

# 原子世界中的有序和無序

A. И. 基泰戈罗斯基

科学出版社

# 原子世界中的有序和無序

A. И. 基泰戈罗斯基 著  
刘 普 和 譯

科 学 出 版 社

А. И. КИТАЙГОРОДСКИЙ  
ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК В МИРЕ АТОМОВ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
Москва—1954

內 容 提 要

本書討論了關於粒子在物體中的分佈，首先指出有序（即有條理）和無序（即無條理）的一些特征；進而就氣體、液體、非晶體、晶體作了進一步的分析；最後指出由有序到無序是自發的客觀規律以及人類在認識這規律後應善於加以利用的問題。

原子世界中的有序和無序

---

原著者	A. И. 基 泰 戈 罗 斯 基
翻譯者	刘 普 和
出版者	科 学 出 版 社
	北京朝陽門大街 117 号
	北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 号
印刷者	北 京 西 四 印 刷 厂
总經售	新 华 書 店

---

1957年2月第一版	書号：0670	印張：2 1/4
1957年2月第一次印刷	開本：787×1092 1/32	
(京) 0001--9,150	字數：45,000	

定 价：(10) 0.34 元

# 目 录

緒論	1
第一章 無序	3
1. 什么是無序的分佈?	3
2. 物質的气体状态	5
3. 气体中的热运动	7
第二章 有序	12
1. 糊牆紙上圖案的对称性	12
2. 晶体	13
3. 看不見的晶体点陣	15
4. 緊密的堆砌体	17
5. 远距离的有序	28
第三章 無序中的有序成分	30
1. 近距离的有序 液体	30
2. 非晶体	34
3. 液体中的热运动	40
第四章 有序中的無序成分	42
1. 什么东西“破坏了”理想的有序	42
2. 帶有偏离排列的晶体	45
3. 双原子合金中的有序和無序	47
4. 磁性的有序	56
第五章 可几率与無序	58
1. 在無互相作用力时的無序	58
2. 力的干扰	59

01470

第六章 从有序到無序·····	63
1. 能否用加热的方法使水凝固? ·····	63
2. 飞輪能否“独自”轉快起来? ·····	64
3. 有关过程方向性的規律·····	65
結語 由無序到有序·····	67

## 緒 論

在許多場合中，我們每每發現同一現象具有某些互相排斥的特征。因而这个或那个定义迟早总会变得不能确切地近似地反映事实。科学的發展导致許多过渡事实与現象的發現，这些事实与現象既不能归到这一类，又不能归到另一类。

我們周圍的物体是由原子和分子組成的。这些物体中的粒子是怎样分佈的呢？是像海濱浴場上五彩繽紛的小石那样杂乱無章，还是像蜂巢那样井然有序呢？

二三十年前人們以为，有时现在还有人以为，宇宙是由兩类物体組成的。一类物体中的粒子是杂乱無章的，它們是气体、液体与非晶固体。另一类中的粒子是依照严格的次序排列着的（自然地把这些粒子安排成網或行列），这一类是晶体。

對於我們周圍的物体，这样断然的划分是否真实可靠呢？科学的發展指出，这样的断言是不正确的。除了有些物体用“有序”或“無序”就足以准确地描述其中粒子的分佈外，更常遇到的是这样一些物体，在这些物体中“有序”与“無序”彼此不可分割地並存着。

在分子構造的有序中研究無序的成分，和在粒子的無序排列中分析有序的成分，因此使一些重要的新規律得以确立，这些規律把物質的結構及其性質联系起来，並進而能解釋因結構的有序在程度上的变化而引起的一系列現象。

当今的科学和寻常一样，导致一些对技术来说是很重要的发现，并使我們能理解与操縱这样重要的过程，如合金的热处理。

我們希望讀者在閱讀这本討論微观世界中的有序与無序的小册子时能得到一些益处。

# 第一章 無 序

## 1. 什么是無序的分佈

粗淺地回答這個問題並不困難。若物体的排列既沒有系統又沒有規律性，這樣的排列就叫做無序的排列。

如果有許多粒子或物体排成行列或集中在等价的容积中，那麼這樣的排列就不能叫做無序的排列。

在許多例子中都能夠證明：物理學的論題與方法不承認粗淺、近似的概念。為了使我們對“無序”這一名稱不致發生任何的誤解，讓我們看一看物理學家對這一概念具有什麼樣的含義。

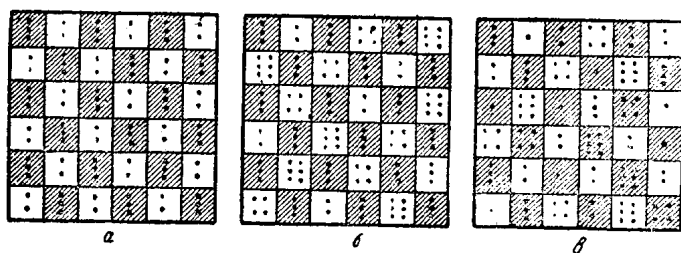


圖 1. 在象棋盤上分散的粒子

- a—在粒子簡單分佈中的有序每一白方格上有兩個粒子，每一黑方格上有三個粒子；  
b—較複雜的有序，在所有白方格內粒子是偶數，在所有黑方格內粒子數相同；  
c—在粒子分佈中的完全無序

試在一大象棋盤的方格內分置成千上萬的粒子；如果只在盤的白方格內放置粒子，或在每一方格內放上數目相等的粒子，或在用馬步聯起來的方格內放上偶數的粒子；那



么在所有这些和許多其他类似的情况下,已不是完全“理想”的無序了。

現在我們換一个方法,試拿着小袋的一角,將其中的粒子傾倒在象棋盤上,这时粒子的分佈会是“任意的”,但是这种“任意的”又有什么特征呢?試在这些粒子作某种分佈的盤上,預先放置一張狹紙条,就会有些粒子落到這張紙条上,数一下是167。現在再另外放一張紙条,方向不同;然后再放第二張、第三張。每一次都数一数紙条上的粒子,若我們在所有这几次計算中都得到近似的数值,例如,159,172,165,169等等,那么这就是理想的無序特征之一。在上述粒子堆中,既沒有特別緊密的,也沒有特別稀疏的現象。在理想的無序情况下,粒子数目越大,不同方向紙条上粒子数的差別越小(指百分比)。

上述理想無序的特征叫做各向同性(изотропия),这是一个希臘名詞,翻譯过来就是所有方向都“等价”的意思。若某物体里面不同方向不等价,这种物体就叫做各向異性的。如果我們这样拋散粒子,使得象棋盤上朝向一个方向的紙条上的粒子数比与之垂直的多,那么粒子的这样分佈就具有各向異性,因而就不是理想的無序。

理想無序除具有各向同性的特征外,还应滿足分佈密度一样这一要求。試計算落到棋盤上任一方格內的粒子数,而粒子的傾出是“任意的”。事实表明,在所有方格內所找到的粒子数大致相同。不仅如此,我們若把盤面上每一方格分成更小的方格(但每一个仍然大到可能容納許多粒子),那么在每一小格內也發現其中的粒子数大約相同。由此可見,在棋盤上單位面积內的粒子数大約是一样的——10,9,12,11,8,等。不会有粒子堆集过多的方格,也不会有沒

有粒子的方格。这就是說，粒子的分佈密度是一样的。

最后，無序的第三个特征。我們看一看兩相隣粒子間的距离是怎樣的。因粒子既不互相吸引，也不互相排斥，因而距离的变化范围很大。例如，有兩個粒子是互相接触着的，另外兩個的距离是 2 毫米，在另一些相隣的粒子对中，还可能發現更大的距离。这个事实可用另外的一种方法来敘述：以每一粒子为圓心，作相等的圓，数一数圓內的粒子，这些数目的变化范围也很大，为 2,4,7 等。在完全無序的情况下，兩相隣粒子間沒有任何距离是特別常見的或特別罕見的；就是在那些可能的距离中，也沒有一个比其他的更突出。

## 2. 物質的气体状态

現在我們可以提出如下的問題：究竟在原子世界中的什么地方会遇到理想的無序呢？

物質的气态就是自然中的一个例子，就其粒子的运动与其相互排列來說，气体是完全無序的。

沒有那样一架显微鏡，可以用它来观察气体分子的运动，但是，尽管如此，物理学家仍能足够詳尽地描述这一不可見世界中的活动。

在正常状况下（室温和一大气压），每一毫升的空气中，有数目巨大的分子，約为  $25 \times 10^{18}$ （二千五百亿亿分子），每一分子所佔的体积为  $0.4 \times 10^{-19}$  毫升。即边長約为  $0.3 \times 10^{-6}$  厘米的立方体。但分子是很小的。例如氧分子与氮分子——空气的主要成分——其最大的線度，是 0.4 微米即  $0.4 \times 10^{-7}$  厘米。

由此可見，分子間的平均距离是分子的最大線度的 10

倍。这就意味着，一个分子所佔有的平均体积约为分子本身的1000倍。

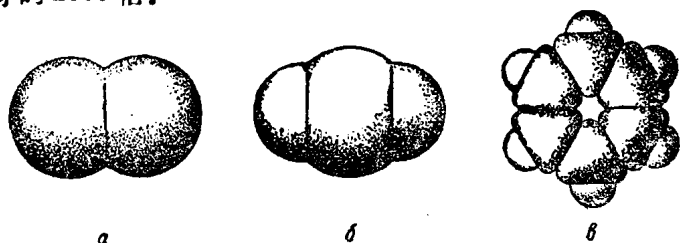


圖2. 分子模型

*a*—氧分子；*b*—二氧化碳气体的分子；*c*—苯分子

研究分子和原子在晶体中的紧密堆砌时所找到的分子外形  
(事实上决不是这样明显，因为分子的物质密度不是突然地而是逐渐地变小)

設想一塊平面，在其上随便抛一些像銀幣一样大的小石塊。在这种情况下，每一平方米的面积上平均有一百塊，气体分子的稀疏分佈即与此近似(圖3)。

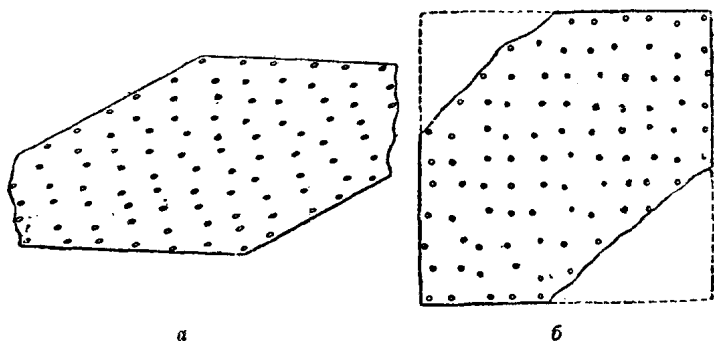


圖3. 一百个銀幣無序地抛散在一平方米的面积上  
(*a*—透視圖；*b*—平面圖)

从正常状况下的空气中划分出一毫升的体积，並假想我們在任何时刻都能够确定这体积中每一半的空气密度。由此我們會發現這兩半中的密度，即分子数，是很难断定其

差別的。若繼續量度下去，由於分子永遠在作不規則運動的緣故，則總有一個時候會發現兩半的分子數有所差別。但計算指出：我們不可能等到有這種差別的時候，那怕是我們繼續量度億萬年也不行。

### 3. 氣體中的熱運動

我們用分子靜止的觀點，粗略地描畫出一幅氣體的圖象。這幅圖象是分子分佈的瞬時寫照。若果真能攝取這樣的照片，那麼露光的時間就應當是極其短促的。在這個理想的照相機的快門打開的時間內，分子只作微小的運動，例如為分子本身線度的 $1/10$ 。換句話說，我們的拍照就好像是用幾分鐘的露光時間來拍攝為跳躍水蒸汽所充滿的房間。分子線度的 $1/10$ 不會大於 $0.1 \times 10^{-7}$ 毫米，而分子運動的速度約為每秒1,000米，即每秒1,000,000毫米。以這樣大的速度通過 $0.1 \times 10^{-7}$ 毫米只要 $10^{-14}$ 秒，即一秒的一百萬億分之一。

分子的運動也是完全無序的嗎？

氣體的每一分子都處在不斷運動的狀態中。

試追蹤一個分子，它正急驟地向右方某處疾馳。如果在其路程中沒有遭遇到障礙，那麼它會以同一速度沿直線繼續它本身的運動。但是這分子的路程為其他無數的鄰近分子所阻礙。碰撞是必然的，於是碰撞後兩分子又分開，像兩個互相碰撞的檯球一樣。我們所追蹤的分子將向那一方向回跳呢？其速度是有所增加或是有所虧損呢？都可能，要知道多種多樣的碰撞都可能發生。若“襲擊”來自背後的更快速的分子，那末我們所追蹤的分子的速度就會增加，如迎頭相遇其速度就會減低。側面的沖擊可能來自左方或右

方，有力的或無力的。显而易見，我們所觀察的这个分子，在与其他分子的偶然遭遇中，受到这样毫無秩序的碰撞之后，就会在盛这气体的容器内来回乱窜。此外，这种互相碰撞將會一个跟着一个的不断發生。

在另一种情况下，这分子可能在相当長的时间內安靜地“旅行”。也可能，这分子在受到一系列促其速行的冲击后，获得極大的速度。而也許正相反，由於一个跟着一个的側面襲击，它長久地不能提高它的速度。

如果盛在容器內的气体，既沒有受到加热或压缩，又沒有受到任何其他的作用，那么这气体所具有的能量是不变的。这能量为其全部分子的动能所組成。但是要知道每一分子的动能总在变化。为什么气体分子总起来的能量会保持不变呢？因为若有一个分子变慢了，則在同一瞬間就有另一分子变快了。这就是說，緩慢的、中等速度的与快速的分子的相对数目保持不变，而改变的仅仅是这个或那个分子是屬於快速的或者緩慢的一羣。

究竟有多少緩慢的、中等速度的与快速的分子？驟然看来，例如，速度在每秒 1 米到 2 米之間的分子的百分比，好像是應該等於，譬如說，速度在每秒 101 米到 102 米之間的分子的百分比。在运动是完全無序的情况下，似乎不應該讓任何速度佔有优势。其实並不如此，假如考虑到極快速分子的数目，事情就会变得很为明显。要知道極快速分子这一部分可能佔有气体的全部能量，那末其余的分子为什么会变得不动呢？这显然是無稽之談。这就是說，極快速的分子应很少。

由此可見，具有不同速度的粒子的数目是不相同的，大部分气体分子具有中等的速度。

在日常生活中，最常碰到的絕大部分是“平均的”場合。例如，無軌電車每隔四分鐘開進車站一次。中等的、一般的、最經常的時間間隔約為4分鐘。在一兩分鐘內開到的情形較少，要等上10—15分鐘的情形就更少。某一事件離開“平均”越遠，就越難遇到。

數一數你在一分鐘內在任​​何街道上所遇到的男人和女人，平均起來，這兩個數是相等的。比平均數小得很多或大得很多的，則遇到的機會越少。例如，連續遇到100個男人是很少可能的。但是可能性不管它多大，並不是確實可靠的。還應注意，平均值並不總是和“最常遇到的”相符合，只有當我們能預料“高於平均的”和“低於平均的”偏差的結果是相同時，這二者才一致。

我們站在圓形跑道前看摩托車競賽，摩托手們以巨大的速度在我們面前疾馳而過。我們觀測到，他們之中有一半在經過我們跟前時，其速度大於每小時130千米，而另一半則小於這個數。因此我們把每小時130千米叫做最可几速度（即最常遇到的）。假如對於這一速度向某一方的偏差，決定於駕駛員的本領以及準備摩托車參加競賽的機師的技術，那麼在對於每小時130千米的速​​度朝這一方面或那一方面的偏差不大時，將遇到的機會是相同的。在這種情況下最可几速度與平均速度相一致。現在設想，由於一些嚴重的缺點的結果，例如有10% 競賽者在加入競賽時是以每小時20公里的速度在我們近傍駛過。這時最可几速度仍然和先前一樣，但這10% 的不幸會顯著地降低其平均速度，因為在計算平均速度時，必須把所有參加競賽者的速度加起來再用總數去除。

可以計算競賽者的平均速度，可以求最可几速度，也可

以求竞赛者的速度比最可几速度或平均速度每小时大或小若干千米时的百分比。但是应该记住：类似的计算在应用于个别现象时的价值很小。若已知这些数字并精通几率的理论，就可能对速度的分佈特性作出一系列的结论，但不能预先指出某一特定的竞赛者将以什么样的速度驾驶。

统计得愈多，几率的估价就完成得愈好。

我們已知道一毫升气体的分子数是多么巨大。在一般情况下，这个数目比地球上的居民总数大十亿倍。这就意味着，就分子来说，几率的判断实现的特别准确。

利用几率的理论，物理学家计算了具有这种或那种速度的气体分子数目。事实表明在气体中絕大多数的分子是以平均速度运动着。由于分子数目的巨大，在每一瞬间，分子的平均速度保持着不变。具有不同速度的分子，其相对数量也不会有变化。

这里举一个有数字的实例：在温度约  $15^{\circ}$  时，氮分子的最可几速度是每秒 500 米；以每秒 300 米到每秒 700 米之间的速度运动着的分子占 59%。以零到每秒 100 米之间这一较小速度运动着的只占整个的 0.6%。极快速的分子——速度高于每秒 1,000 米——的仅占整个气体的 5.4%。

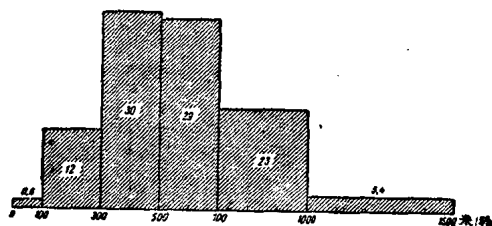


圖 4. 在室溫下氮分子速度分佈圖。圖中數字指以該速度运动着的分子的百分比

气体分子的不規則运动表现在：朝任何方向运动的分子数相等以及大多数分子的速度都接近於平均速度。

分子間既然經常碰撞，那么分子無碰撞跑过的路程又是怎样的呢？在这一方面也应该用平均量来描述气体，因为在兩次碰撞之間所通过的自由路程，其所需时间的变化范围很寬。由於这种情况在兩次相繼的自由路程之間是不会有什麼規律性的。

兩次相繼碰撞的平均时间与平均路程决定於分子的線度与气体的密度。分子的線度越大与容器內的分子越多，其相互碰撞的次数也越多。計算指出：分子無碰撞地通过的路程的長度，在通常条件下，就氢分子來說，等於 0.1 微米。就大得多的氧分子來說，等於 0.05 微米。0.1 微米是 1 毫米的千分之一，是很短的距离，但与分子的線度相比較，就远不是很短了。就一个分子來說，它無碰撞地通过 0.1 微米和一个球無碰撞地滾出 25 米完全一样。

假如知道分子运动的平均速度与平均路程，我們就不难計算出兩次碰撞間的时间。就氢分子來說，它等於  $5 \times 10^{-9}$  秒，一秒的十亿分之五。

分子运动的特性——其平均速度与平均自由路程——决定於气体的物理性質。

偉大的俄国学者 M. B. 罗蒙諾索夫 (Ломоносов) 發展了联系气体的性質与其結構的理論。



## 第二章 有 序

### 1. 糊牆紙上圖案的对称性

在自然界中，我們經常碰到一些排列有序的物体，例如，蜂巢、园丁所分植的花木等。但是用人人皆知的糊牆紙就更能說明理想有序的特征。圖 5 描出了許多完全一样的植物。試在这一圖案中找出是画家所必須画的那一小塊；

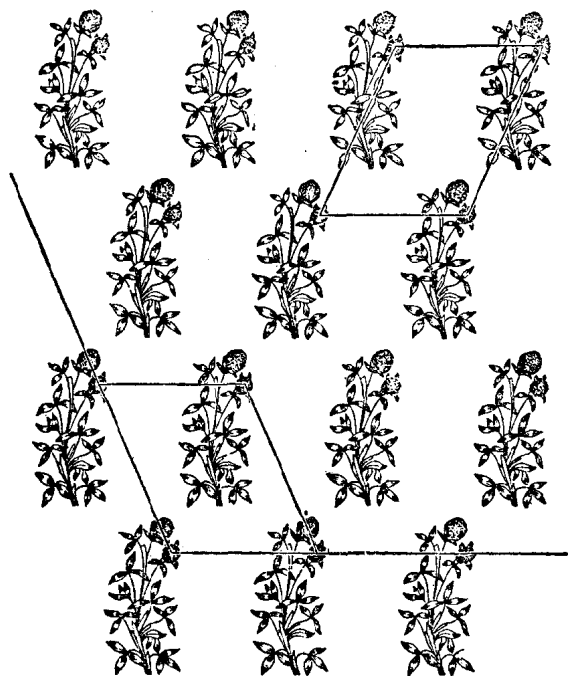


圖 5. 这些糊牆紙的圖案幫助我們理解晶体点陣的結構