



地球化学專輯

第 | 輯

地质出版社

1956年

地球化学專輯

第 | 輯

本專輯收集了有关地球化学方面的十五篇文章，內容比較丰富。“論地球化学的任务”一文敘述了地球化学研究的基本范围，使讀者們明确地球化学的基本任务。“論地球化学的基本規律”一文是討論对金屬礦床很特征的重金屬的地球化学問題。“苏联以外各國的地球化学現狀”一文主要談到目前國外地球化学發展的一般情况。此外，还有贱金屬礦床的地质与地球化学，个别元素的地球化学，如鈷、鈦、鋳、鉛、鈦、磷、鋁、鉍（鉬）、鋁、鉻、釷、錳、銻、銻的地球化学。

本輯可供从事地球化学研究工作的人員和从事礦协、礦床等研究工作的人員以及地质勘探人員参考。

地球化学專輯 第 1 輯

著 者	A. Γ. 別捷赫琴等
譯 者	沈 永 直 等
出版者	地 質 出 版 社
	北京宣武門外永光寺西街3号
	北京出版局出版營業許可証出字第009号
發行者	新 華 書 店
印刷者	地 質 印 刷 厂
	北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯：徐幼先 技術編輯：張華元、李鑒如
校對：白叔鈞

印數(京)1—5760册 一九五六年十月北京第一版
 字數：180,000字 一九五六年十月第一次印刷
 定價(10)1.40元 印張7¹/₁₆ 插頁 1
 開本31"×43¹/₁₆"

前 言

为了滿足讀者們在各种專業方面學習和參考的要求，我們分別編輯下列几种不定期出版的專輯：（1）地質專輯；（2）礦產專輯；（3）地球化学專輯；（4）地球物理勘探專輯；（5）水文地質專輯；（6）工程地質專輯；（7）鑽探專輯。

“地質知識”和“地質譯叢”兩種刊物自出版以來，都曾受到廣大讀者的歡迎，在傳播地質新知、交流先進經驗上無疑是起了很大的作用。但這兩種刊物都是綜合性的，便于讀者廣泛地多方面地吸收知識，而對於讀者在專業上的參考和鑽研則感不便。我們有見于此，參照了許多讀者的意見，按專業分別出版以上几种專輯。內容一方面有苏联和其他國家的論文，一方面也有本國的專門性著作。取材除了各种尚未發表的譯文和寫作以外，也選載一些過去在“地質譯叢”或“地質知識”上曾經刊登而比較有价值的材料。每輯除屬於一定的專業外，并儘可能圍繞一定的中心，說明一定的問題。這一類專輯的出版，相信定能給讀者們以很大的便利。

本專輯的主要對象是技術員以上的地質工作人員以及高等學校有关專業的師生。

最后希望讀者不斷提出改進意見，并源源供稿和推薦選題，以便本專輯能更臻完善。

目 錄

論地球化学的任务·····	A. Γ. 別捷赫琴 (5)
論地球化学的基本規律·····	A. Γ. 別捷赫琴 (10)
苏联以外各國的地球化学現狀·····	Вл. В. 舍尔宾納 (36)
贱金屬礦床的地質与地球化学·····	威尔遜 (53)
地壳中鈷 分布·····	Д. П. 馬柳加 (92)
鈦、鋯、鉛的地球化学·····	蘭卡瑪及薩哈瑪 (112)
鈦的地球化学·····	" " (124)
磷的地球化学·····	" " (128)
鈾的地球化学·····	" " (137)
鈳(鈳)、鋇的地球化学·····	" " (146)
鉻的地球化学·····	" " (152)
鉬、鎢的地球化学·····	" " (158)
鈾的地球化学·····	" " (164)
錳的地球化学·····	" " (171)
錯的地球化学·····	戈尔德施密特 (185)

論地球化学的任务

А. Г. 別捷赫琴

随着擴大我們工業的礦物原料基地的工作而开展起來的巨大規模的地質研究工作为地質科学——其中也包括地球化学的發展創造了有利的先决条件。对于成礦作用的地質环境的研究同时也進行了对于礦床的詳尽的礦物学研究和化学方面的研究，这些研究在很多情况下就自然的產生了在实际方面極為重要的有关地球化学現象的理論上的結論，这些地球化学現象表征着金屬礦床的形成作用。

自从維尔納德斯基出版了他的卓越的“地球化学綱要”（1934）以后，人們对于地球化学問題的兴趣大大的增高了。

出版于1933年到1939年間的費尔斯曼的四卷“地球化学”著作在傳播地球化学知識方面起了巨大作用。

苏联的地質学家們从斯米尔諾夫的关于硫化礦床氧化帶的著名的專論（1951）中取得了有关这方面的丰富的地球化学实际資料。我們也可以从維諾格拉多夫（А. П. Виноградов）（特別是关于生物化学方面）、柯尔任斯基（关于交代作用和變質作用方面）、金茲堡（关于風化壳方面）、斯特拉霍夫（Н. М. Страхов）（关于水盆地中沉積作用方面）以及其他苏联学者的著作中獲得許多寶貴的地球化学資料。

別洛夫在晶体化学領域方面的研究以及对于岩石及金屬礦床中礦物組合的共生分析提供了極大的兴趣，因为共生分析使我們有可能獲得关于形成礦石沉淀的化学反应的更真實的概念。最后，为查瓦里茨基所拟定的岩石的岩石化学分析法（1950）具有重要的意义。

所有这些研究礦物質的新方向对于地球化学都有着直接的关系，因此也应该在这門科学的教科書中找到相应的反映。这就有必要重新考慮一下地球化学的任务了。

薩烏科夫在他的“地球化学”教程中，根据維尔納德斯基和費爾斯曼的定义，認為地球化学的基本任务是：

“1. 闡明各別化学元素在地球各圈（地圈），特別是地壳中的分布規律，也就是說，闡明地圈的質与量的成分以及决定各种元素不同分布的原因。

2. 闡明化学元素在地壳中迁移的規律性以及化学元素在地壳各部分中分布不平衡的原因（例如一方面金屬在礦床中富集而另一方面在岩石中分散）。闡明与上述相关的决定元素共存及其以某些礦物綜合体（即所謂元素和礦物的共生）形式沉淀的順序性的原因”。

从地球化学的定义本身出發來确定地球化学的任务不一定正确，因为地球化学的定义不可能永远不变，不可能不随着地球化学的發展而改变。在确定这些任务的时候我們應該依据在这个领域中所有的一切成就，應該考慮到实际的迫切需要和尽可能地考慮到这門科学今后的發展远景。

在轉入到闡明作为地球的化学的地球化学的任务以前必須簡略地着重指出其区别于其親緣科学——化学——的主要特征，后者是研究物質、物質的变化（即化学反应时的变化）和伴随这些变化的現象的科学。

我們知道許多化学元素在自然条件下远不能形成如像以實驗室方法所能獲得的一切离子。在地壳中進行化学作用时，由于这些作用是在相对的狭小的氧化—还原电位的范围以內進行，因此生成各种原子价的离子的可能性就大大受到限制。这基本上也說明了自然化合物——礦物——相对的数量不多这一事实（成礦时，离子或原子結合的可能的数量大大縮減了）。此外，很多低克拉克值（元素在地壳中的平均含量）的元素，在当它們的离子按其大小和化学性質，近似于廣泛分布于同样条件下的其他化学元素的离子时，結晶作用的結果或不形成或者極少形成独立礦物（例如鉛、錫、銻、銻、銻、銻、銻、銻等）。这些元素基本上是呈对于在礦物中分布更多的元素的类質同像混入物形式成分散状态存在着。而在實驗室和工厂的条件下就完全有可能造成这些元素的任意濃度，并且不僅可以人为地制取各种極不相

同的化合物，而且也可以使它們分離成金屬或原子狀態。

由以上已經可以看出化學作用的自然條件是和實驗室里的化學作用的條件怎樣的不同的。雖然自然反應具有在規模上更為壯偉的景象，但是地球化學作用——這種作用我們是以對其最終的轉變產物（礦物）來進行研究的——與實驗室條件比較起來是以其較少的多樣性為特征的。我們知道表生形成物的礦物是最多的，這些礦物是在低溫低壓的條件下，在氧的高分壓的情況下，最後，在地球上有機物質廣泛發育的條件下生成的。但是這裡所形成的化合物的總的數量和用人工方法所能獲得的數量相比較也是非常少的。

費爾斯曼在講到地球化學和化學及晶體化學的區別時完全正確的強調指出：地球化學的經歷是比預期的更為規律，更少多樣化。因此化學化合物形成的規律性以及與之相聯系的在造礦作用時各別元素的習性的規律性也是比較簡單的。

這樣，將地球化學分出來成為一個獨立的科學部門就有了足夠的基礎。

如果地球化學是地質科學之一，那麼很自然的，它的內容也應該能夠更全面地滿足擺在這門科學面前的目的。除了屬於地殼或者整個地球的一般地球化學情況以外，主要的應該注意地質學實踐中必須處理的對象。這裡，闡明礦床作用的地球化學規律性當然具有最重要的意義。可惜，我們的地球化學家在這一方面的工作仍然還做得很少。金屬礦床的研究者們雖然沒有這方面專門的修養，也不得不親自來研究這些問題。必須提醒，地球化學規律性的知識和其他的地質學的知識一起在地質勘探工作有效的進行中有着巨大的幫助。

從現代科學的成就及科學發展的遠景出發，並且也根據了從實踐中所提出的質詢，使有可能來擬定出地球化學的主要任務。

第一個任務——研究地殼的平均化學成分和各別元素及其同位素在地殼各部分中分布的規律性。

在這一個科學領域里我們已有很多的成就。在這些問題的研究中起着顯著作用的是我們祖國的學者——維爾納德斯基、費爾斯曼和維諾格拉多夫。

但是擺在我們面前的仍有着巨大的研究工作：闡明在某種岩漿的或沉積的綜合體和各別岩石中“少量”元素的平均含量，特別是在金屬礦床地區為了查明礦石與母岩或圍岩之間的關係的規律性就更為必要。這些工作在某一地區尋找新的金屬礦床進行專門的金屬測量時可能有極重大的幫助。

最後，在我國在維諾格拉多夫的領導之下所進行的對自然形成物中元素的同位素成分的研究引起了極大的興趣。

另外一個任務——研究化學元素在晶體化學規律的基礎上在各別礦物中和在各種成分的、成因上彼此相關聯的礦物綜合體中結合的規律性。

在這個研究領域里，費爾斯曼、戈爾德施密特、別洛夫、斯大林凱維奇-波尼曼(И.Д. Старынкевич-Борнсемен)及其他學者已經定出了不少的法則，這些法則無論在科學上或者實際上都是很有價值的。對比化學元素在各種礦物中組合規律性使有可能解決很多重要的問題：從溶液或熔體中形成晶體時，某些離子的選擇是按照什麼次序並且又是為什麼會完成呢（根據成礦作用的物理—化學條件）？為什麼自然界中，在各種順序地生成着的內力作用和外力作用的產地中會發生化學元素的有規律的分布呢？怎樣解釋已經查明的貴金屬和稀有金屬在某些礦物中的富集，雖然它們在原始溶液中的含量是稀少的，等等。

根據礦物在礦石和岩石中的共生關係來研究自然化學反應也是重要的任務。

這是極重要的地球化學的領域，但是直到現在工作做得還是很少的。在研究礦床時這一個領域具有特殊的意義。

柯爾任斯基在物理化學原理的基礎上擬定了在變質岩中礦物組合的共生分析法以後這種研究就成為可能了。可以找到研究礦物共生關係的方法，也可以找到應用礦物共生關係於金屬礦床的方法，金屬礦床是成分上和構造上更為複雜的自然形成物。

要知道對於作為相應於一定的、順序發展的成礦作用階段的共同生成的礦物群的平衡組合做對比的研究具有巨大的意義。從這些研究的結果可以得出，在化學反應時，伴隨着各種極不相同的礦床和岩石

的形成作用的同时，这些化学元素活动規律性的極為有趣的結論。已經确定，这些研究也具有很大的实际意义。

只有在研究了所有实际材料和在解决上列任务时所得出的結論的結果之后，我們才有可能來闡明地球化学中的根本問題——在地壳中的各种物理化学条件下所進行的与地質作用的發展相联系的化学元素迁移的歷史問題。

应注意，化学元素在地壳中的迁移作用是不能直接被觀察到的。有关这方面的結論我們只能从反映礦物形成作用的自然現象的各方面的研究結果中得到。

当進行这些研究时應該揭露化学元素在順序地形成的岩石綜合体以及成因上与之相关的礦床中分布的規律性；應該考慮到在各种物理—化学条件下進行的成礦作用中元素結合的晶体化学規律；應該闡明根据在岩石和礦床的各个形成时期和形成階段中順序生成的共生組合在化学反应时化学元素活动的規律性。只有通过这种方法我們才能夠接触到关于在自然条件下導致元素集中和分散的原因的更真實的概念。

岩石和礦床塊体所有組成部分之間的空間关系和時間关系的分析引向解釋地質作用發展过程的歷史的順序性，与之同时也解釋了化学元素的迁移歷史。这些研究在准确的科学成就的考慮下進行得愈深入愈詳尽，那么我們关于分異以及礦床形成时物質迁移的判断就更接近于真實。

这样，地球化学作为关于化学元素的性質的科学、作为关于化学元素在地壳中進行着的化学变化（反应）时的習性的科学、以及作为与上述相联系的关于元素迁移規律和元素在時間上和空間上分布的規律性的科学就應該一方面依据建筑在門德雷耶夫元素周期系的基礎之上的化学本身的科学成就，而另一方面應該和考慮到晶体化学規律的具有明确的目的性的礦物学研究取得有机的联系。

本文譯自 Доклады Академии наук СССР. 1954, № 6.

作 者 А. Г. Бетехтин.

於崇文譯 趙其淵校

論地球化学的基本規律^①

A. Г. 別捷赫琴

在本文中將主要地來討論對金屬礦床很特征的重金屬的地球化学問題。在對原子和离子構造深入分析的基礎上，對已經被礦相学研究所確定的礦物共生關係的規律性得到了解釋。這些研究令人信服地說明了基本的地球化学規律（化学元素在地殼中的存在決定於這些元素的原子的構造）在礦物学的研究中有著廣闊的應用。

前 言

從事於金屬礦床研究工作的地質學家們愈來愈對地球化学的問題表示出了十分合理的興趣，地球化学這一門科学的奠基者為維爾納德斯基和費爾斯曼。由於金屬礦床在本質上並非別的而是發生於地殼多種不同條件下的複雜的自然化学反應的產物，那麼人們希望知道為自然界中化学元素的習性所控制着的規律並以此能夠更有意識地對在礦床勘探中所確定出之規律性進行進一步之研究也就很十分自然的了。

遺憾的是我們的地球化学家們在這方面對我們的幫助依然很少。雖然有許多對我們很有意義的問題還在十年以前就為費爾斯曼在其主要著作“地球化学”中提出來了，但直到如今這些問題在我們的文獻中尚未得到必要的闡明，如果不計算索波列夫（В. С. Соболев）、卡普斯琴斯基（А. Ф. Капускинский）及其他人的一些個別的有意義的論文的話。不久以前出版的薩烏科夫的地球化学教科書（該書的中譯本“地球化学”，見地質出版社1955年出版——校者）很好的闡明了關於地球化学的一般性的問題，但有關為我們所感興趣的成礦作用間

①供談討論。

題方面的章節却不能滿足地質學者們目前的要求。在這些章節中基本上是以地球化學的面貌解釋了一些有關原始岩漿分異問題的為大眾所熟知的某些觀點；某些陳舊的為蘇聯學者所駁倒的關於金屬礦物在早期結晶過程中按着所謂“索普布什規則”分泌的時間問題的觀念等等；而對最重要的熱液礦床的問題，則開始只是引述了一些最一般和片斷的關於其成分的知識，然後敘述了關於熱液礦石發生的各種假說和個別的原理，而其中大部分在我們目前的認識水平上是不能夠加以同意的。

同時蘇聯研究者們對不同成因礦床礦石的物質成分進行系統研究的結果，積累了新的豐富的實際材料，這些都是在地球化學方面經常是最有關係的。為了查明在成礦過程中的規律性而對這一些資料進行必要的處理，由柯爾任斯基（Д. С. Коржинский）及本文作者所發展的共生組合的研究將具有特別的意義。這樣，正如在一系列論文中所已表明的一樣成功地發現了許多有關一些個別元素習性的特性。

但是科學思想並不能為這些所滿足，它力圖利用現在物理、化學領域中所取得的成就來查明所有這些地球化學現象的原因。我們知道目前的物理化學是在門德雷耶夫周期律的基礎上發展起來的。費爾斯曼對這一問題曾寄予了巨大的注意力。實際上在其所著的“地球化學”一書中，整個第三卷都花在這一個複雜的問題上了，在序言中他還強調指出“書中有很多問題只是被擬定出來了，很多問題只是被提出來了，但遠遠未能得到解決”，和“對地球化學問題進一步的研究只有在對原子構造和原子外殼特性的研究基礎上進行才是可能的”。

為了想解釋已經確定了的重金屬在自然作用中性質的規律性，我們做了對原子構造特性進一步加以分析的嘗試。同時在這一論文里，有必要把研究範圍只限制在對地殼範圍內自然條件下化學元素的外層電子殼及與之有關的化學性質上面。

元素的周期系及其地球化學特性

門德雷耶夫對位於某一序列的元素的化學性質變化方面周期律的

天才發現不僅标志着化学本身領域中觀念的革新，同時也廣闊地推進了一系列兄弟科学的迅速發展。基于這一發現，加上在二十世紀所獲得的最偉大的理論綜括，在這一規律中又引入了新的內容，並且將它提到了更高的高度。

目前形式的元素周期系是地球化学的不可分割的基礎，是我們探索中的“引路的星辰”（費爾斯曼語）。現在許多人都已經深信化学元素在地壳地質作用中的習性与原子的电子層構造，特別是外層电子層的構造有关，因而也就是決定于元素在門德雷耶夫周期表中的位置（圖1）。十分自然，外層电子層構造相同的元素具有共同的或相近的化学性質。換言之，也就可以以此來解釋在不同类型岩石和礦石中这些元素为什么可以常常地一塊存在。下列諸重要性質同样也都与原子構造的特性有关：原子的离子化能力，亦即原子形成某价离子的性能，因而也就接受一定的相应电荷的能力；在反应时的离子的大小。这些性質，如我們所知，在形成化学化合物时有着决定性的意义，这些化学化合物就是我們所研究的作为各种地質作用產物的礦物。

这一些久已确定了相互联系，查瓦里茨基（А. Н. Заварицкий）曾概括成下面的話句：

“因此，現在已几乎成为合理的基本的地球化学規律，可以这样來表述：化学元素在地壳中的存在取决于这些元素的原子構造”。

为查瓦里茨基提出的元素的地球化学表（圖1）本質上是根据把化学元素性質变化周期律应用于自然环境中而編成的圖解。因此它很廣泛的反映出了上述的地球化学規律性。这一規律最主要的結果，在表中就呈現出在自然界中可共同遇到的化学元素組。这些作为元素地球化学分类基礎的天然組合，實質上反映了地壳內在任何类型的礦物形成中化学元素空間分布的規律性。确实，所有主要的岩石元素在表中都分布于它的左面，而相反，典型的金屬礦床元素則位于表的右边；最上部是輕的非金屬元素，它們在自然界中形成簡單的陰离子或絡陰离子，这些陰离子和絡陰离子与氫一道在成礦过程中对化学元素的搬运和沉淀上起着巨大的作用；表的下部是一系列最重的和不穩定

的具有放射性的元素等等^①。

但是地球化学基本規律的意义絕不僅止于这一極重要的关于元素成有規律組合的原因的結論，这正如我們在中所見到的一样，每一元素組合在原子和离子構造上都有着自己的特征。这一規律也可幫助我們了解許多別的在自然界所遇到的地球化学現象。特別是这也可涉及到金屬礦床的問題，我們知道金屬礦床在形成上与一般岩石比較起來將有着更为复雜的过程。屬於这样的一系列現象有：例如許多元素成自然状态而存在；一系列重金屬元素傾向于形成比之从門德雷耶夫表推測知的較為低价的离子；在形成硫化物、氧化物、或鹽类时金屬元素与硫、氧、和一些其他非金屬元素的化学親合力；在若干情况下一定重金屬組与一定类型岩漿岩在成因上的关系；在热液过程中在成因上与同一礦化源有关的一系列重金屬元素在空間方面的分离現象等。

所有上述在詳細的礦相学研究中所确定的存在于礦石中的現象，都有着完全的規律性，而且都与参加到成礦作用中的那些元素的原子和离子制造有着因果的关系。因此，这里應該預先提示一下原子構造的基本特性，特別是电子壳，所有元素的化学性質都与它有着密切关系，同时这些性質也適應于这些元素在周期表中的位置。

在周期系中，如我們所知，化学元素的分布是有嚴格順序的，而这順序与决定元素序数的原子核的正电荷的增加是相应的，由氫开始（ $Z=1$ ）和以釷（ $Z=100$ ）結束。在原子核周圍的电場中分布着按一定軌道运动的帶負电荷的电子，它們的总数在中性原子中恰恰与元素的原子序数相当。遵照量子力学的理論，每个电子与一定能階，也即所謂量子状态相当。

在多电子的原子中能階被联合成組，或像在模型概念下所說的联合为呈同心圓狀包圍原子核的“电子層”。每一層都以在离原子中心某一定距离上的最大电子密度为其特点。在門德雷耶夫表的每一周期中，这种壳的数目相当于周期序数（主要量子数目 n ），也即 n 的数

①这些組元素的地球化学特性的詳細敘述請見于不久前出版的“礦物学教程”中第473—486頁，因此这里我們就不加研究了（中譯本見“礦物学教程”下冊，別捷威琴著，丁浩然譯，商务印書館1954年出版，第668—686頁——校者）。

值由 1 变到 7^①。層分布得距核愈远，則它的电子与核的联系愈弱，而在从原子中分离出这些电子并以这种方式把它轉变为离子时所需耗費的能也愈小。因此在化学反应时外層的或最远离核的电子比其他电子更易進行相互作用。

如果原子的外电子層是由 8 个电子構成，則这样的層具有最小的能量，而决定了这些元素原子的化学穩定性。化学上呆滯的，也即不参加化学反应的惰性气体的原子就是这样，如：氖、氩、氦、氙、氡，而氦也是这样，不过它的僅有的一个电子層是只由二个电子構成。所以在外壳上电子的数目都小于 8 的其他元素（除去不多的例外），在地球的环境中是少穩定的或不穩定的，这样它們或是丟去多余的电子，或是獲得补充的电子，以之獲得在能量方面更有利的外層电子的組合。在这种情况下（即失去电子或獲得补充电子）中性的原子就轉变为离子：或成帶正电荷的离子——陽离子，或成帶負电荷的离子——陰离子。丟去或獲得的电子数目就决定了离子的电价（ Na^{1+} ， Mg^{2+} ， O^{2-} ， F^{-} 等）。

当研究分布在靠近核的内部电子層时（參看圖 1），不难看出随着原子序数的增加，也即随着核的电荷的增加，在每層中的电子数目都达到一定界限。在这些層内理論上可达的最大电子数目以 $2n^2$ 來決定（这里 n 是主要的量子数目），也就是数字：2, 8, 18, 32, 50。这就是說在最接近核的第一層中电子的最大数目不能超过 2，在第 2 層中不能超过 8，在第三層中不能超过 18 等等。例如在氫原子中（圖 1），我們可見以下这样的外圍电子構造：2, 8, 18, 32, 18, 8。在这一原子中前四电子層是被配滿了的，而第五第六層則尚未配滿。

因此很有意思地可以看到，在門德雷耶夫表的个别周期中电子層

①此外，在电子層（組）中分为受第二量子数所决定的亞組，根据光谱上的述語其符号为：S、P、d、f。在这些亞組中电子的最大数目各不相同：S=2、P=6、d=10、f=14。电子填充这些亞組是根据元素序数的增大而有一定次序，并且被增加的电子趋向占据尚未充填数目的最低能階。例如在氖（Ne）中，其电子特徵是 $1s^2, 2s^2, 2p^6$ （在这里前面的数字代表層的号数，指数代表亞組中的电子数），最后的第十个电子，佔据在 P 亞組的最后一位置。因此，对于这一元素來說，我們看到完全安置好的兩個电子層（第一層 2 个电子，第二層 8 个电子）。关于所有元素电子層的詳細性質請參閱“原子”一書（BCЭ, 1950）（門德雷耶夫的元素周期系）。

的充填是如何進行的，像我們所看見的那樣，第一個周期是兩個電子①——H 和 He，因而，第一電子層就立刻被充填到最大可能的界限（兩個電子），在第二個周期中（Li—Ne），第二電子層同樣被充填到底（八個電子），在第三周期中（Na—Ar），電子的充填在第三層上進行，在這裡電子的極限數目應該是18，我們已經觀察到有某些反常現象，在這周期中，外層的配值停留在8個電子上（氬）。由氬過渡到鉀，然後再到鈣，隨之則開始形成新的（第四）電子層，並且只有在這以後，從釷（ Th 21）開始才從新逐漸地（雖然不完全經常地）被第三層的（由外數第二層的）不足的十個電子所充填（到 Cu 29— Cu ，在 Cu 上電子數目達到這一層的最大數——18），在這一周期（第四周期）的後部（在 Zn 以後）繼續配值第四電子層，在這一層上，電子的最大可能數目已經是32，這個數目像我們從元素表（圖1）所看到的那樣，只在第六周期中才被達到（在稀土族的最後一 La 71），並且在第四電子層裝配的過程中，有兩次停頓：在 Rb — Sr （ Rb 37—38）和 Ag — Ia （ Ag 47—57）一段。第五電子層，在第五周期（ Rb — Sr ）中開始被建立，然後有一個間斷，接着繼續在下面這些間隔中裝配電子： In — Xe （ In 49—54）、 Hf — Au （ Hf 72—79）和在鈾系中。畢竟這一電子層幾乎一半留下來沒有充填（對於最後一個元素 La 100——鈾來說，在這個元素里，我們看到以29個電子代替了這一電子層理論上的最大數目50）。至於第六和第七電子層，只是在最後一些周期中開始被建立，它們在門德雷耶夫周期表的範圍內，更是沒有被充填滿。在離核較遠的電子層（第四，第五，第六，第七）中，配置的“阻滯現象”，是“受制於在多電子層中電子相互的排斥力，這種排斥力只有在核的正電荷足夠增長之後，才能被克服”。

因此如我們看到的那樣，電子層的數目當過渡到每個新周期時則增加一個，但只有在前二個周期中這些電子層能立刻被填補滿，也就是在這樣的層中電子數目可達到極限值。其他遠離核的電子層的填配則都需拖延二個周期或更多的周期才能達到完全（完全根據量子力學的

①在元素的地球化學表中（表1），為了應用的方便起見，稀有气体的原子，不是安置在同期的末了，而是在稀有气体后一周期的開始。

原理)。

不但周期的数目(以及与此有关的層的数目以及層被电子填滿的順序数)能由現代物理的根据中求出,甚至計算出在每一周期中含多少化学元素都不困难。

每一新电子層被电子的充填(此新电子層出現于元素的一定周期)是按一定嚴格的順序在進行。在周期系的开始是量子状态 $1s$ (表的第一周期)被充填。在第二周期中充填是在由亞組 $2s$ 和 $2p$ 構造的第二电子層上進行,在第三周期元素的構造中我們有相似的外層(第三層)構造: $3s$ 和 $3p$ 。在第四周期的元素中(具有四个电子層),电子的填充已經是以稍稍不同的組合在進行: $4s, 3d, 4p$,也就是第四層开始被建立,然后填足第三層并且再重新繼續充填第四电子層。在第五周期中第五电子層以相似的量子状态組合的方式被建造着: $5s, 4d, 5p$ 。在元素的第六周期中我們有新型的充填外層的方式: $6s, 4f, 5d, 6p$ 。最后,对于第七周期的元素,則存在不完全的組合: $7s, 5f, 6d$ ($7p$ 的状态在元素周期系中不發生)。

在另一方面,按照量子力学的原理,对于在亞組 s, p, d, f 中的电子的每一状态,都不僅有能階的值的差別,同时也有电子在空間中运动的可能方向的差別。此时在不同的状态中运动方向的数目也不同:在一定能的情况下,状态 s 只有一个可能方向, p 有三个, d 有五个, f 有七个等等(也就是这些数目都是自然数列的奇数)。

根据这些資料不难計算出表中每一周期元素的数目:取亞組(s, p, d, f)中对于每一电子状态被導出的可能方向的数目,然后把它們乘以2(根据鮑里[Пауль]的原理在每一状态中可存在到二个电子)。

表 1

周期数	在周期中电子量子状态的組合	在周期中元素的数目
1	$1s$,	2
2	$2s, 2p$	$2+6=8$
3	$3s, 3p$	$2+6=8$
4	$4s, 3d, 4p$	$2+10+6=18$
5	$5s, 4d, 5p$	$2+10+6=18$
6	$6s, 4f, 5d, 6p$	$2+14+10+6=32$
7	$7s, 5f, 6d \dots$	周期未完