



# 物理与化学 实验教学思维创新

卢 宏  
王 娣 ◎ 著  
李永莉

WULI YU HUAXUE  
SHIYAN JIAOXUE SIWEI CHUANGXIN

吉林人民出版社



# 物理与化学实验教学思维创新

卢 宏 王 娣 李永莉 著

吉林人民出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

物理与化学实验教学思维创新 / 卢宏, 王娣, 李永莉著. — 长春: 吉林人民出版社, 2017.7  
ISBN 978-7-206-14124-9

I. ①物… II. ①卢… ②王… ③李… III. ①物理化学—化学实验—教学研究—高等学校 IV. ①O64-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 183329 号

## 物理与化学实验教学思维创新

---

著 者: 卢 宏 王 娣 李永莉

责任编辑: 郭 威 桑一萍

封面设计: 海星传媒

吉林人民出版社出版 发行 (长春市人民大街 7548 号 邮政编码: 130022)

印 刷: 长春市昌信电脑图文制作有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 19.25 字数: 260 千字

标准书号: ISBN 978-7-206-14124-9

版 次: 2017 年 8 月第 1 版 印次: 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

---

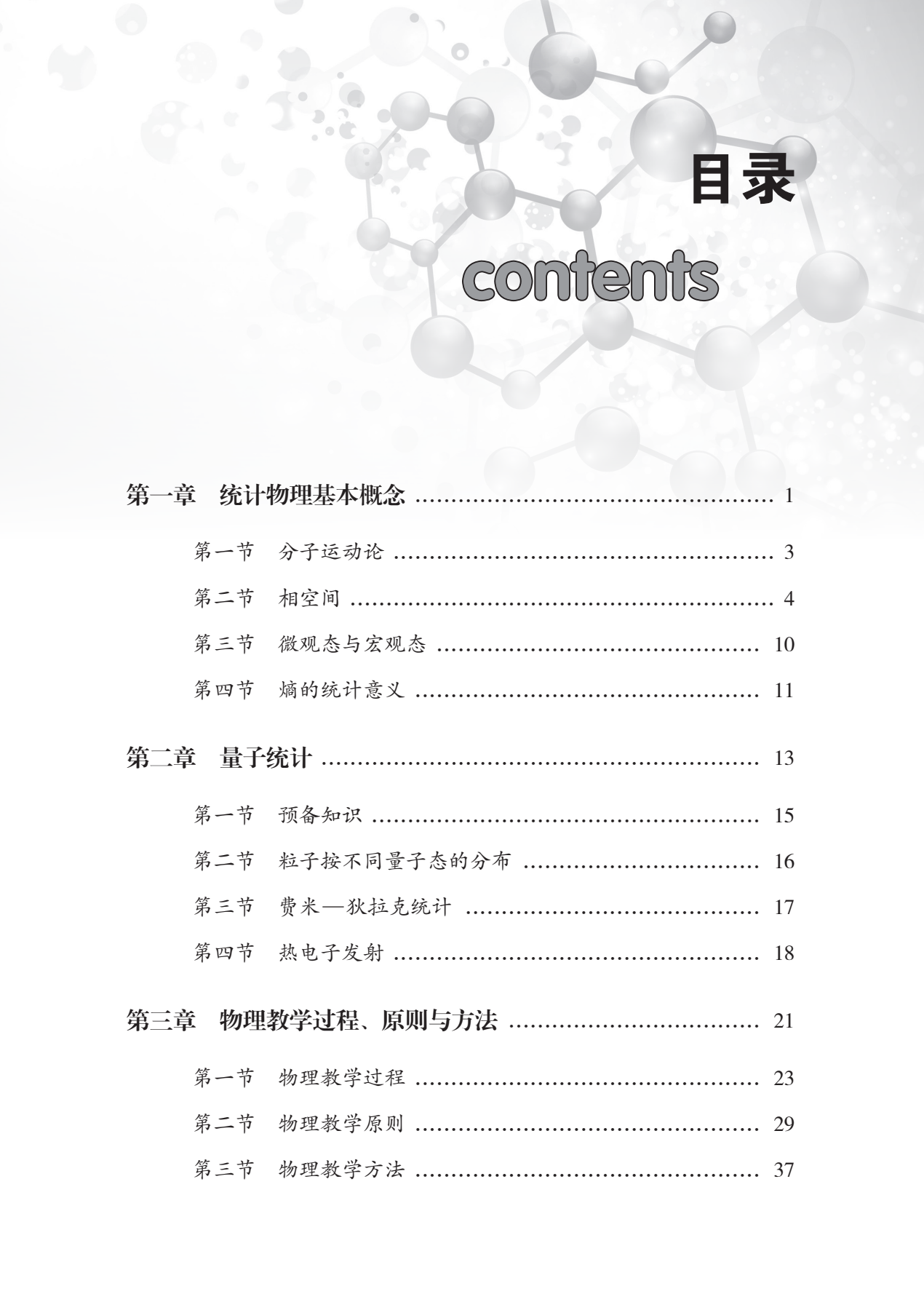
如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。

# 前 言

物理与化学实验是学校教学的重要组成部分。它对学生的化学知识、技能的掌握、能力的增强、科学态度、道德修养乃至其他非智力心理品质的提高，都起到至关重要的作用。新中国成立以来，全国各级教育管理部门、教育研究部门和工作在教学第一线的广大教师，都在孜孜不倦地钻研、探讨教育的发展。但就目前的情况看，教育的发展并不平衡。两年多以前我们曾在几个不同地区的县乡城镇学校做过一些调查，在化学教学中能 100% 地做出全部演示实验的学校只占 10%，能全部完成课本中规定学生实验的学校只占 18%，其中有 77% 的教师认为他们学校的实验设备短缺、管理水平低下，以致严重或极严重地影响了教学效果。

物理、化学教学要注重过程，就必须揉合科学方法构建优化的过程设计。使之在教学过程中，层层分析，步步推演，充分暴露设计过程中的思维过程，让学生通过自己的思维参与过程设计，并让学生在错误中吸取经验教训，在成功中分享喜悦与快乐，在设计中学习，在学习设计中设计。这样的学习，不仅使学生学到了知识，更重要的是学到了过程设计的思路与方法，从而达到更高层次的学习。在一个中等学校里化学教学质量的高低主要取决于教师水平和实验设备条件两个方面。其中后者属物质条件，固然应由教育主管部门和学校负责积极筹措。但作为化学教师，要有一个从思想深处提高认识、发挥自身主观能动性的动力，从必须做好教书育人的期望出发，为充分发挥实验在化学教学中的作用而努力克服困难、创造条件。

物理与化学教师不仅应该从理论上懂得实验在中等学校教学中的重要作用而筹措好必要的物质条件，而且更重要的是能够真正熟练地掌握实验所需的操作技术和方法，以及具有选择恰当实验类型、配合课内外教学活动，以提高教学质量的能力。对于演示实验来说，无论是目的性、科学性、鲜明性还是操作规范程度都应该达到无可指摘的地步，还要懂得学生的学习心理，能巧妙地启发和引导学生对实验全过程进行观察、分析和思考。



# 目录

# contents

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一章 统计物理基本概念 .....     | 1  |
| 第一节 分子运动论 .....        | 3  |
| 第二节 相空间 .....          | 4  |
| 第三节 微观态与宏观态 .....      | 10 |
| 第四节 熵的统计意义 .....       | 11 |
| 第二章 量子统计 .....         | 13 |
| 第一节 预备知识 .....         | 15 |
| 第二节 粒子按不同量子态的分布 .....  | 16 |
| 第三节 费米—狄拉克统计 .....     | 17 |
| 第四节 热电子发射 .....        | 18 |
| 第三章 物理教学过程、原则与方法 ..... | 21 |
| 第一节 物理教学过程 .....       | 23 |
| 第二节 物理教学原则 .....       | 29 |
| 第三节 物理教学方法 .....       | 37 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| <b>第四章 物理概念和物理规律教学 .....</b>    | <b>51</b>  |
| 第一节 物理概念和规律在教学中的作用与地位 .....     | 53         |
| 第二节 物理概念和物理规律的教学要求 .....        | 61         |
| 第三节 学习物理概念和物理规律的思维特征 .....      | 68         |
| <b>第五章 物理教学设计 .....</b>         | <b>75</b>  |
| 第一节 物理教学设计的内容与方法 .....          | 77         |
| 第二节 物理概念课教学设计 .....             | 81         |
| 第三节 物理规律课教学设计 .....             | 85         |
| 第四节 物理实验课教学设计 .....             | 90         |
| 第五节 物理习题课及复习课教学设计 .....         | 100        |
| <b>第六章 化学实验教学的原则和要求 .....</b>   | <b>107</b> |
| 第一节 化学实验教学的原则 .....             | 109        |
| 第二节 化学实验教学的基本要求 .....           | 125        |
| 第三节 化学实验的内容和教学特征 .....          | 127        |
| 第四节 化学实验教学的基本形式 .....           | 128        |
| 第五节 实验教学与培养能力 .....             | 136        |
| <b>第七章 化学实验基本操作能力教学研究 .....</b> | <b>145</b> |
| 第一节 简单玻璃工操作和仪器装配教学研究 .....      | 147        |
| 第二节 玻璃仪器的洗涤教学研究 .....           | 150        |
| 第三节 常用仪器的干燥教学研究 .....           | 152        |

|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| 第四节        | 加热操作教学研究 .....           | 155        |
| 第五节        | 称量操作与试剂的取用教学研究 .....     | 161        |
| 第六节        | 分离操作教学研究 .....           | 165        |
| <b>第八章</b> | <b>化学实验室的建设与管理 .....</b> | <b>173</b> |
| 第一节        | 化学实验室 .....              | 175        |
| 第二节        | 化学仪器的使用与管理 .....         | 178        |
| 第三节        | 化学药品的采购 .....            | 181        |
| 第四节        | 化学实验室的安全措施 .....         | 184        |
| <b>第九章</b> | <b>物理教学理论 .....</b>      | <b>189</b> |
| 第一节        | 物理教学过程 .....             | 191        |
| 第二节        | 物理教学原则 .....             | 201        |
| 第三节        | 物理教学方法 .....             | 207        |
| 第四节        | 物理概念教学 .....             | 219        |
| 第五节        | 物理规律教学 .....             | 227        |
| 第六节        | 物理课堂教学评价 .....           | 233        |
| <b>第十章</b> | <b>物理教学技能 .....</b>      | <b>243</b> |
| 第一节        | 教学技能综述 .....             | 245        |
| 第二节        | 表达技能 .....               | 246        |
| 第三节        | 演示技能 .....               | 249        |
| 第四节        | 其他技能 .....               | 252        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>第十一章 物理课堂有效教育问题的原因分析 .....</b> | <b>259</b> |
| 第一节 物理课堂有效教育问题的思想渊源 .....         | 261        |
| 第二节 物理课堂有效教育问题的制度成因 .....         | 269        |
| 第三节 物理教师专业知识结构的内在缺陷 .....         | 272        |
| <b>第十二章 物理课堂有效教育的实施策略 .....</b>   | <b>277</b> |
| 第一节 物理概念的有效教育策略 .....             | 279        |
| 第二节 物理科学方法的有效教育策略 .....           | 284        |
| 第三节 物理情感态度与价值观目标的有效育学策略 .....     | 288        |
| 第四节 基于信息技术背景下的物理课堂有效教育策略 .....    | 291        |
| <b>参考文献 .....</b>                 | <b>295</b> |

# 第一章

## 统计物理基本概念



## 第一节 分子运动论

微观研究又分为分子运动论与统计力学。分子运动论以物质由分子构成这一基本假设为出发点，把力学运动定律应用于每一分子，考虑分子间的相互作用，即所谓碰撞或散射的机构，以研究输运过程，像导热、内摩擦、扩散等问题。它的一些基本假设或规律还可以用来分析金属中电子的运动或载流子的扩散问题等。从发展历史上看，气体分子运动论是统计力学的前身。

分子运动论简介分子运动论的基本假设有如下几点：任何物质均由大量分子组成。实验表明，每摩尔物质所包含的分子数都相同，均为  $6.023 \times 10^{29}$  个，即阿伏加德罗常数。气体的模型是一群持续不断做无规运动的弹性小球。所谓无规运动，是指分子向任一方向运动的可能性一样大。分子间距离大于分子本身的尺寸，分子除碰撞外相互间无其他作用，因而在两次碰撞间做直线运动。只有在分子相互碰撞或与四壁碰撞时才改变方向，且碰撞为弹性的，无动能的损失。

由这些基本假设，不但可以定性地分析许多现象，而且可以推算出定量的结果。

可以利用平均自由程的概念来讨论输运现象。所谓输运现象，包括内摩擦、热传导和扩散。由于气体各部分之间存在着宏观上的差异，所以才形成输运现象。例如，定向流动速度的差别造成内摩擦；温度的差异造成热传导；某种分子密度的不同造成该种分子的扩散。从分子运动的角度来看，各处宏观上的差异对应着各处分子集体行为的不同，如温度较高处对应该处分子平均动能较大，密度大处则对应单位体积内分子数目多一些，等等。由于分子的无规则运动，必然会形成一种“搅拌”或者说“参合”的作用，而使差别缩小，趋向均一化。三种输运现象分别相当于由分子的运动输运了动量

(内摩擦)、能量(热传导)和质量(扩散),其结果是使各部分之间的定向运动速度、温度和密度的差别缩小。

统计力学与分子运动论不同。分子运动论研究的主要问题是输运过程,是一种非平衡过程;而统计力学则与热力学相当,主要是关于物质的平衡性质的理论。在统计力学中,对于微观个体的运动规律要做一般的假定,假设它们是遵守经典力学规律的,或是遵守量子力学规律的。但与分子运动论不同,统计力学对于每个微观个体(如一个分子)的运动,如具体的碰撞机构问题,并不给予考虑,统计力学只是用统计方法处理包含大量个体的集体的行为。它的典型问题,在于寻找如何把已知的给定能量分配在个体上的规律(当然是一个极大的数目),找到这样的“分布规律”,才有可能把统计力学的结果与热力学的结果联系起来。

统计力学较为抽象,我们以一个例子来说明一下它的方法。为了对比,我们取计算气体压强为例。根据气体分子运动论计算气体压强的方法,是根据碰撞容器壁上的粒子动量的改变总和来求得的。换言之,分子运动论是从“力”的角度来处理问题的。

## 第二节 相空间

### 一、简介

系统的相空间(phase space)通常具有极大的维数,其中每一点代表了包括系统所有细节的整个物理态(系统每个粒子的位置和动量坐标)。

作为一个巨大维数的空间,它上面的每个点代表我们考虑的系统全部可能的态。

### 二、按方程方法

我们如何按照相空间来摹想哈密顿方程呢?首先,我们要记住相空间的单独的点 $Q$ 实际代表什么。它代表所有位置坐标 $x_1, x_2, \dots$ 和所有动量坐标 $p_1, p_2, \dots$ 的一种特别的值。也就是说, $Q$ 表示我们整个物理系统,指明

组成它的所有单独粒子的特定的运动状态。当我们知道它们现在的值时，哈密顿方程告诉我们所有这些坐标的变化率是多少，亦即它控制所有单独的粒子如何移动。

翻译成相空间语言，该方程告诉我们，如果给定单独的点  $Q$  在相空间的现在位置的话，它将会如何移动。为了描述我们整个系统随时间的变化，我们在相空间的每一点都有一个小箭头，更准确地讲，一个矢量，它告诉我们  $Q$  移动的方式。

这整体箭头的排列构成了所谓的矢量场。哈密顿方程就这样地在相空间中定义了一个矢量场。

### 三、决定论

我们看看如何按照相空间来解释物理的决定论。对于时间  $t=0$  的初始数据，我们有了一组指明所有位置和动量坐标的特定值，也就是说，我们在相空间特别选定了一点  $Q$ 。为了找出此系统随时间的变化，我们就跟着箭头走好了，这样，不管一个系统如何复杂，该系统随时间的整个演化在相空间中仅仅被描述成一点沿着它所遭遇到的特定的箭头移动。

“长”的箭头表明  $Q$  移动得快，而“短”的箭头表明  $Q$  的运动停滞。只要看看  $Q$  以这种方式随着箭头在时间  $t$  移动到何处，即能知道我们物理系统在该时刻的状态。很清楚，这是一个决定性的过程。 $Q$  移动的方式由哈密顿矢量场所完全决定。

### 四、系统演化

哈密顿方程的形式允许我们以一种非常强而有力的一般方式去“摹想”经典系统的演化。想象一个多维“空间”，每一维对应于一个坐标  $x_1, x_2, \dots, p_1, p_2, \dots$  (数学空间的维数，通常比 3 大得多)，此空间称之为相空间。对于  $n$  个无约束的粒子，相空间就有  $6n$  维 (每个粒子有三个位置坐标和三个动量坐标)。读者或许会担心，甚至只要有一个单独粒子，其维数就是他或她通常所能摹想的二倍！不必为此沮丧！尽管六维的确是能比明了画出的更多的维数，但是即使我们真的把它画出也无太多用处。仅仅就一满屋子的气体，其相空间的维数大约就有 10,000,000,000,000,000,000,000,000。

去准确地摹想这么大的空间是没有什么希望的。既然如此，秘诀是甚至对于一个粒子的相空间都不企图去这样做。只要想想某种含糊的三维（或者甚至就只有二维）的区域，再看看图就可以了。

## 五、可计算性

关于可计算性又如何呢？如果我们从相空间中的一个可计算的点（亦即从一个其位置和动量坐标都为可计算数的点）出发，并且等待可计算的时间  $t$ ，那么一定会终结于从  $t$  和初始数据计算得出的某一点吗？答案肯定是依赖于哈密顿函数  $H$  的选择。实际上，在  $H$  中会出现一些物理常数，诸如牛顿的引力常数或光速——这些量的准确值视单位的选定而被决定，但其他的量可以是纯粹数字。并且，如果人们希望得到肯定答案的话，则必须保证这些常数是可计算的数。如果假定是这种情形，那我的猜想是，答案会是肯定的。这仅仅是一个猜测。然而，这是一个有趣的问题，我希望以后能进一步考察之。

另一方面，由于类似于我在讨论有关撞球世界时简要提出的理由，对我来说，这似乎不完全是相关的问题。为了使一个相空间的点是不可计算的断言有意义，它要求无限精确的坐标，亦即它的所有小数位（一个由有限小数描述的数总是可以计算的）。一个数的小数展开的有限段不能告诉我们任何关于这个数整个展开的可计算性。但是，所有物理测量的精度都是有限的，只能给出有限位小数点的信息。在进行物理测量时，这是否使“可计算数”的整个概念化成泡影？

的确，一个以任何有用的方式利用某些物理定律中（假想的）不可计算因素的仪器不应依赖于无限精确的测量。也许我在这里有些过分苛刻了。假定我们有一台物理仪器，为了已知的理论原因，模拟某种有趣的非算法的数学过程。如果此仪器的行为总可以被精密地确定的话，则它的行为就会给一系列数学上有趣的没有算法的是非问题以正确答案。任何给定的算法都会到某个阶段失效。而在那个阶段，该仪器会告诉我们某些新的东西。该仪器也许的确能把某些物理常数测量到越来越高的精度。而为了研究一系列越来越深入的问题，这是需要的。然而，在该仪器的有限的精度阶段，至少直到我们对这系列问题找到一个改善的算法之前，我们得到某些新的东西。然而，

为了得到某些使用改善了的算法也不能告诉我们的东西，就必须乞求更高的精度。

## 六、精度

尽管如此，不断提高物理常数的精度看来仍是一个棘手和不尽人意的信息编码的方法。以一种分立（或“数字”）形式得到信息则好得多。如果考察越来越多的分立单元，也可重复考察分立单元的固定集合，使得所需的无限的信息散开在越来越长的时间间隔里，因此能够回答越来越深入的问题。（我们可以将这些分立单元想象成由许多部分组成，每一部分有“开”和“关”两种状态。）为此看来我们需要某种仪器，它能够（可区别地）接纳分立态，并在系统按照动力学定律演化后，又能再次接纳一个分立态集合中的一个态。如果事情是这样的话，则我们可以不必在任意高的精度上考察每一台仪器。

## 七、行为

那么，哈密顿系统的行为确实如此吗？某种行为的稳定性是必须的，这样才能清晰地确定我们的仪器实际上处于何种分立态。一旦它处于某状态，我们就要它停在那里（至少一段相当长的时间），并且不能从此状态滑到另一状态。不但如此，如果该系统不是很准确地到达这些状态，我们不要让这种不准确性累积起来；我们十分需要这种不准确性随时间越变越小。我们现在设想的仪器必须由粒子（或其他子元件）所构成。需要以连续参数来描述粒子，而每一个可区别的“分立”态覆盖连续参数的某个范围。（例如，让粒子停留在两个盒子中的一个便是一种表达分立双态的方法。为了指明该粒子确实是在某一个盒子中，我们必须断定其位置坐标在某个范围之内。）用相空间的语言讲，这表明我们的每一个“分立”的态必须对应于相空间的一个“区域”，同一区域的相空间点就对应于我们仪器的这些可选择的同一态。

现在假定仪器在开始时的态对应于它的相空间中的某一个范围  $R_0$ 。我们想象  $R_0$  随着时间沿着哈密顿矢量场被拖动，到时刻  $t$  该区域变成  $R_t$ 。在画图时，我们同时想象对应于同一选择的所有可能的态的时间演化。关于稳定性的问题（在我们感兴趣的意义上讲）是，当  $t$  增加时区域  $R_t$  是否仍然是

定域性的，或者它是否会向相空间散开去。如果这样的区域在时间推进时仍是定域性的，我们对此系统就有了稳定性的量度。在相空间中相互靠近的点（这样它们对应于相互类似的系统的细致的物理态）将继续靠得很近，给定的态的不准确性不随时间而放大。任何不正常的弥散都会导致系统行为的等效的非预测性。

## 八、定律

我们对于哈密顿系统可以一般地说什么呢？相空间的区域究竟是否随时间散开呢？似乎对于一个如此广泛的问题，很少有什么可说的。然而，人们发现了一个非常漂亮的定理，它要归功于杰出的法国数学家约瑟夫·刘维尔（1809～1882）。该定律讲，相空间中的任何区域的体积在任何哈密顿演化下必须保持常数。（当然，由于我们的相空间是高维的，所以“体积”必须是在相应高维意义上来说的。）这样，每一个  $R_t$  的体积必须和原先的  $R_0$  的体积一样。初看起来，这给了我们的稳定性问题以肯定的答案。在相空间体积的这层意义上，我们区域的尺度不能变大，好像我们的区域在相空间中不会散开似的。

然而，这是使人误解的。我们在深思熟虑之后就会感到，很可能情况刚好与此相反！我想表示人们一般预料到的那种行为。我们可以将初始区域  $R_0$  想象成一个小的、“合理的”，亦即较圆的而不是细长的形状。这表明属于  $R_0$  的态在某种方面不必赋予不合情理的精确性。然而，随着时间的推移，区域  $R_t$  开始变形并拉长——初看起来有点像变形虫，然后伸长到相空间中很远的地方，并以非常复杂的方式纠缠得乱七八糟。体积的确是保持不变，但这个同样小的体积会变得非常细，再发散到相空间的巨大区域中去。这和将一小滴墨水放到一大盆水中的情形有点类似。虽然墨水物质的实际体积不变，它最终被稀释到整个容器的容积中去。区域  $R_t$  在相空间中的行为与此很类似。它可能不在全部相空间中散开（那是称之为“爱哥狄克”的极端情况），但很可能散开到比原先大得极多的区域去。

## 九、其中麻烦

麻烦在于保持体积并不意味着就保持形状：小区域会被变形，这种变形