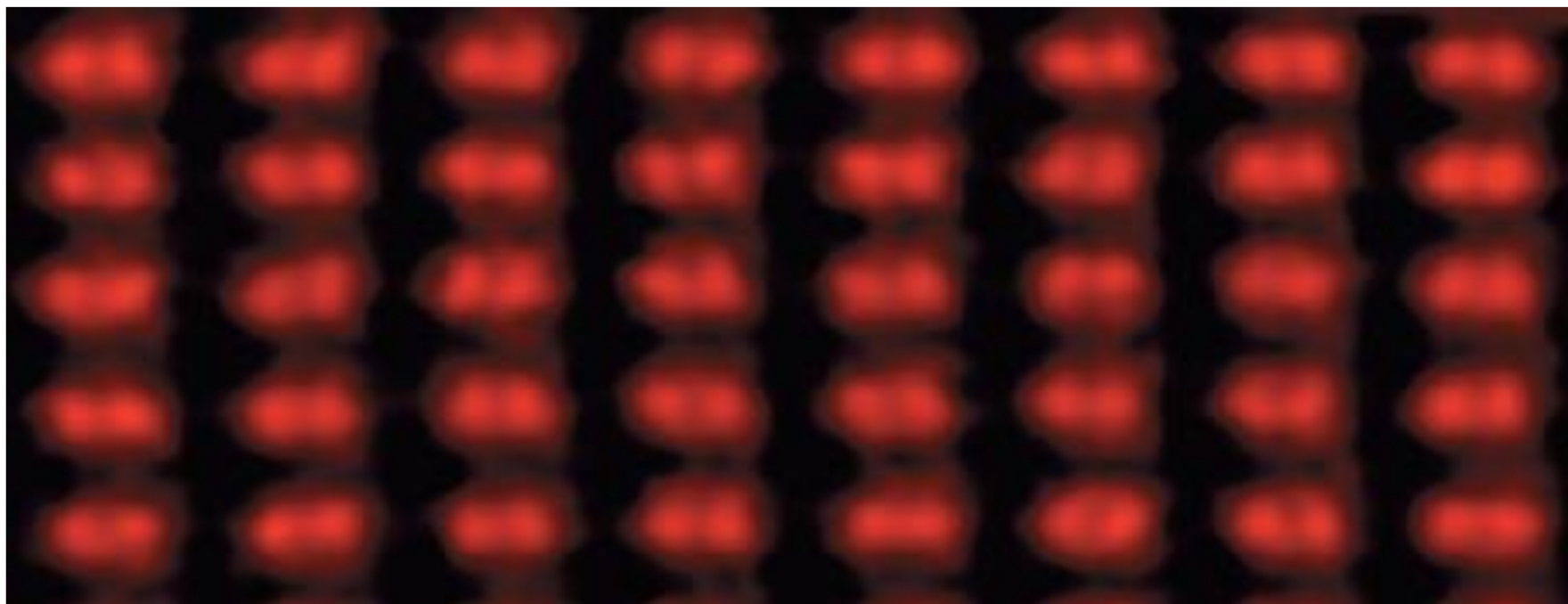


原子与原子理论

JUNE 21



相距仅 78 pm 的硅原子图像，使用扫描透射电子显微镜(STEM)“拍摄”。两千多年前就提出所有物质都由原子构成，但直到最近几十年，我们才开发出使单个原子可见的技术。

学习内容

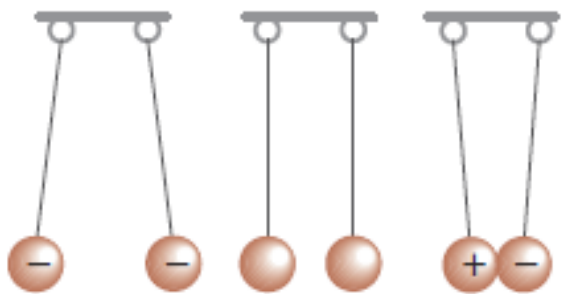
- 2.1 描述和区分质量守恒定律、恒定组成定律和倍数比例定律
- 2.2 讨论电子的发现，并描述它们的基本特性，例如电荷和质量
- 2.3 识别原子核的特征，并讨论质子、中子和电子的性质
- 2.4 描述同位素的含义，并讨论如何推导出所有元素的质量
- 2.5 根据实验确定的同位素质量和丰度百分比确定元素的原子质量
- 2.6 识别元素周期表的不同区域，包括金属和非金属、稀有气体、准金属、过渡金属和主族元素
- 2.7 确定阿伏伽德罗常数的值，并描述摩尔质量的含义
- 2.8 使用阿伏伽德罗常数在样本中元素的质量、物质的量和原子数之间进行转换

2-1 早期化学发现和原子理论

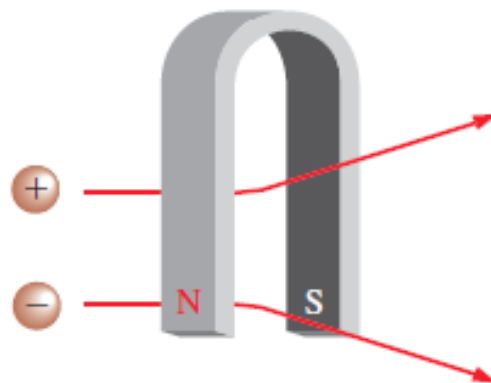
- 早期人们对化学的应用的兴趣远大于基本原理，而化学进入现代，得从燃烧过程的解释开始
- 1774年拉瓦锡通过在密闭容器中加热锡，提出**质量守恒定律**：化学反应后存在的物质总质量与反应前物质的总质量相同
- 1799年约瑟夫·普鲁斯特提出**恒定组成定律**：一种化合物的所有样品都具有相同的成分——组成元素的质量比例相同
- 道尔顿通过上面两个定律作为原子理论的基础，提出：
 1. 元素由原子这种不可分割的微粒组成，化学变化前后原子不可创造也不可被破坏
 2. 一种元素的所有原子在质量和其他性质上都相似，但不同的原子不同
 3. 化合物中，不同元素以简单整数比组合
- **倍数比例定律**：如果两个元素形成一个以上的化合物，则一个元素的质量与第二个元素的固定质量的组合是小整数之比。

2-2 原子物理学中的电子和其他发现

- 某些物体显示出一种称为电荷的性质，它可以是正电荷也可以是负电荷
- 不同电荷相互吸引，相同电荷相互排斥
- 带电粒子在磁场中移动会受力导致偏转，这种力称为洛伦兹力



我们将使用静电（电荷吸引和排斥）来解释和理解许多化学性质。

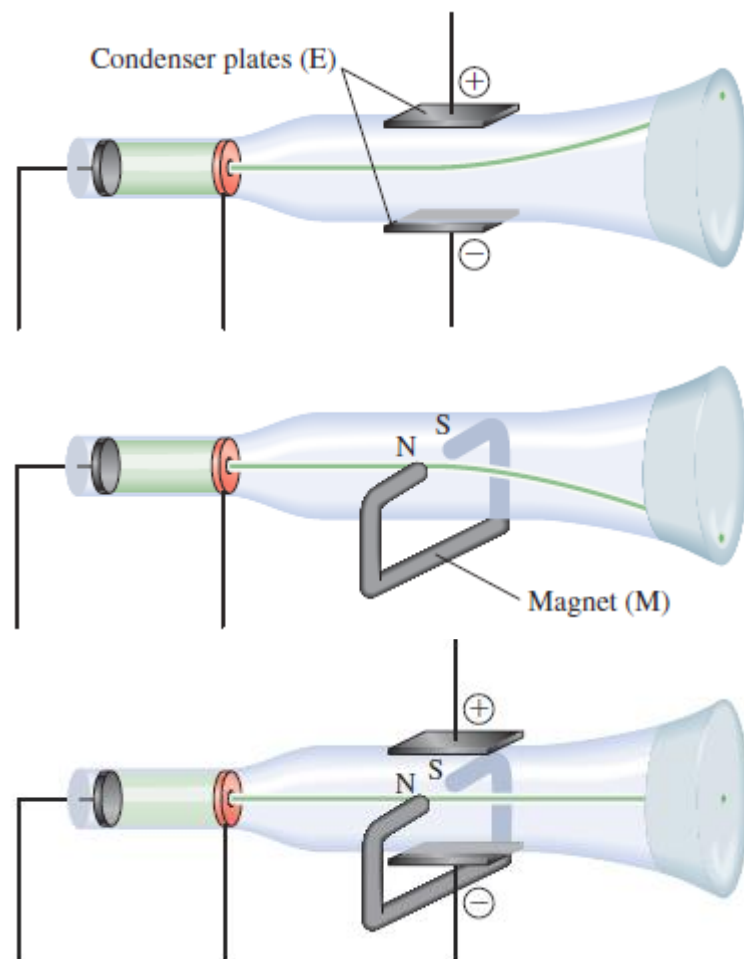


当带电粒子穿过磁场使其路径垂直于磁场时，它们会被磁场偏转。带负电的粒子向一个方向偏转，带正电的粒子向相反的方向偏转

2-2 原子物理学中的电子和其他发现

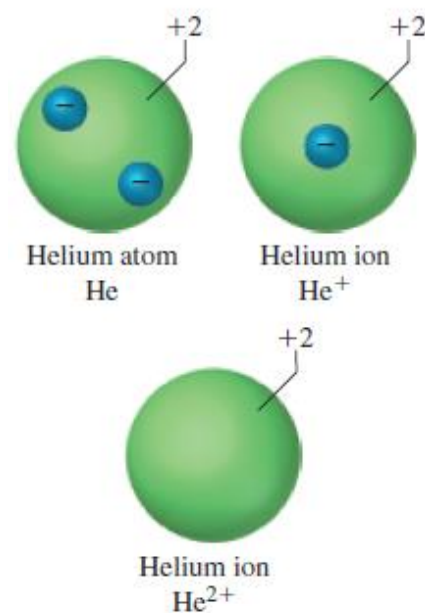
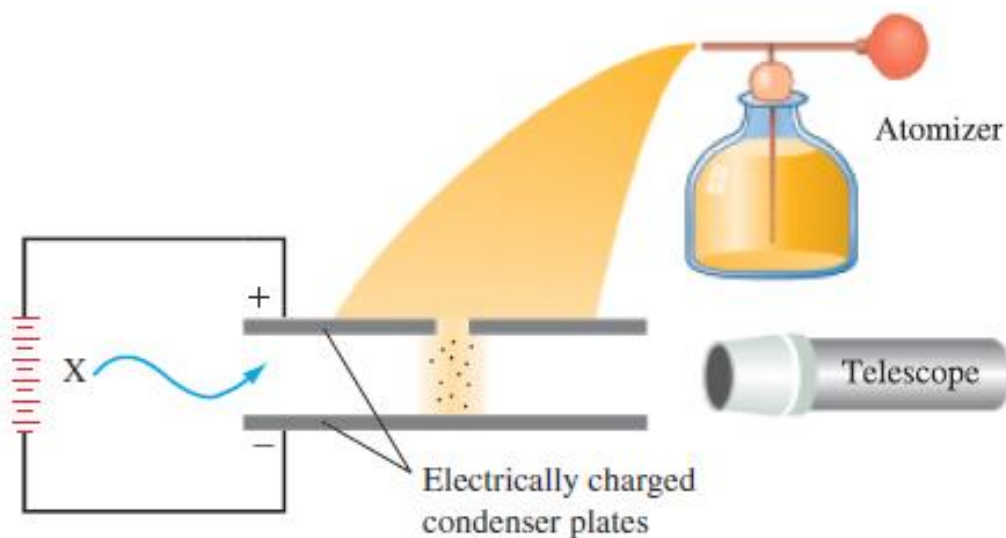
- CRT是阴极射线管的缩写，法拉第给真空管通电时发现产生了辐射
- 这种辐射沿直线传播，与阴极使用的**材料无关**，通过荧光屏才能观察到阴极射线
- 利用电场和磁场进行实验，发现阴极射线带有**负电**
- 通过汤姆孙测量了阴极射线质量和电荷的比值，不同材料的结果一致

阴极射线在电场和磁场中发生偏转。通过调节电场和磁场的强度可以获得 m/e 的值。结果为 $-5.6857 \times 10^{-9} \text{ g/C}$



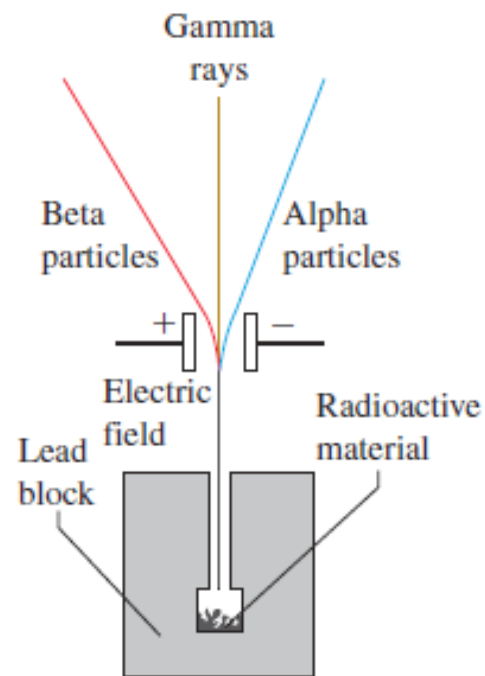
2-2 原子物理学中的电子和其他发现

- 乔治·斯托尼将组成阴极射线的粒子称为电子
- 密立根通过油滴实验确定了电子电荷 e 。其值为 $-1.602 2 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，由此可知电子质量为 $9.1094 \times 10^{-28} \text{ g}$
- 结果表明电子是基本物质粒子，所有元素都含有电子
- 汤姆孙提出了葡萄干布丁模型解释原子结构



2-2 原子物理学中的电子和其他发现

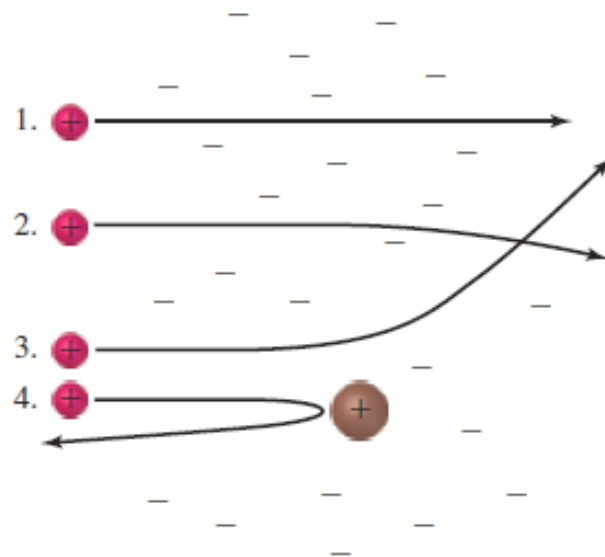
- 伦琴发现阴极射线管引起的辐射导致周围物质产生荧光，将其取名为X射线
- 贝克勒尔发现含铀矿物可以隔着黑纸感光胶卷，这一现象叫**放射性**
- 卢瑟福从放射性物质中确定了两种类型的辐射： α 和 β 射线， α 射线带两个正电荷，质量与He差不多， β 射线就是电子
- 第三种射线被保罗·维拉德发现，其具有极高的穿透能力，称为 γ 射线
- 玛丽·居里和皮埃尔·居里发现了更多的放射性元素。而卢瑟福和弗雷德里克·索迪提出，放射性元素的化学性质在反应前后发生变化。这种现象称为**嬗变**



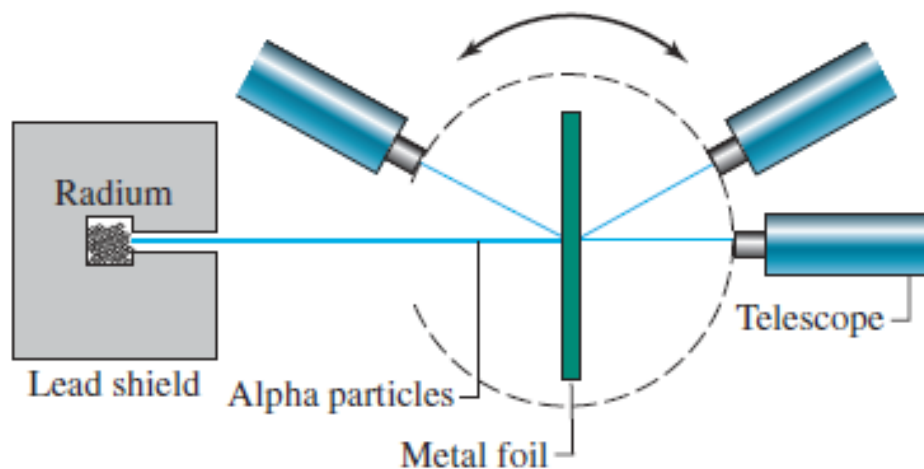
三种射线表现出不同的行为

2-3 原子核

- 卢瑟福让 α 粒子穿透金箔，他观察到如下现象：
- 大部分粒子未偏转地穿透金箔
- 一些粒子有轻微的偏转
- 少数粒子发生了严重的偏转，概率为两万分之一
- 类似数量的粒子未穿透金箔，而是反弹回来



金属箔对粒子的散射：探测器围绕包含金属箔的真空室沿圆形轨道行进。大多数颗粒穿过金属箔时不会偏转，但有些颗粒会偏转大角度。



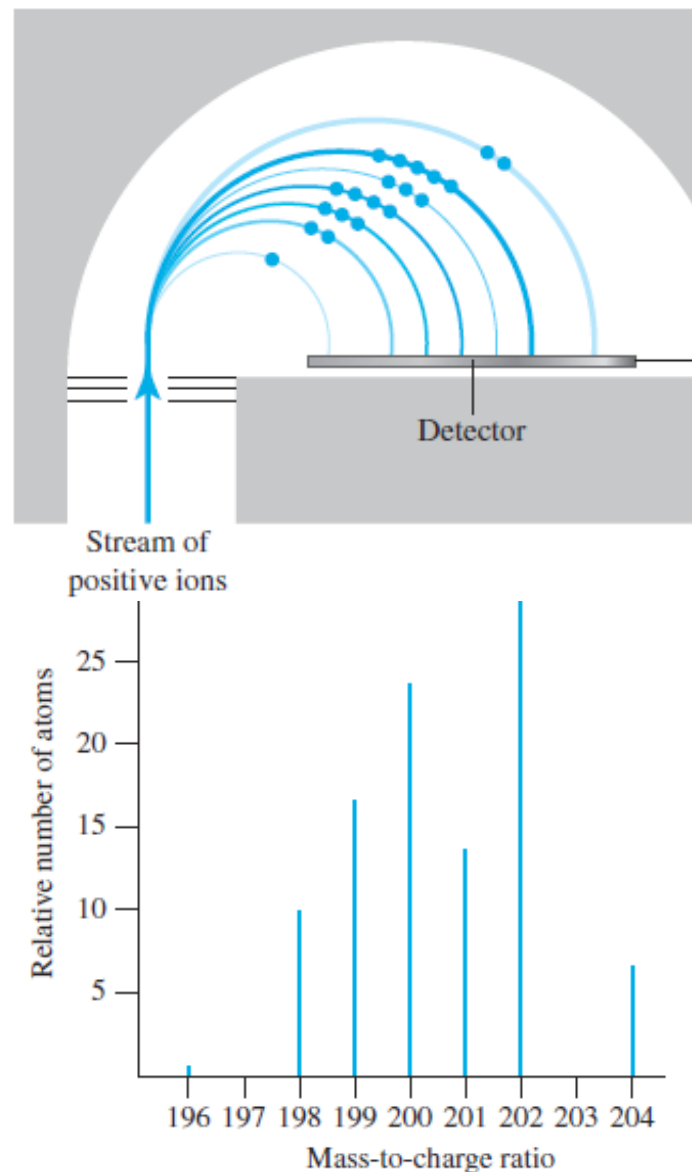
2-3 原子核

- 卢瑟福的原子模型表明原子中心存在带正电荷的基本粒子，他在 α 粒子撞击N原子的实验中发现了质子
- 卢瑟福预测原子核中还存在电中性粒子，十三年后詹姆斯·查德威克发现了中子
- 原子质量单位定义为碳-12原子的1/12，用u表示。因此碳-12原子的质量为12 u
- 原子中的质子数称为原子序数，用Z表示。电子数=Z，质量数是质子数和中子数的和，用A表示，中子数=A-Z

	电荷 (SI单位)	电荷 (原子单位)	质量 (SI单位)	质量 (原子单位)
质子	$+1.6022 \times 10^{-19}$	+1	1.6726×10^{-24}	1.0073
中子	0	0	1.6749×10^{-24}	1.0087
电子	-1.6022×10^{-19}	-1	9.1094×10^{-28}	0.00054858

2-4 化学元素

- 特定元素的原子具有相同的原子序数 Z
- 目前， Z 的取值范围为1~118，每个元素都有独特的符号与名称
- 符号由1~2个字母组成，首字母大写，多数基于拉丁文名称缩写（而不是英语），因此Fe源于ferrum，Pb源于plumbum。W源于德语的wolfram
- 符号 ${}^A_Z\text{E}$ 用于表示特定原子
- 元素的原子质量可以不同，因为中子数不同
- 原子获得或失去电子得到**离子**，离子带电荷
- 通过**质谱仪**可以确定离子的质荷比



2-5 原子质量

- 碳-12的质量为12 u，但周期表上碳的质量是12.01，因为周期表上的是平均质量，其与**同位素丰度**有关
- 同位素丰度因样品变化而改变，因此实际的原子质量是一个区间，用 [a,b]表示
- 氟在自然界中只有一种同位素，其原子质量更加精确。而铅的同位素丰度差异很大，其原子质量只有四位有效数字（普化原理486页）
- 例题：硅的三种天然同位素的质量和百分比同位素丰度为： ^{28}Si ，27.9769265325 u，92.223%； ^{29}Si ，28.976494700 u，4.685%； ^{30}Si ，29.973377017 u，3.092%。计算硅的加权平均原子质量。

2-6 元素周期表的介绍

- 通过可观察物理或化学特性将元素进行分裂，例如密度、熔点等
- 元素按照原子序数递增的顺序从左上角开始排列，并排列成一系列水平行
- 相似的元素放置在垂直的**族**中，一共有18列
- 元素分为两大类——**金属**和**非金属**，元素名称的部首是根据元素单质的性质来的，汞和溴是液体，金属都是金字旁的，非金属固体单质石字旁，气体单质气字旁。
- 各族的名称有两种表示方式，以前分为**主族**和**副族**。现在统一使用1~18族来表示
- 1族称为**碱金属**（氢除外），2族称为**碱土金属**，17族为**卤素**，18族为**稀有气体**。3~12族称为**过渡金属**

2-7 摩尔和阿伏伽德罗常数的概念

- 物质与该物质的含有的粒子数相关联的SI量称为摩尔（缩写为mol）
- 1 mol的定义曾经为12 g碳-12包含的原子数，称为阿伏伽德罗常数，现在规定为 $6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- 也就是现在1 mol的碳-12的质量并不精确的等于12 g，1 mol质量为1 u的微粒，质量也不精确等于1 g
- 但在一般的计算精度下，我们仍可以认为一摩尔原子的质量（克）数值与原子质量单位的加权平均原子质量相等
- 阿伏伽德罗常数的数值非常大，和地球上沙子的数量差不多，因此mol不用于宏观物体的计数
- 为确保允许的最大精度，已知物理常数中的有效数字至少比其他测量量多一位。

2-8 在计算中使用摩尔

■ 例题

钾-40是少数天然存在的低原子序数元素放射性同位素之一。它在K同位素中的同位素丰度百分比为 0.012%。牛奶中钾含量是1.65 mg/mL，一瓶225 mL的牛奶含有多少个 ^{40}K 原子？

对岩石样品进行分析以确定其铷含量。从0.350 g的岩石样品中提取Rb，往其中添加了额外的29.45 μg ^{87}Rb 。加标样品的质谱显示， ^{87}Rb 的峰是 ^{85}Rb 峰的1.12倍（峰强与原子数量成正比）。计算岩石的Rb含量，以ppm表示（1 ppm相当于百万分之一的质量分数）天然Rb的同位素丰度和同位素质量列于表中：

同位素	同位素丰度/%	原子质量/u
^{87}Rb	27.83	86.909
^{85}Rb	72.17	84.912