影响还远远没有弄清楚，从方法论的角度去研究它们仍将继续成为一个主导的方面。

（林宗涵译）

需要全本请访问 www.ertongbook.com