**质量亏损**

## 一、质量亏损

#### 1．结合能

上述过程是用宏观物体做的例子。原子核是核子凭借核力结合在一起构成的，要把它们分开，也需要能量，这就是原子的结合能。

显然，组成原子核的核子越多，它的结合能越高。因此，有意义的是它的结合能与核子数之比，称为比结合能，也叫平均结合能。比结合能越大，原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定。

中等质量的核比结合能较大，原子核较稳定，因此，重核的裂变、轻核的聚变都是放能反应。

##### 典例精讲

**【例1.1】**（沙雅县校级期中）2个质子和2个中子结合成氦核。设质子、中子、氦核的质量分别为m1、m2和m3，则三者之间的质量关系正确的是（　　）

A．m3＞2（m1+m2） B．m3＝2（m1+m2）

C．m3＜2（m1+m2） D．以上三种情况都有可能

【分析】根据爱因斯坦质能方程，结合质量亏损，求出释放的核能，从而即可求解。

【解答】解：当两个质子和两个中子结合成一个氦核时，质量亏损△m＝（2m1+2m2﹣m3），则释放的能量△E＝△mc2＝（2m1+2m2﹣m3）c2．故C正确，A、B、D错误。

故选：C。

**【例1.2】**（湖北期中）下列说法正确的是（　　）

A．卢瑟福α粒子散射实验证明了汤姆孙的“西瓜模型”的正确性

B．贝克勒尔发现天然放射性现象，该现象说明原子具有复杂结构

C．比结合能越大，原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定

D．康普顿效应说明光具有波动性

【分析】依据比结合能越大，原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定；并由原子物理部分的物理学史，根据科学家的贡献进行一一解答。

【解答】解：A、卢瑟福根据α粒子散射实验的结果提出了原子核式结构学说，而不是为了证实汤姆孙的“西瓜模型”的正确性，故A错误。

B、贝克勒尔发现天然放射现象，说明原子核具有复杂的结构，故B错误。

C、比结合能越大表示原子核中核子结合得越牢靠，原子核越稳定；比结合能是结合能与其核子数之比，故C正确。

D、康普顿效应说明光具有粒子性，故D错误；

故选：C。

**【例1.3】**（南通期末）下列说法中正确的有（　　）

A．放射性元素的半衰期与原子所处的化学状态和外部条件有关

B．HeAl→Pn是原子核的人工转变反应方程

C．因为裂变释放能量，出现质量亏损，所以裂变后的总质量数减少

D．比结合能越大，原子中核子结合得越牢固，原子核越稳定

【分析】放射性元素的半衰期是由核内自身的因素决定的；卢瑟福用α粒子轰击氮核发现质子，并首次实现原子核的人工转变；根据质量亏损，结合爱因斯坦质能方程求出释放的能量；原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定。

【解答】解：A、放射性元素的半衰期是由核内自身的因素决定的，与原子所处的化学状态无关，故A错误；

B、HeAl→Pn是原子核人工转变方程，故B正确；

C、该核反应过程中，发生质量亏损，释放能量，但是反应前后总质量数保持不变，故C错误；

D、比结合能越大，将核子分解需要的能量越大，原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定，故D正确；

故选：BD。

**【例1.4】**（静宁县校级期末）关于原子核的结合能，下列说法正确的是（　　）

A．原子核的结合能等于使其完全分解成自由核子所需的最小能量

B．一重原子核衰变成α粒子和另一原子核，衰变产物的结合能之和一定大于原来重核的结合能

C．铯原子核（Cs）的结合能小于铅原子核（Pb）的结合能

D．自由核子组成原子核时，其质量亏损所对应的能量大于该原子核的结合能

【分析】原子核越多，结合能越大，原子核的结合能是核子结合在一起构成的，要把它们分开，需要能量．但是有意义的是比结合能，比结合能越大，原子核结合得越牢固．

【解答】解：A、原子核的结合能等于使其完全分解成自由核子所需的最小能量，故A正确。

B、一重原子核衰变成α粒子和另一原子核，衰变产物的比结合能增加，又衰变过程中质量数守恒，故衰变产物的结合能之和一定大于原来重核的结合能，故B正确。

C、组成原子核的核子越多，原子核的结合能越高，故C正确。

D、自由核子组成原子核时，其质量亏损所对应的能量等于该原子核的结合能，故D错误。

故选：ABC。

#### 2．质量亏损

原子核的结合能很难直接测量，爱因斯坦已经给我们指出了物体的能量和它的质量之间的关系，即。

实验表明，原子核的质量小于组成它的核子的质量之和，这个现象叫做质量亏损。我们可以通过来计算质量亏损过程中释放出的能量。

##### 典例精讲

**【例2.1】**（祁县校级期末）“中国月球着陆探测器”在中国航天馆揭开神秘面纱．它将带着中国制造的月球车，在38万千米之外的月球表面闲庭信步．月球的表面长期受到宇宙射线的照射，使得“月壤”中的含量十分丰富，科学家认为是发生核聚变的极好原料，将来也许是人类重要的能源，所以探测月球意义十分重大．关于，下列说法正确的是（　　）

A．的原子核内有三个中子两个质子

B．的原子核内有一个中子两个质子

C．发生聚变，放出能量，一定会发生质量亏损

D．原子核内的核子靠万有引力紧密结合在一起

【分析】元素X中A表示质子数，B表示质量数；

核反应过程一定会发生质量亏损放出能量．

【解答】解：A、的原子核内有2个质子、（3﹣2）＝1个中子，故A错误，B正确；

C、无论是聚变还是裂变，核反应过程一定会发生质量亏损放出能量，C正确；

D、原子核内的核子靠核力结合在一起，核力与万有引力性质不同。核力只存在于相邻的核子之间，故D错误。

故选：BC。

随堂练习

**一、单项选择题（共12小题）**

1. 关于核力与结合能，下列说法正确的是

A. 比结合能越大表示原子核中核子结合得越松散，原子核越不稳定

B. 核力与万有引力性质相同

C. 核力只存在于相邻的核子之间

D. 核子数越多，原子核越稳定

2. 静止的氡核 放出 粒子后变成钋核 ， 粒子动能为 。若衰变放出的能量全部变为反冲核和 粒子的动能，真空中的光速为 ，则该反应中的质量亏损为

A. B. C. D.

3. 下列说法中正确的是

A. 卢瑟福 粒子散射实验的结果证明了原子核是由质子和中子组成的

B. 射线比 射线的电离本领强

C. 四个核子聚变为一个氦核的过程释放的核能等于四个核子的质量之和与光速平方 的乘积

D. 质量为 的铀 经过 个半衰期的时间，铀 衰变了的质量为

4. 下列说法中正确的是

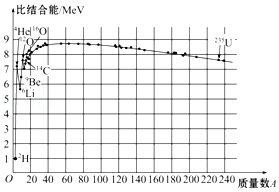
A. 一定强度的入射光照射某金属发生光电效应时，入射光的频率越高，单位时间内逸出的光电子数就越多

B. 各种气体原子的能级不同，跃迁时发射光子的能量（频率）不同，因此利用不同的气体可以制成五颜六色的霓虹灯

C. 德布罗意在爱因斯坦光子说的基础上提出物质波的概念，认为只有高速运动的粒子才具有波粒二象性

D. 核力将核子束缚在核内，说明核力一定是吸引力

5. 如图所示，表示原子核的比结合能与质量数 的关系，据此下列说法中正确的是



A. 重的原子核，例如，铀核（\（\ce{\_\_{92}^{235}U}\）），因为它的核子多，核力大，所以结合得坚固而稳定

B. 锂核（）的核子的比结合能比铀核的比结合能小，因而比铀核结合得更坚固更稳定

C. 原子核结合的松紧程度可以用“比结合能”来表征，比结合能的定义是每个核子的平均结合能；比结合能越大的原子核越稳定

D. 以上三个表述都错误

6. 质子、中子和氦原子核的质量分别为 、 和 ，当 个质子和 个中子结合为一个氦原子核时，释放的能量是。（ 表示真空中的光速）

A. B.

C. D.

7. 下列说法正确的是

A. 某元素的半衰期是 天， 该元素经过 天后还有 未衰变

B. 氢原子核外电子从半径较小的轨道跃迁到半径较大轨道时，原子的总能量增大，电子的动能增大

C. 紫外线照射到金属锌板表面时能发生光电效应，若增加紫外线的照射强度，则从锌板表面逸出的光电子的最大初动能也随之增大

D. 质子、中子、 粒子的质量分别是 、 、 ， 个质子和 个中子结合成一个 粒子，释放的能量是

8. 一静止的氡核（）放出一个 粒子衰变成钋核（），衰变方程为 。下列说法正确的是

A. 衰变后钋核的速度大小等于 粒子的速度大小

B. 衰变后钋核的动能小于 粒子的动能

C. 衰变后钋核的动能小于 粒子的动能

D. 衰变后 粒子与钋核的质量之和等于衰变前氡核的质量

9. 下列说法正确的是

A. 铀核裂变时释放的能量等于它俘获中子时得到的能量

B. 发生光电效应时，入射光越强，则光子的能量就越大，光电子的最大初动能就越大

C. 用 粒子轰击氮、氟、钠、铝等元素的原子核，都可以打出质子，因此人们断定质子是原子核的组成部分

D. 用能量为 的光子照射处于基态的氢原子，可使其跃迁到激发态

10. 静止的镭核 发生 衰变，释放出的 粒子的动能为 ，设衰变过程中释放的能量全部以动能的形式释放，则衰变过程中的质量亏损为

A. B. C. D.

11. 下列说法正确的是

A. 同一元素的两种同位素具有相同的质量数

B. 的半衰期会随着周围环境的温度的变化而改变

C. 在核聚变反应中，反应物的总质量等于生成物的总质量

D. 在卢瑟福的 粒子散射实验中，有少数 粒子发生大角度偏转

12. 一对正负电子相遇后转化为光子的过程被称为湮灭。速度足够大且等值反向的一对正负电子发生湮灭时产生两个光子，每个光子的能量均为 。已知电子的质量为 ，光速为 ，普朗克常量为 。则

A. 两个光子可能同向运动 B. 两个光子的波长均为

C. 两个光子的动量均为 D. 每个光子的能量

**二、填空题（共3小题）**

13. 氘核和氚核聚变时的核反应方程为 ，已知 的平均结合能是 ， 的平均结合能是 ， 的平均结合能是 ，则核反应时释放的能量为   。

14. 关于原子核的结合能，下列说法正确的是

A.原子核的结合能等于使其完全分解成自由核子所需的最小能量

B.一重原子核衰变成 粒子和另一原子核，衰变产物的结合能之和一定大于原来重核的结合能

C.铯原子核 的结合能小于铅原子核 的结合能

D.比结合能越大，原子核越不稳定

E.自由核子组成原子核时，其质量亏损所对应的能量大于该原子核的结合能

15. 氘核和氚核聚变时的核反应方程为 ，已知 的平均结合能是 ， 的平均结合能是 ， 的平均结合能是 ，则该核反应释放的能量为   。

**三、解答题（共4小题）**

16. 个质子和 个中子结合成氦 （）反应方程式为：。已知每个质子质量为 ，中子质量为 ，氦核的质量为 ，求 的结合能。（已知 ）

17. 取质子的质量 ，中子的质量 ， 粒子的质量 ，光速 。请计算 粒子的结合能。（计算结果保留两位有效数字）

18. 原来静止的质量为 的原子核，放出 粒子后转变为质量为 的原子核，该新核在其运动方向上又放出 粒子而衰变成静止的质量为 的原子核，试求两个 粒子的动能。已知 粒子的质量为 。

19. 一个原来静止的锤核（）俘获一个速度为 的中子后，生成一个氖核和一个氦核，已知氖核的速度大小为 ，方向与中子的运动方向相反。

（1）试写出核反应方程；

（2）求出氦核的速度；

（3）若让一个氖和一个氖核发生聚变，可产生一个氦核同时放出一个中子，求这个核反应释放出的能量（已知氖核质量 ，氖核质量为 ，氦核的质量 ，中子质量 ，。

## 答案

**第一部分**

1. C

【解析】比结合能越大，将核子分解需要的能量越大，原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定，选项A错误；

核力与万有引力性质不同，核力只存在于相邻粒子之间，而万有引力存在于宇宙万物之间，选项B错误、C正确；

核子数越多，原子核不一定越稳定，应是比结合能越大，原子核越稳定，选项D错误。

2. C

【解析】由于动量守恒，反冲核和 粒子的动量大小相等，由 ，它们的动能之比为 ；因此衰变释放的总能量是 ，由质能方程得质量亏损是 ，故C正确。

3. B

【解析】卢瑟福根据 粒子散射实验的结果提出了原子核的核式结构模型，故A错误。根据 、 射线的特点可知， 射线比 射线的贯穿本领强， 射线比 射线的电离本领强，故B正确。根据爱因斯坦的质能方程可知，四个核子聚变为一个氦核的过程释放的核能等于亏损的质量与 的乘积，不等于四个核子的质量之和与 的乘积，故C错误；质量为 的铀 经过 个半衰期剩余的质量为 ，有 的铀发生了衰变，故D错误。

4. B

【解析】发生光电效应时，入射光的频率影响的是光电子的最大初动能，光强度影响单位时间内发出光电子的数目，故 A 错误；根据玻尔理论，各种气体原子的能级不同，跃迁时发射光子的能量（频率）不同，因此利用不同的气体可以制成五颜六色的霓虹灯，故 B 正确；德布罗意在爱国斯坦光子说的基础上提出物质波的概念，认为所有运动的粒子都具有波粒二象性，故 C 错误；核力是短程力，作用范围在 之内，原子核的半径数量级在 之内，所以核力只存在于相邻的核子之间。核力将核子束缚在核内，但不能说明核力一定是吸引力，故 D 错误。

5. C

【解析】原子核的结合能等于使其完全分解成自由核子所需的最小能量，而组成原子核的核子越多，它的结合能并不是越高，只有当比结合能越大，原子核中的核子结合的越牢固，原子核越稳定，故C正确，ABD错误。

6. C

7. D

【解析】 天等于 个半衰期，根据 知，还有 未衰变，故A错误；

氢原子由较低能级跃迁到较高能级时，要吸收一定频率的光子，原子能量增大，根据 知，电子的动能减小，则氢原子的电势能增大，故B错误；

根据光电效应方程 可知，光电子的最大初动能，与入射光的频率有关，与光的强度无关，故C错误；

质子和中子结合成新原子核一定有质量亏损，释放出能量，依据质能方程可知， 个质子和 个中子结合成一个 粒子，释放的能量是 ，故D正确。

8. B

【解析】一静止的氡核放出一个 粒子衰变成钋核，根据系统动量守恒知，衰变后钋核和 粒子动量之和为零，可知衰变后钋核的动量大小等于 粒子的动量大小，根据： 知，由于钋核大于 粒子质量，则钋核的速度大小大于 粒子的速度大小，且钋核的动能小于 粒子的动能，故A错误，B正确。

半衰期是原子核有半数发生衰变的时间，不是放出一个 粒子所经历的时间，故C错误。

衰变的过程中有质量亏损，即衰变后 粒子与钋核的质量之和小于衰变前氡核的质量，故D错误。

9. C

【解析】根据爱因斯坦质能方程可知，裂变时释放能量是因为发生了质量亏损，，故A错误；

发生光电效应时，入射光的频率越高，光子的能量越大，由： 得，逸出的光电子的最大初动能就越大，而与入射光的强度无关，故B错误；

通过人工核反应，人们用 粒子轰击氮、氟、钠、铝等元素的原子核，都可以打出质子，因此人们断定质子是原子核的组成部分，故C正确；

的能量不等于基态与其它能级间的能级差，所以不能吸收而发生跃迁，故D错误。

10. B

11. D

12. B

【解析】速度足够大且等值反向的一对正负电子发生湮灭时产生两个光子，由于光子既有能量，又有动量，根据动量守恒定律可知，产生的两个光子的总动量与初动量是相等的，即它们的和为零，所以两个光子相向而行，故A错误；

每个光子的能量均为 ，即有 ，那么两个光子的波长均为 ，故B正确；

依据德布罗波长，则有：，故C错误；

因负电子和正电子对撞发生湮灭而转化为一对光子，而光子无质量，故质量亏损 ，，故D错误。

**第二部分**

13.

【解析】聚变反应前氘核和氚核的总结合能

反应后生成的氦核的结合能

由于单个核子无结合能，所以聚变过程释放出的能量为

。

14. ABC

【解析】结合能是把核子分开所需的最小能量，选项A正确；

一重原子核衰变成 粒子和另一原子核，存在质量亏损，核子比结合能增大，衰变产物的结合能之和一定大于原来重核的结合能，选项B正确；

核子数越多，结合能越大，选项C正确；

比结合能也叫平均结合能，比结合能越大，分开核子所需的能量越大，原子核越稳定，选项D错误；

自由核子组成原子核时，其质量亏损所对应的能量等于该原子核的结合能，选项E错误。

15.

【解析】聚变反应前氘核和氚核的总结合能

。

反应后生成的氦核的结合能

。

由于单个核子无结合能，所以聚变过程释放出的能量为

。

**第三部分**

16.

【解析】求出反应过程中的质量亏损，再由爱因斯坦的质能方程即可求解。粒子结合前后的质量亏损

由质能方程 。

17.

【解析】根据爱因斯坦质能方程 ，可求：。

18. 两个 粒子的动能都为

【解析】利用质能方程解决时应注意：反应前后总质量要弄清楚，不要把原子的质量与原子核的质量混淆，要耐心细致的进行计算，防止丢三落四造成错误；若求核能转化为核反应生成物的动能，需结合动量守恒定律求解。

根据在衰变过程中的粒子动量守恒，可求出粒子间的速度关系，可根据质能方程求出产生的核能，在根据两粒子速度关系求出两粒子的动能关系，动能即等于核能，可求出 粒子的动能。

第一次放出 粒子后，根据动量守恒定律有 ，新核在运动方向上又放出 粒子，则有 可见两次放出 粒子动量大小相等，所以两个 粒子的动能相等。

设第一次放出 粒子后，新核和 粒子的动能分别为 和 ，其总和等于原子核衰变时的质量亏损相对应的能量，即

而 ；

带入上式得：

故

19. （1）

      （2）

【解析】由动量守恒

。

      （3）

【解析】质量亏损为

根据爱因斯坦质能方程

。