

〔苏〕 A. H. 达渥利吉尔 原著

# 晶質玻璃顏色玻璃和乳濁玻璃

郑庆海 合 譯  
刘小明

1960

輕工業出版社

北京



597  
26



# 晶質玻璃顏色玻璃和乳濁玻璃

[苏] A. H. 达渥利吉尔 原著

郑 庆 海  
刘 小 明 合译

輕 工 业 出 版 社

1960年·北京  
12603

## 内 容 简 介

我国玻璃工业几年来在党的正确领导下已有不少成就，一些精制的玻璃饮食器皿及装饰制品已大量出现于国际市场，并取得了一定信誉。为了进一步提高制品质量和增加新的品种，从晶质玻璃、乳浊玻璃和颜色玻璃熔制的基本工艺上进行研究是非常必要的。

本书对于制造食用器皿及装饰制品用的晶质玻璃、乳浊玻璃、颜色玻璃熔制工艺提供了实用的指示及理论根据。此外，也叙述了这种玻璃在生产中采用过的配方及熔制制度。

本书可供从事玻璃工业生产的工程师和技术人员阅读。

A. H. ДАУВАЛЬТЕР  
Хрустальные, цветные  
и опаловые стекла

本书根据苏联轻工业出版社1957年莫斯科版译出

晶质玻璃颜色玻璃和乳浊玻璃

〔苏〕A. H. 达涅利吉尔 原著

郑庆海 合译  
刘小明

轻工业出版社出版

（北京广安门内白广路）

北京市书刊出版业营业许可证出字第099号

北京市印刷一厂印刷

新华书店科技发行所发行

各地新华书店经销

850×1168 毫米 1/32·8<sup>28</sup>/<sub>82</sub> 印张·1 插页·200,000 字

1960年3月第1版

1960年3月北京第1次印刷

印数 1—2,700 定价 (10) 1.50 元

统一书号: 15042·374

# 目 录

作者的話 .....	( 6 )
<b>第一章 玻璃形成的理論</b> .....	( 7 )
1. 玻璃狀物态的某些性質 .....	( 7 )
2. 玻璃結構的理論 .....	( 9 )
3. 玻璃形成的反应 .....	( 16 )
4. 玻璃的澄清 .....	( 19 )
5. 熔制玻璃时發生的氧化—还原过程 .....	( 24 )
<b>第二章 玻璃組成的選擇</b> .....	( 26 )
1. 关于玻璃的“化学式” .....	( 26 )
2. 玻璃的熔制制度 .....	( 31 )
<b>第三章 玻璃的某些性質</b> .....	( 39 )
1. 密度和比重 .....	( 39 )
2. 彈性和粘度 .....	( 40 )
3. 玻璃的热膨脹 .....	( 42 )
4. 光的折射和色散 .....	( 45 )
5. 玻璃的結晶过程 .....	( 49 )
6. 測定玻璃某些性質的仪器 .....	( 58 )
<b>第四章 顏色的理論</b> .....	( 61 )
1. 光綫通过物体 .....	( 61 )
2. 蘭別尔(Ламбер)和別尔(Бер)定律 .....	( 62 )
3. 玻璃的光吸收 .....	( 67 )
4. 顏色和它的定量表示法 .....	( 68 )
5. 三色座标系統 .....	( 71 )
6. 顏色的座标系統(顏色的波長、頻率、亮度) .....	( 73 )
7. 某些定义和結論 .....	( 74 )

**第五章 晶質玻璃** .....(77)

1. 对于晶質玻璃的要求.....(77)
2. 晶質玻璃的一般熔制条件.....(79)
3. 鈣—鈉—鉀玻璃.....(83)
4. 鈣—鉀水晶.....(86)
5. 鋇水晶.....(89)
6. 鋅水晶.....(90)
7. 混合型的晶質玻璃.....(91)
8. 鉛水晶.....(92)
9. 鈦水晶和锆水晶.....(98)

**第六章 玻璃的脫色** .....(101)

1. 玻璃的化学脫色.....(102)
2. 玻璃的物理脫色.....(108)
3. 玻璃脫色与其組成的关系.....(113)
4. 在生产条件下对玻璃脫色方面的某些实际指示.....(116)
5. 脫色的檢驗.....(118)
6. 从玻璃中排除鈦的可能性.....(119)

**第七章 分子染色的玻璃** .....(121)

玻璃的分子染色和膠溶染色.....(121)

分子着色剂.....(128)

1. 以鈷的化合物染色的玻璃.....(126)
2. 以氧化鈷和氧化鎳染色的玻璃.....(131)
3. 以氧化銅染色的玻璃.....(136)
4. 以氧化鉻染色的玻璃.....(139)
5. 以鈾的氧化物染色的玻璃.....(142)
6. 以鉄的氧化物染色的玻璃.....(145)
7. 以鈦的氧化物染色的玻璃.....(150)
8. 以稀土族元素氧化物染色的玻璃.....(152)
9. 以硫和硒染色的玻璃.....(154)
10. 以配合的着色剂染色的玻璃.....(158)
11. 烟色(灰色)玻璃.....(165)
12. 黑色玻璃.....(167)

<b>第八章 膠態染色的玻璃</b> .....	(170)
1. 分散金屬染色的玻璃 .....	(170)
2. 以膠態銅染色的玻璃(銅紅寶石) .....	(175)
3. 以膠態銀染色的玻璃 .....	(183)
4. 以膠態金染色的玻璃(金紅寶石) .....	(184)
5. 以鎘的硫化物和硒化物染色的玻璃(硒寶石) .....	(193)
6. 硒寶石的熔制制度 .....	(210)
7. 以銻的化合物染色的玻璃(銻寶石) .....	(214)
8. 以銀的硒化物染色的玻璃 .....	(219)
<b>膠態染色玻璃加熱顯色的理論</b> .....	(219)
<b>第九章 乳濁玻璃</b> .....	(237)
1. 以氟化物乳濁的乳白玻璃 .....	(241)
2. 以磷酸鹽乳濁的乳白玻璃 .....	(248)
3. 以硫酸鹽乳濁的乳白玻璃 .....	(252)
4. 以氯化物乳濁的乳白玻璃 .....	(255)
5. 以氟化物、磷酸鹽、硫酸鹽乳濁的乳白玻璃 .....	(255)
6. 以硫化鋅乳濁的乳白玻璃 .....	(256)
7. 以砷化合物乳濁的乳白玻璃 .....	(257)
8. 以膠態着色劑乳濁的乳濁玻璃 .....	(257)
<b>第十章 用透明玻璃及結晶玻璃製造人造寶石</b> .....	(261)
1. 結晶玻璃 .....	(262)
2. 做造透明礦石的玻璃 .....	(263)
3. 金星玻璃 .....	(265)
4. 做造不透明礦石的玻璃 .....	(267)
<b>第十一章 玻璃的缺陷</b> .....	(269)
1. 由爐料的原材料造成的缺陷 .....	(269)
2. 由耐火材料形成的缺陷 .....	(274)
<b>參考文獻</b> .....	(280)

---

## 作者的話

作者写本書的目的是为了尽可能地对目前的生产需要和工厂的实践有所补益。因此对于每一个問題都論述了它的理論，闡明了工艺过程的意义，並实际指出这个过程在生产中的实行方法。

本書中刊載了很多在實踐中經過驗證的玻璃配方，在生产中应用这些配方不应当是盲目的抄襲，而应当是一种创造性的工作，需要考虑到地方条件、任务、全套設備和理論的指示。

由于本書篇幅有限，凡是已經在一般性手冊中叙述过的問題，在本書中都沒有詳加討論。

對本書提出的一切批評，作者都將接受並致以謝意，來信請寄至：Москва，К-31，Кузнецкий мост，22，Гизлегпром，редакция литературы по легкой промышленности。

# 第一章 玻璃形成的理論

## 1. 玻璃狀物态的某些性質

熔融的物質冷却时，可能变为結晶状态，也可能变为玻璃状态。

在第一种情况下，熔融物質是在完全固定的某一溫度下由液态轉变为固态的，在轉变时通常放出潛热。这样得到的物質具有規則的原子排列，这种規則排列的特征是同一結構單位（晶格）的有規則的重复。在第二种情况下熔融体的黏度随着溫度的降低而連續地逐漸增長，在这种情况下，潛热並不是在任何一个固定的溫度下放出的。

根据 K. C. 尤斯特罗別夫 (Евстропьев) 和 H. A. 托罗波夫 (Торопов) 的資料，玻璃狀物态与結晶狀物态不同之处，有以下几种性質：

(1) 各向同性的性質 (изотропность)。也就是說，在玻璃內从任何方向測量物質的性質时，所得的数值都是相同的。玻璃的各向同性的性質是它的結構具有統計学上的均匀性的結果，这种均匀結構与結晶不同，結晶是具有規則晶格的。

(2) 同一种物質，在玻璃状态下所含的內能比在結晶状态下所含的多。



(3) 当由熔融状态变为固态时，具有逐渐硬化的能力，而这种硬化又是可逆的，其表现为：当由液态熔融物形成玻璃时，黏度的变化是连续而均匀的。

(4) 当由熔融的液态变为固态时，玻璃的物理-化学性质是连续改变的。

在很多情况下，同一种物质可能由熔融体变为结晶态（当冷却缓慢时）；也可能由熔融体变为玻璃态（当冷却迅速时）。

在理论上，只要冷却的速度足够迅速，所有的物质（连金属也在内）都可能变为玻璃态。而实际上，在一般的冷却速度下，某些物质只生成结晶，而其他一些物质则形成玻璃。倾向于变为玻璃态的物质在熔融状态下已经具有相当高的黏度，它们的黏度随着温度的降低而迅速地增长，使结晶过程受到了阻碍。结晶的生成和增长是在一定的温度范围内发生的，这个温度范围与玻璃的组成有关。如果玻璃通过了这个温度范围而没有结晶，那么当它进一步地受到冷却时，可见的变化只是黏度的逐渐增长，最后形成固态的物质。

精确的定量测定指出：随着温度的变化，玻璃所有各种性质发生的改变几乎都是很不规则的。把玻璃由起始的温度加热到  $\theta_g$  时，它的性质依着比较简单的规律而变化，在“温度-性质”图上，这种变化通常是用接近于直线的一条线来表示的。在  $\theta_g$  以下，玻璃性质的变化具有固体的特征。在温度  $\theta_f$  以上，玻璃性质的变化具有液体的特征。在  $\theta_g$  至  $\theta_f$  的温度区段内，玻璃的性质连续改变，由具有固体特征的性质变为具有液体特征的性质。从  $\theta_g$  至  $\theta_f$  的温度区段称为异常区（аномальный интервал）。

我们知道，当温度为  $\theta_g$  时所有各种玻璃（从有机玻璃到硅酸盐玻璃）的黏度都相当于  $10^{13}$  泊。

对于物质开始由液态变为玻璃态的温度范围，各个作者所给的名称是不同的。我们只用一个名称：“玻璃形成温度”

(Температура остеклования)。

## 2. 玻璃結構的理論

玻璃結構的理論很多，它們都或多或少地解決一部分問題。在這些理論中只有為了足夠清楚地了解顏色玻璃和某些其他玻璃的熔制工藝問題所必需的那些理論，我們才加以論述。

在 19 世紀和 20 世紀初期，由於普魯斯特 (пруст) 和道爾頓 (дальтон) 的觀點暫時戰勝了貝多萊 (Бертолле) 觀點的影響，研究者們曾把玻璃看成為固定的化學化合物。

Д. И. 門捷列夫 (Менделеев) 首先指出了玻璃是一種熔合體，其中  $\text{SiO}_2$  佔主要的地位。他不是把玻璃看成為物理的混合物，而是把它看成為化學的化合物。

玻璃的最特殊的性質（無定形性以及冷卻時逐漸發生可逆硬化的性質）引起了一種理論，就是把玻璃看成為過冷液體的理論。這個理論的創始人 Г. 塔曼 (Тамман) 把玻璃看成為結晶傾向小的液體，此液體通過結晶溫度範圍沒有發生結晶而保存了液體所固有的結構。

Г. 塔曼沒有說明玻璃形成過程的化學機理，在他所進行的大量研究工作中，研究的大多是有機玻璃，而把研究結果轉用於所有的玻璃，包括硅酸鹽玻璃在內。因此，通常把他的理論認為是純物理學的理論。

Г. 塔曼用內壓增加（凡德華引力）的物理過程解釋玻璃黏度的增長。他曾解釋了溫度接近於  $\theta_g$  而黏度相應為  $10^{18}$  泊的溫度區段內的各种現象。他認為：低於這個溫度時，微粒在玻璃中就停止了直進的運動，而只剩下了振動，這使得微粒的能量發生重大的變化，因而也就相應地引起了玻璃的熱容和其他性質的變化。塔曼的這種解釋是不合邏輯的，因為微粒直進運動的消失（因而使物質喪失流動性），應當與黏度等於無限大的情況相適應，而不應當與黏度等於  $10^{18}$  泊的情況相適應。附帶

說一句， $10^{16}$  泊以下的黏度是可以正確測定的。此外，在生產條件下玻璃的退火通常是在黏度等於  $10^{13} \sim 10^{14}$  泊或更高時進行，這就証實了在低於  $\theta_g$  時玻璃的分子也有直進運動。Г. 塔曼把玻璃看成為過冷的液體，並沒有觸及到玻璃的結構。

Г. 塔曼曾用液體(熔融體)中存在有各向同性和各向異性兩種形式的分子來解釋其結晶性質的不同，依照他的意見，這兩種形式的分子中只有後一種才可能疊置在晶格中。

從現代的觀點看來，只可能談到分子在能量方面的不同，而認為只有能量低於某種極限值的分子才可能形成晶格。

В. X. 札哈里亞孫(Захариазен)提出了“不規則晶格”(Беспорядочная решетка)的理論，是向前邁進了一大步。依照他的理論，玻璃具有與結晶的晶格相類似的晶格，但此晶格是不正規的，他們沒有靜力學的規律性，沒有結構單位的規律重復現象。

但是 В. X. 札哈里亞孫終究承認了在玻璃中原子的排列具有某些規律。用倫琴射線分析結晶的硅酸鹽，證明其中結構單位是正規重復的，而結構單位中主要的是在中心具有硅原子，在各個頂點具有氧原子的四面體 $[\text{SiO}_4]$ 。

與此相似，曾經用實驗方法證明在硅酸鹽玻璃中也有同樣的結構單位。因此，В. X. 札哈里亞孫承認在硅酸鹽玻璃中存在有同樣的四面體 $[\text{SiO}_4]$ ，但是它們的排列是無秩序的，而好像是組成了玻璃的骨架。其餘的原子依統計學的規律排列於各個四面體之間的“空隙”。這樣的結構單位的存在是這個理論的唯一的具體肯定說法，這一理論的其餘部分則只是幾何學的圖形。

某些作者支持玻璃結構的聚合理論(агрегативная теория)。П. П. 考別克(Кобек)認為在玻璃冷卻時，其中產生十分複雜的由多數(一千或更多)分子組成的一種組織，而用這種組織的產生來解釋通過異常區冷卻時玻璃性質的變化。這個理論

可能是重要的，因為它是把許多現象的化學機理作為它的基礎的。

這個理論的缺點是：作者所研究的是有機聚合物（在這個領域內，分子聚合的現象是一定會發生的），但卻把有機化學的概念轉用於硅酸鹽玻璃了。

O. K. 波特文金 (Ботвинкин) 最充份地發展了聚合理論。依照他的理論，玻璃冷卻時在其中形成由若干同樣分子結合而成的聚合體。隨着玻璃的冷卻和其中能量儲備的減少，形成的聚合體愈來愈多。這些聚合體沒有晶格也不是結晶，但是它們可能逐漸依不同的速度（這個速度隨玻璃的品種和溫度而不同）而變為晶格的形式，也就是說，形成微小結晶 (микрористалл)。

O. K. 波特文金在 1936 年提出的理論中，採用了 Г. 塔曼的某些結論，但所採用的並不是 Г. 塔曼理論中的不可缺少的部分。

O. K. 波特文金用沒有晶格的聚合體的形成為了解釋玻璃在異常區內的特殊性質（例如黏度的增加以及玻璃其他性質的變化）。

A. A. 列別捷夫 (Лебедев) 提出的玻璃結構的微晶子 (кристаллит) 理論享有最大的威信。依照這個理論，玻璃是由具有稍為變形的晶格的最小的結晶 (微晶子) 所組成的，而在這些最小的結晶之間，則隔着有無定形物質或具有變相中間結構的物質的中間層。

微晶子的理論在許多試驗研究中部分地得到了証實。

微晶子理論的擁護者們認為：一系列的研究都肯定指出玻璃中有固定的化合物存在，這一事實十分重要，而不規則晶格的理論是絕對否認這一點的。

聚合理論和微晶子理論實際上相差不遠。因為這兩種理論都假定在玻璃中有由若干同樣分子組成的聚合體形成。這兩種

理論互相接近之点在于：聚合理論假定聚合体的結構可能逐漸改变，随后形成晶格；而微晶子理論則認為微晶子的晶格是变了形的，也就是說，在結構上是接近于聚合体的。認為玻璃中既可能存在有聚合体又可能存在有微晶子是比较正确的。事情仅在于他們的濃度大小和对玻璃性質的影响程度。聚合体的大小經大致測定为2~4个分子，而微晶子的大小大致为10~15Å。因此，在談到他們的聚合状态时，我們利用这个术语在相当大的程度上是有条件的。

A. A. 阿平 (Аппен) 發展了骨架配位理論 (скелетно-координационная теория)。这种理論假定在玻璃中存在着  $[\text{SiO}_4]$  四面体，好像是組成玻璃的骨架一样。並且認為原子排列協調程度的作用及影响具有重大的意义。

这个理論承認在玻璃中存在有固定的化合物及微晶子，但是認為它們的濃度比較小；对于玻璃的性質沒有重大的影响。

本書作者的理論是从分子动力学的观点来观察玻璃結構的。这种理論認為化学的相互作用力 (鍵力) 的特征就是原子之間相互作用的力 (不管它們的本質如何)，同时考虑到它产生的能的大小和它們所做的功的大小。原子的相互分佈、可能發生的結合及化合、它們之間的距离和相对的运动；一方面决定于这些力的作用 (以及与此相应的鍵的位能)，另一方面也决定于热运动动能的大小。

两个原子之間的鍵的强度，是用把它們拆开实际上無限远距离所需的能量的大小来表示的。鍵能的大小 (原子的能級) 与原子之間的距离有关：原子之間的距离愈小，这个能量的数值就愈大。鍵能所做的功，是以鍵能大小的改变以及与此相应的原子間距离的改变来表示的。这种改变可能不是連續的，而是躍进式的，也就是說，原子飞躍到較低的能級，同时吸收或放出鍵能。鍵能躍进性的变化 (鍵能的放出或吸收) 被看做是

最简单的元素的化学反应。物体上一个小部分内所含的位能，等于标以负号的原子键能的总和。

物体的一小部分的内能，决定于键力位能和原子动能的总和。在它们之间存在着某些平衡，当平衡被破坏时，能靠着正的或负的键能（也就是说，实际上靠着原子间距离的改变）以某种速度恢复原状。例如，当温度升高，动能相应地高时，一部分动能即依分子间距离的改变和原子向较高能级的跃进而转变为位能。温度降低时，原子逐步转至较低的能级，同时减小了原子间的距离，放出键力的功，部分地弥补了动能的减小。

当然，平衡是可移动的：一部分原子集团脱离了平衡状态，而另一部分则趋近于平衡。更精确地说，由于能量涨落的影响，物体的不同部位上的平衡状态本身都在不停地改变着（以统计学上的偶然的方式），而平均停留在与物体的前一时温度相适应的水平上。

假如在某一时刻玻璃具有一种理想的不规则的晶格构造，也就是说，原子是完全以偶然的方式分佈着的，那么这种状态在我们看来可能是不平衡的，并且与它的能量是“不利”的。因此，原子将立即开始重新排列，在某些地方放出键能，在另一些地方则吸收能量，同时原子间的距离及原子的相对位置也会发生与此相应的改变。其中 Si-Si 及 O-O 原子团在能量方面可能是不利的，而可能被在高温下变了形的  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  四面体所代替。依此，K、Na、Ca、Cu 及其他原子并不是安插在偶然的“空洞”中，而是应当按照它们的化学特性和正常的化学键型在总的化合键系统中占据一个位置。

同种原子集团的数量（浓度），说明了在玻璃中有固定的化学化合物存在，这个数量是由该集团的寿命来决定的，而集团的寿命则决定于它们的键能。温度的降低有利于固定化合物的形成，温度的升高有利于分解，这是相应于化合物的部分解离。

玻璃中其余的（通常是碱性的）物质则是由非常不同的统计学的偶然原子集团所组成的。它们是组成不定的化合物（熔合体），其特征是原子集团的形式是无穷多的。因此，除了不规律的晶格外还有具有部分规律性的结构，这种结构的规律性是可变的，随着温度的降低而增大。我们认为：在原理方面，这种结构理论与 B. X. 札哈里亚孙的不规律晶格有十分重大的原则区别。

在这个学说中，对于玻璃中发生结晶的过程基本上采取了 T. 塔曼的解释方法，但是对于晶核的发生过程给予了重要的详细论证。在任何液体（包括硅酸盐熔融体）中，都必然存在着偶然具有小能量的原子集团，这使得它们彼此相隣地停留在一起，直到偶然获得了大的能量储备时为止。这样的原子集团的存在时间是与它们的键能及温度有关：其中有些（不稳定的复合体）分解得较快，而另外一些（聚合体，原晶）能存在较长的时间。当温度降低时，这些原子集团能够增长，但是它们的增长是有限的，这种限度为下列能量方面的情况所决定。

随着上述原子集团的形成，物体上相应的小部分的内能要发生变化：减少的数值相当于聚合能（或晶格能），而增加的数值相当于生成物的表面能。微粒十分小时，它的表面能是特别大的，在一定的时间内表面能可能超过内能。因此，原晶不能自动进一步增大，而需要获得外界的能量。所以这样的原子集团在它们达到一定的大小以前还不是晶核，因为它们在当时的温度下不能自动长大。在相反的情况下，也就是说，假如原晶就是晶核，那么玻璃的结晶过程将在整个玻璃体内均匀地发生。实验指出：结晶过程永远是在个别的点上开始的。

关于原晶是否具有正规的晶格的问题，也就是说它能不能算是一个结晶体，应当说“聚合态”是一个用肉眼可见的概念。对于十分微小（高度分散）的胶质微粒，这种概念就逐渐丧失其意义了。正像在极限情况下，这种概念不可以对个别的分子

应用一样。与此同理，“晶格”这一术语也只有能在能谈到最小结晶单位的多次重复时，也就是说，只有在与比它大得相当多的物体相对而言时才有一定的含义。

当温度低于结晶温度区时，玻璃将发生什么样的变化呢？玻璃状态与结晶状态不同的地方在于：结晶是由同样的原子集团所组成的，所有的原子集团（都是一样的）在同一温度下使结晶的结构克服现有的障碍而发生变化（例如，由 $\alpha$ 型变为 $\beta$ 型），同时就在这一温度下放出结构改变的潜热。玻璃是由为数十分众多的各种不同的原子集团（不定的化合物）所组成的，它可以相应地发生为数极多的结构转变，因此它并不是在某一温度下放出潜热，而是连续不断地（但也不是完全均匀地）在整个加热——冷却温度区段内放出潜热。

对于玻璃这方面的性质，曾经进行了比较详细的研究。结果发现了一些特殊的点，这些点是由于固定化合物的存在而引起的。

玻璃中结构的改变具有一定的速度。这样改变所需的时间与温度有指数的关系。这就是说，当温度降低时，改变所需的时间增长极快，而在低温下达到超过一切实际期限的数值，与此相应，普通硅酸盐玻璃的结构，可能是 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 时的平衡状态，也就是说，是一种“冻结”了的构造。因此，当玻璃由 $20^{\circ}\text{C}$ 被加热到 $450^{\circ}\text{C}$ 的时候，它的性质的改变是在结构不变的情况下发生的，这种改变可能列为固体的规律。在 $\theta_g$ 附近，结构改变所需的时间是在一般试验时间范围内的。比这个温度高一些时，结构的改变进行得十分迅速，这就属于液体性质了。因之，在 $\theta_g$ 附近的温度范围内，应当发生固体规律和液体规律的交替，事实上也正是如此。

这里所说的理论，只不过是十分压缩了的形式，它可以解释并阐明一系列实践中所发生的问题。例如它可以解释为什么在玻璃的化学中可逆反应十分重要；为什么在温度升高时玻璃



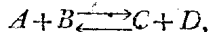
中的平衡位置向吸热方面移动，而当温度降低时向放热方面移动。它还可以解释离解现象和以后要不正一次提到的氧化物间的平衡。它可以帮助我们了解玻璃中胶质微粒的形成过程，此外它与 Д.И. 門捷列夫的观点及近代原子半径（结晶化学）的理论是十分吻合的。它使我们认为原子半径不仅可以用来说明原子的体积，而且还可以说明原子可变能级的大小。同时，这种理论与现有的玻璃结构理论的基本论点并不矛盾，它是这些现有理论的发展和综合，而使这些理论中的许多不同之处得以消除，不难看出：在前面所提到的任何一种理论都可以与这种理论相符合，这种理论把物理学和分子动力学对于玻璃结构的观念与玻璃结构的化学理论统一为一个逻辑的整体，这就使它除了综合的性质外，还具有进一步发展的可能，而尽管它的某些论点是为人所不习惯的。

### 3. 玻璃形成的反应

我们不去叙述熔制玻璃时发生的最简单的反应，因为这些反应已在一般的手册中叙述过了。只讲一些对于研究玻璃形成过程具有重大意义的一般规律。特别是对于我们生产水晶玻璃、颜色玻璃及乳浊玻璃有利害关系的一些。

对于玻璃化学来说可逆反应是它的最大的特征。这种反应以具有某种速度的两个彼此相反的方向同时进行。这种速度与组分的性质及浓度有关，与温度也有关。

按照质量作用定律，反应速度是与参与反应的组分的浓度成比例的。假如以下列的形式作为可逆反应公式：



式中， $A$  和  $B$  是反应前的物质； $C$  和  $D$  是反应后形成的物质，那么反应的速度将是：

对于正的方向来说

$$V_1 = K_1 [A] [B], \quad (1,1)$$