

53.8

521



# 物 质 结 构

徐 光 宪 编 著

高 等 教 育 出 版 社

本书系根据前高等教育部 1956 年审定的综合大学化学系物质结构教学大纲编写的。适用于综合大学化学系物质结构课程的教学，也可供综合大学放射化学专业、师范学院化学专业、工学院化工专业以及中等学校教师和业余读者的参考。

## 物 质 结 构

---

徐光宪 编 著

高等教育出版社出版 北京宣武门内承恩寺 7 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 054 号)

京华印书局印刷 新华书店发行

---

统一书号 13010·743 开本  $850 \times 1168^{1/32}$  印张  $18^{1/16}$  插页 5  
字数 458,000 印数 0001—5,000 定价 (7) 2.90 (精装本)

1959 年 12 月第 1 版 1959 年 12 月北京第 1 次印刷

(另印 2,000 册)

## 序 言

教育部曾委托吉林大学唐敖庆同志, 厦門大学卢嘉錫同志, 复旦大学吳征鎧同志和北京大学徐光宪同志根据 1956 年审定的綜合大学化学系的物質結構教学大綱編写教材, 并曾在 1957 年暑假完成了初稿的一半。当时合編的初稿內容要比教学大綱規定的分量多得多, 并且包括了結晶化学和量子力学, 实际上是参考书的性質, 字数估計将近百万, 但以后总抽不出一个共同的时间来完成初稿的另一半, 而各方面又等待着早日出版一本簡明教材, 因此以北京大学过去六年来所用的物質結構讲义为基础, 由徐光宪同志負責赵深同志协助, 进行整理修訂, 編成本书以供目前的需要。

本书是在教育部和高教出版社的关怀支持和督促下写成的。唐敖庆同志曾在百忙中抽出时间审閱全稿, 提出了好些宝贵意見, 作者深表感謝。

本书匆促写成, 且限于作者的学識和水平, 书中一定有許多缺点、遺漏、甚至錯誤, 希望讀者随时指正。尤其是一年以来, 經過了偉大的整风和教育革命, 我国的高等教育面貌嶄然一新, 广大群众在党的领导下創造了无数宝贵的教学經驗, 我們相信只有在集体的关怀和帮助下, 才能使本书再版时得到比較滿意的使用效果。意見請寄北京西城区承恩寺 7 号高等教育出版社。

編者

1959 年 6 月 1 日

# 目 录

序言	xii
第一章 緒論	1
§ 1-1 物質和运动的不可分割性原理	1
§ 1-2 物質及其运动的永恆性原理的自然科学基础	4
§ 1-3 物質运动的各种形态和它們的質的特殊性	6
§ 1-4 运动着的物質的两种基本形态和它們間的相互轉化	7
§ 1-5 物質結構科学的发展与辯証唯物主义的世界觀	9
参考书刊	12
习題	12
問題	13
第二章 量子力学基础和氫原子的状态函数	14
§ 2-1 从經典力学到旧量子論	14
1. 經典力学的适用范围	14
2. 經典力学向高速度領域的推广导向相对論力学	15
3. 經典力学向微观領域的推广导向量子論	16
4. 振子能量的不連續性——黑体輻射和普朗克的量子論	17
5. 光能的不連續性——光电效应和光子学說	20
6. 康普頓效应	24
7. 原子能量的不連續性——氫原子光譜和波尔理論	26
8. 原子能量的不連續性的又一証明——弗兰克-赫芝实验	31
9. 波尔理論的进一步发展——索末菲的量子化条件	33
10. 方向量子化与原子磁矩。施登-盖拉赫实验	35
11. 旧量子論的衰落	39
§ 2-2 从旧量子論到量子力学	41
1. 光的波动和微粒的二象性	42
2. 物質的波动和微粒的二象性	48
3. 量子力学的基本方程——薛定諤方程	53
4. 測不准关系式	60
§ 2-3 氫原子或类氫离子的状态函数	62

1. 氫原子或类氫离子的薛定諤方程	62
2. 氫原子或类氫离子的基态	63
3. 表示电子云几率分布的几种方法	65
4. 氫原子或类氫离子的其他 $s$ 态	67
5. 氫原子或类氫离子的薛定諤方程的一般解	68
6. 氫原子或类氫离子的电子云分布	75
参考书刊	77
习题	77
問題	77
<b>第三章 原子的电子层结构和原子光谱</b>	<b>79</b>
§ 3-1 原子的电子能级——屏蔽效应和有效核电荷	79
§ 3-2 核外电子的配布——电子自旋和保里原理	83
§ 3-3 离子的电子层结构	91
§ 3-4 无机化合物的颜色和离子的电子层结构等因素的关系	95
1. 颜色的产生	95
2. 离子的颜色和离子的电子结构间的关系	96
3. 离子的极化和无机化合物的颜色的关系	97
4. 络合物形成对颜色的影响	99
5. 无机化合物的颜色与温度的关系	99
6. 分散度对颜色的影响	99
§ 3-5 离子极化和无机化合物的溶解度	100
§ 3-6 原子的电离能, 电子亲合能和电负性	103
§ 3-7 电离能的近似计算方法——改进的斯来脱(Slater)法	107
§ 3-8 原子的量子数、能级图和原子光谱项	110
1. 单电子原子的量子数	110
2. 单电子原子的能级图。塞曼效应	113
3. 多电子原子的量子数	115
4. 原子光谱项	116
5. 原子能级图和洪特规则	120
§ 3-9 原子光谱及其应用	120
1. 硷金属原子的光谱	120
2. 原子光谱的超精细结构	125
3. 研究原子光谱的仪器——摄谱仪	128
4. 原子光谱的应用——光谱分析	129
参考书刊	130

习题 .....	131
問題 .....	132
<b>第四章 电子衍射法和分子中原子的空間排布</b> .....	<b>133</b>
§ 4-1 X射綫衍射和电子衍射的比較 .....	133
§ 4-2 气体电子衍射法的实验装置 .....	134
§ 4-3 衍射强度公式及其应用 .....	136
1. Wierl 的气体衍射强度公式 .....	136
2. 同核双原子分子的衍射强度公式的証明 .....	137
3. 衍射强度公式的应用 .....	139
§ 4-4 电子衍射法在測定分子构型方面的应用 .....	142
§ 4-5 化学鍵的鍵长和共鍵半徑 .....	144
参考书刊 .....	146
习题 .....	146
問題 .....	147
<b>第五章 分子的电性和磁性</b> .....	<b>148</b>
§ 5-1 分子的电性 .....	148
1. 电介质的介电常数 .....	148
2. 偶极矩和极化率 .....	149
3. 极化率与介电常数間的关系 .....	151
4. 偶极矩測定法的原理 .....	153
5. 偶极矩与分子結構 .....	155
6. 偶极矩的应用 .....	162
7. 克分子析射度与分子結構 .....	166
§ 5-2 分子的磁性 .....	170
1. 磁化率 .....	170
2. 磁化率的測量 .....	171
3. 分子的磁矩 .....	172
4. 分子磁矩与磁化率 .....	173
5. 順磁磁化率与分子結構 .....	176
6. 反磁磁化率与分子結構 .....	178
§ 5-3 核磁共振与順磁共振 .....	181
1. 核磁矩 .....	181
2. 拉比的分子束核磁共振法 .....	183
3. 核磁共振法的原理和实验装置 .....	185

4. 核磁共振在化学中的应用	187
5. 顺磁共振测定顺磁磁化率的原理	190
6. 顺磁共振谱的超精细结构及其应用	193
参考书刊	197
习题和问题	198
<b>第六章 化学键理论(一)双原子分子结构</b>	<b>200</b>
§ 6-1 一般介绍	200
1. 化学键理论的历史发展	200
2. 柏尔齐留斯的二元学说	200
3. 杜馬的取代学说和热拉尔的类型论	201
4. 开库勒和古柏的结构理论	202
5. 布特列洛夫的化学结构理论	204
6. 化学结构理论的唯物主义内容	206
7. 化学结构理论的发展	207
8. 维尔纳的配位理论	210
9. 原子价的电子理论	211
10. 现代的化学键理论	212
11. 化学键的定义和它的各种类型	213
12. 本章和第七章各节内容的简单介绍	216
§ 6-2 离子键的静电吸引理论	217
1. 离子键的形成	217
2. 离子键与共价键的区别	220
§ 6-3 氫分子离子的结构	227
1. 氫分子离子的薛定谔方程式	227
2. 薛定谔方程式的近似解法——变分法	230
3. 变分函数的选择	231
4. 氫分子离子的两种状态	232
5. 氫分子离子的能量曲线	235
6. 氫分子离子的状态函数	237
7. 氫分子离子的高级近似处理法和精确解法	239
8. 积分 $S_{ab}$ 、 $H_{aa}$ 和 $H_{ab}$ 的意义	240
§ 6-4 氫分子的結構	245
1. 氫分子的薛定谔方程式和海特勒-伦敦解法	245
2. 电子的等同性和保里原理	251
3. 王守竞法和其他高级近似解法	254
4. 分子轨道法	256

§ 6-5 共价键理论——电子配对法和分子轨道法	256
1. 电子配对法的要点	257
2. 分子轨道法的基本假设	259
3. 原子轨道的线性组合	263
4. $\sigma$ 轨道与 $\sigma$ 键	267
5. $\pi$ 轨道与 $\pi$ 键	270
6. 分子轨道的能量次序	272
7. 表示分子轨道的两种符号	273
8. 分子轨道与原子轨道的相关图	276
§ 6-6 典型共价双原子分子的结构	281
1. 总论	281
2. 反磁性分子的结构	288
3. 顺磁性分子的结构	290
4. 共价双原子分子结构的总结	295
参考书刊	301
问题	301
第七章 化学键理论(二)多原子分子结构	303
§ 7-1 多原子分子的结构和杂化轨道理论	303
1. $AB_n$ 型分子的结构	303
2. 杂化轨道理论	306
3. $sp$ 杂化轨道及有关分子的结构	310
4. $sp^2$ 杂化轨道及有关分子的结构	316
5. $sp^3$ 杂化轨道及有关分子的结构	318
6. 不等性的 $sp$ 杂化轨道及有关分子的结构	323
7. 具有张力的分子	327
8. $d-s-p$ 杂化轨道	329
9. $f-d-s-p$ 杂化轨道	332
§ 7-2 共轭分子的结构	335
1. 苯分子的结构	335
2. 1,3-丁二烯的结构	341
3. 无机共轭分子的结构	343
4. 大 $\pi$ 键的各种类型	350
5. 共轭效应	352
§ 7-3 络合物的结构	359
1. 一些名词的定义	359
2. 共价配键和电价配键	361



3. 过渡金属元素的络离子的结构	365
4. 金属羰化物	372
5. 金属离子和烯类的络合物	377
6. 金属离子和环戊二烯基的络合物	378
§ 7-4 无机含氧酸的结构和 $d-p$ 配键	380
1. $d-p$ 配键	380
2. 无机含氧酸的结构	382
3. 无机含氧酸强度的规律性	383
§ 7-5 缺电子分子的结构和多中心键	389
1. 缺电子分子的化合物	389
2. 六氟化二硼分子的几何构型	393
3. 六氟化二硼分子中化学键的性质问题	395
4. 双电子三中心键的分子轨道理论	398
5. 硼氢化物的结构	400
6. 硼氢化物的化学式	404
7. 金属的硼氢化合物	408
8. 金属的甲基化合物	409
§ 7-6 “共振中介论”的批判	411
1. 中介论和共振论的来源	411
2. “共振论”的所谓量子力学基础和它的唯心论实质	413
3. 共振论是化学中的一种马赫主义	415
4. 共振论是化学中的一种机械论	416
5. 批判所谓“共振论”	418
6. 结论	419
参考书刊	420
问题	421
习题	423
<b>第八章 分子间和分子内键与键间的作用力</b>	<b>424</b>
§ 8-1 范德华引力的本质	424
1. 静电力(葛生力)	325
2. 诱导力(德拜力)	426
3. 色散力(伦敦力)	427
4. 范德华引力中三种作用能所占的比例	428
§ 8-2 范德华引力与物质的物理化学性质的关系	429
1. 范德华引力与物质的沸点和熔点	429
2. 嫡效应与熔点的关系	431

3. 范德华引力与溶解度	431
§ 8-3 氢键的本质	433
§ 8-4 分子间氢键和分子内氢键	438
1. 分子间氢键	438
2. 分子内氢键(简称内氢键)	442
§ 8-5 氢键的形成对于化合物的物理性质和化学性质的影响	445
1. 对沸点和熔点的影响	445
2. 对溶解度、溶液密度和粘度的影响	447
3. 对酸性的影响	448
4. 对化学反应性能的影响	448
5. 湿熔点法鉴别氢键类型	449
6. 色谱分析法鉴别氢键类型	449
§ 8-6 包合物	451
1. 分子化合物的各种类型	451
2. 管道形包合物	451
3. 籠形包合物	453
参考书刊	455
問題	456
<b>第九章 分子光谱(一)双原子分子光谱</b>	458
§ 9-1 分子光谱的一般介绍	458
§ 9-2 双原子分子的转动光谱	462
1. 一个例子——HCl 的转动光谱	462
2. 刚性转体模型	463
3. 非刚性转体模型	465
4. 研究转动光谱得到的结果	465
§ 9-3 双原子分子的振动-转动光谱	468
I. 振动光谱	468
1. 一个例子——HCl 的振动光谱	468
2. 谐振子模型	468
3. 非谐振子模型	470
4. 由振动光谱得到的结果	472
II. 振动-转动光谱	476
1. 实验结果	476
2. 理论解释	478
3. 从振动-转动光谱得到的结果	481

§ 9-4 双原子分子的电子-振动-转动光谱	481
I. 双原子分子的电子能级和选律	481
1. 分子的电子能级	481
2. 分子中电子能级的跃迁	483
II. 电子-振动光谱	484
1. 实验结果	484
2. 理论解释	487
3. 夫兰克-康登原理	488
III. 电子-振动-转动光谱	491
1. 实验结果	491
2. 理论解释	493
§ 9-5 综合散射光谱	494
I. 异核双原子分子的综合散射光谱	496
1. 实验结果	496
2. 理论解释(1)转动光谱	497
II. 同核双原子分子的综合散射光谱	500
1. 实验结果	500
2. 理论解释	502
参考书刊	506
习题	506
问题	507
<b>第十章 分子光谱(二)多原子分子光谱</b>	<b>508</b>
§ 10-1 一般介绍	508
1. 多原子分子光谱的分类	508
2. 吸收定律	509
§ 10-2 紫外及可见吸收光谱	512
1. 仪器	512
2. 有机化合物的紫外及可见吸收光谱	516
3. 应用	521
§ 10-3 近红外光谱和综合散射光谱	528
1. 仪器	528
2. 多原子分子的振动能级和振动光谱	532
3. 化学键的特征振动频率和键的力常数	535
4. 应用	541
§ 10-4 微波谱	556

---

1. 一般介紹.....	556
2. 多原子分子的轉动能級和轉动光譜.....	556
3. 应用——斯塔克效应和偶极矩的測定.....	561
参考书刊 .....	565
习題 .....	566

# 第一章 緒論

## § 1-1 物質和运动的不可分割性原理

什么叫做物質？馬克思主义哲学唯物主义教导我們：物質是在人的意識之外，并且不依賴于人的意識而存在的客观实在。什么叫做运动？运动是物質存在的形式。物質和运动是彼此不可分的。关于这一点，可以从三方面来了解。

1. “無論在什么地方，在什么时候，决沒有、而且不能沒有运动的物質”<sup>①</sup>。

天文学証明：不仅行星，就是太阳及其他星体（其中亦有所謂“恒星”），亦都以极大的速度在空間运动，所以在这些星体（包括地球在內）的内部和表面上的一切物体都参加在这种运动中。

除了这种宏观的运动以外，物理学和化学还証明：在每一物体中都在进行着內部的、用直接观察看不出来的微粒（分子、原子、电子等）的运动（所謂“微观的”运动）。根据光譜的研究，我們知道即使在絕對零度时的固体中的微粒也是在它們的平衡位置的左右振动不息的。

科学上研究的所謂“靜止的”体系，例如靜电学中研究的靜电荷，靜力学中研究的靜力平衡，是指对参考坐标系來說沒有相对运动的体系而言。一切所謂“靜止”都是相对的，而运动是絕對的。

2. “沒有运动的物質是和沒有物質的运动同样不可思議的”<sup>②</sup>。

物理学的唯心論变种——“唯能論”者声称<sup>③</sup>：光是一种所謂“純粹

① 恩格斯：反杜林論第 60 頁，人民出版社，1956 年。

② 同上，第 61 頁，人民出版社，1956 年。

③ 辯証唯物論与自然科学（二）物理学部分，中国人民大学出版，頁 141。

的运动”或“純粹的能”，而不是一种物質。他們所持的理由是：1) 物質是有質量的；2) 光是沒有質量的，所以光不是物質。

但是，光究竟有沒有質量呢？現代物理学肯定地回答：光是有質量的。著名的俄国物理学家 П. Н. 列別捷夫 (Лебедев) 在 1899 年第一次以實驗証明了光压的存在<sup>①</sup>，并且精确地度量了光压的数值。列別捷夫确定了，如果在光綫射出的道路上拦一块微小的輕金属薄片，那块金属薄片就会朝光綫射出的方向运动。光綫压着薄片，因此薄片运动了。物理学告訴我們：既然光可以有压力，那末光就有动量，因为压力就是在单位面积上在单位時間內的动量改变的統計平均值。既然光有动量，那就是說，光也具有質量，因为动量就是質量和速度的乘积。这样，列別捷夫用他的實驗和理論的研究打击了唯心論，揭露了所謂光的能似乎是一种与物質无关的“純粹的能”的廢話。由此可以作出結論：光是运动着的物質形态之一。

3. 物理学已經发现了質量与能量是不可分离地联系着的定量規律。

从列別捷夫的實驗中可以推出，光流的能量  $E$  等于光流的質量  $m$  乘以光速  $c$  的平方，即

$$E = mc^2 \quad (1-1)$$

式(1-1)中光速  $c = 3 \times 10^{10}$  厘米/秒， $E$  以尔格为单位， $m$  以克为单位。

在列別捷夫所做关于光压的實驗之后六年，爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955) 指出：任何形态的物質的質量与能量之間都存在着如(1-1)式所示的关系，即一定量的任何物質，如果它的質量等于 1 克，那末它的能量就等于  $(3 \times 10^{10})^2 = 9 \times 10^{20}$  尔格。反之，一定量的任何物質，如果它的能量等于 1 尔格，那末它的質量就等于  $\frac{1}{9 \times 10^{20}}$  克。

① 福里斯等著：普通物理学，三卷一分册，頁 82—85，1954 年。

这一质量和能量相互联系的定律，表明了物质的本质属性——质量——与运动的物理尺度——能量——之间的内部联系。这种联系是以科学定律的形式表现了物质的运动不可分割的原理。现代关于原子能的应用完全证实了这一定律。

从爱因斯坦的相对论还可以得到一个与(1-1)式密切相关的结论，即物体的质量和它的运动速度之间有如下的关系：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (1-2)$$

此处  $m$  是物体的质量， $c$  是光速， $v$  是物体对参考坐标系的相对运动速度， $m_0$  是当  $v=0$  时的质量，即所谓“静质量”。

当物体受外力的作用，使它的相对于参考坐标系的运动速度由  $v=0$  增加到  $v=v$  时，它的质量就由  $m_0$  增加到  $m$ ，而能量则由  $E_0$  增加到  $E$ 。由(1-1)式和(1-2)式得，

$$\begin{aligned} E' &= E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 \\ &= m_0c^2 \left[ (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}} - 1 \right] \end{aligned} \quad (1-3)$$

此处增加的能量  $E'$ ，通常我们叫它作物体获得的动能。在通常情形下， $v \ll c$ ，所以(1-3)式中方括号内的部分可用级数法展开如下：

$$\begin{aligned} E' &= m_0c^2 \left[ (1 - v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}} - 1 \right] \\ &\cong m_0c^2 \left[ 1 + \frac{1}{2} v^2/c^2 - 1 \right] = \frac{1}{2} m_0v^2 \end{aligned} \quad (1-4)$$

(1-4)式就是我们熟悉的动能的表示式，于是

$$m' = m - m_0 = E'/c^2 \cong \frac{1}{2} m_0v^2/c^2 \quad (1-5)$$

例如静质量等于 1000 克的炮弹，以每秒 1000 米的速度飞行时，它的质量的增加等于

$$m' \cong \frac{1}{2} m_0v^2/c^2 = \frac{1}{2} \times 1000 \times 10^{10} / 9 \times 10^{20} = 5.5 \times 10^{-9} \text{ 克}$$

从这一数字例子可以看出, 当  $v \ll c$  时, 质量随运动速度的改变是极为微小的。

### § 1-2 物质及其运动的永恒性原理的自然科学基础

辩证唯物主义认为: 物质及其运动是永恒的, 它不会消失, 也不会无中产生, 它不能被创造, 也不能被消灭; 它仅能改变其形态。

辩证唯物主义关于物质及其运动的永恒性原理的自然科学基础, 就是为伟大的俄国科学家罗蒙诺索夫所发现, 并且为近代科学的发展所丰富了的“物质及其运动守恒定律<sup>①</sup>”。这个定律是由“质量守恒”、“能量守恒”和“质量和能量相互联系”三定律综合而成的。

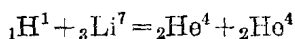
物质及其运动守恒定律可简单表述如下: 在任何隔绝体系内, 无论发生了什么变化, 体系的总质量和总能量一定保持不变。如用数学式来表示, 就是:

$$\sum m = \sum m_0 + \sum \frac{E'}{c^2} = \text{恒量} \quad (1-6)$$

$$\sum E = \sum m_0 c^2 + \sum E' = \text{恒量} \quad (1-7)$$

或 
$$\Delta m = \Delta m_0 + \frac{\Delta E'}{c^2} = 0 \quad (1-8)$$

例如在下列原子核反应中:



如不考虑质量和速度的依赖关系, 而只计算反应前后静质量的总和, 则反应后的静质量较反应前为小。

<sup>①</sup> 这里指的是作为物理定律的“物质及其运动守恒定律”, 它是作为哲学命题的“物质及其运动的永恒性原理”的自然科学基础。后者可以包括前者, 但比前者的含义更为丰富。又在哲学著作中讲到物质及其运动守恒定律时往往是指后一意义。



${}_1\text{H}^1$  的靜質量 = 1.008142 *amu*①

${}_3\text{Li}^7$  的靜質量 = 7.01822 *amu*

反应前靜質量总和 = 8.02636 *amu*

${}_2\text{He}^4$  的靜質量 = 4.003873 *amu*

反应后靜質量的总和 = 8.007746 *amu*

$\Delta m_0 = 8.007746 - 8.02636 = -0.01861$  *amu*

$\Delta m_0$  常常被不恰当地称为“質量亏损”②。这一类现象往往被錯誤地解释为“亏损了的质量变为  $\alpha$  粒子的能量”。但是实际的情形却是这样：在这一反应中所得的  $\alpha$  粒子具有巨大的速度，它的动能可由云室实验直接测定为 8.65 百万电子伏特。具有这一动能的  $\alpha$  粒子的质量等于

$$m = m_0 + \frac{E'}{c^2} = 4.003873 + \frac{8.65}{931.05}$$

$$= 4.01317 \text{ } amu$$

反应后質量的总和 =  $2 \times 4.01317 = 8.02634$  *amu*

这在实验誤差范围内恰恰和反应前的質量总和 8.02636 相等 (反应前的质子和锂原子核的速度很慢, 所以它們的质量就等于靜質量)。

因此在上述反应中, 体系的总質量和总能量并没有丝毫改变。在这一过程中作用物亏损的靜質量在所得  $\alpha$  粒子的增益質量中恢复了起来, 而  $\alpha$  粒子获得的动能则是从作用物固有的靜能量轉变过来的。

在原子核不参加反应的一般物理的和化学的变化过程中, 物质分子或原子的运动速度要比光速小好几个数量级, 因运动而增益的能量  $E'$  可以忽略不計, 于是(1-6)式簡化为靜質量守恒定律:

① *amu* 是原子質量单位(物理标度)的簡写。1 *amu* =  $\frac{1}{N_0}$  克 =  $1.66025 \times 10^{-24}$  克, 式中  $N_0$  是阿佛加得罗常数。与 1 *amu* 相联系的能量  $E$  等于

$$E = mc^2 = 1.66025 \times 10^{-24} \times (2.99776 \times 10^{10})^2 \text{ 尔格} = 931.05 \text{ Mev.}$$

此处 1 Mev = 1 个百万电子伏特 =  $10^6$  电子伏特 =  $1.602 \times 10^{-6}$  尔格

② 如果称为靜質量亏损, 那就比较妥当了。