

[26~30] 다음 글을 이퀄(=)을 통해서 연결하십시오. ●=●=●

원자핵은 양성자나 중성자와 같은 핵자들의 결합으로 이루어져 있다. 원자핵을 구성하는 양성자와 중성자의 개수를 모두 더한 것을 질량수라고 하는데, 질량수가 큰 하나의 원자핵이 질량수가 작은 두 개의 원자핵으로 쪼개지는 것을 핵분열이라고 하고 질량수가 작은 두 개의 원자핵이 결합하여 질량수가 큰 하나의 원자핵이 되는 것을 핵융합이라고 한다.

핵분열이나 핵융합은 핵자당 결합 에너지로 설명할 수 있다. 원자핵의 질량은 그 원자핵을 구성하는 개별 핵자들의 질량을 모두 더한 것보다 작다. 이처럼 핵자들이 결합하여 원자핵이 되면서 질량이 줄어든 것을 질량 결손이라고 한다. ‘질량-에너지 등가 원리’에 따르면 질량과 에너지는 상호 간의 전환이 가능하고, 이때 에너지는 질량에 광속의 제곱을 곱한 값과 같다. 한편 핵자들의 결합에서 줄어든 질량은 에너지로 전환되는데, 이 에너지는 원자핵의 결합 에너지와 그 크기가 같다. 원자핵의 결합 에너지란 원자핵을 개별 핵자들로 분리할 때 가해야 하는 에너지이다. 원자핵의 결합 에너지를 질량수로 나눈 것을 핵자당 결합 에너지라고 하고 그 값은 원자핵의 종류에 따라 다르다.

원자핵을 구성하는 핵자들은 핵자당 결합 에너지가 클수록 더 강력하게 결합되어 있고 이는 원자핵이 더 안정된 상태라는 것을 의미한다. 모든 원자핵은 안정된 상태가 되려는 성질이 있으므로, 핵자당 결합 에너지가 작은 원자핵들은 핵분열이나 핵융합을 거쳐 핵자당 결합 에너지가 큰 상태가 된다. 핵분열이나 핵융합도 반응 전후로 질량 결손이 일어나고, 줄어든 질량은 에너지로 전환된다.

핵분열과 핵융합에서 발생하는 에너지를 발전에 이용할 수 있다. ㉠ 우라늄-235(²³⁵U) 원자핵을 사용하는 핵분열 발전의 경우, 우라늄 원자핵에 중성자를 흡수시키면 질량수가 작고 핵자당 결합 에너지가 큰 원자핵들로 분열된다. 이때 2~3개의 중성자가 방출되는데 이 중성자는 다른 우라늄 원자핵에 흡수되어 연쇄 반응을 일으킨다. 이 과정에서 질량 결손으로 인해 전환되는 에너지를 발전에 이용하는 것이다.

핵분열 발전에서는 중성자의 속도를 느리게 해야 한다. 중성자가 너무 빠르게 움직이면 원자핵에 흡수될 확률이 낮기 때문이다. 특히 핵분열 과정에서 방출된 중성자는 속도가 매우 빠르기 때문에 이를 느리게 해야 연쇄 반응을 일으킬 수 있다. 그래서 물이나 흑연을 감속재로 사용하여 중성자의 속도를 느리게 만든다. 한편 연쇄 반응이 급격하게 일어나면 과도한 에너지가 발생하여 폭발이 일어날 수 있기 때문에 제어봉을 사용한다. 제어봉은 중성자를 흡수하는 장치로, 핵분열에 관여하는 중성자 수를 조절하여 급격한 연쇄 반응을 방지한다.

핵융합 발전을 위한 시도도 계속되고 있다. 태양이 에너지를 생성하는 방법이 바로 핵융합이다. ㉡ 수소(¹H) 원자핵을 원료로 하는 태양의 핵융합은 주로 태양의 중심부에서 일어난다. 먼저 수소 원자핵 2개가 융합하여 중수소(²H) 원자핵이 되고, 중수소 원자핵은 수소 원자핵과 융합하여 헬륨-3(³He) 원자핵이 된다. 그리고 2개의 헬륨-3 원자핵이 융합하여 헬륨-4(⁴He) 원자핵이 된다. 이러한 과정에서 줄어든 질량이 에너지로 전환되는 것이다.

지구는 태양과 물리적 조건이 달라서 태양의 핵융합을 똑같이 재현할 수 없다. 가장 많이 시도하는 방식은 ㉢ D-T 핵융합이다. 이 방식에서는 중수소 원자핵과 삼중 수소(³H) 원자핵이 융합하여 헬륨-4 원자핵이 된다. 중수소 원자핵과 삼

중 수소 원자핵을 핵융합 발전의 원료로 사용하는 이유는 다른 원자핵들의 핵융합보다 반응 확률이 높고 질량 결손으로 전환되는 에너지도 크기 때문이다.

하지만 지구에서 핵융합을 일으키는 것은 간단하지 않다. 양(+)의 전하를 띤 원자핵은 음(-)의 전하를 띤 전자와 전기적 인력에 의해 단단히 결합되어 있어서 일반적인 상태에서 원자핵이 융합하는 것은 불가능하다. 따라서 핵융합 반응을 일으키기 위해서는 물질을 원자핵과 전자가 분리된 상태인 플라스마 상태로 만들어야 한다. 또한 원자핵은 양의 전하를 띠고 있어서 서로 가까이 다가갈수록 척력이 강하게 작용한다. 척력을 이겨내고 원자핵이 융합하게 하기 위해서는 플라스마의 온도를 높여 원자핵이 고속으로 움직일 수 있도록 해야 한다. 따라서 핵융합 발전을 위한 핵융합로에서는 ㉣ 플라스마를 1억 ℃ 이상으로 가열해서 핵융합의 확률을 높인다. 융합로에서 플라스마의 온도를 높인 이후에는 고온 상태를 일정 시간 이상 유지하는 것도 중요하다. 플라스마는 융합로의 벽에 접촉하면 온도가 내려가기 때문에 자기장을 활용해서 플라스마가 벽에 닿지 않게 하여 고온 상태를 유지할 수 있도록 한다. 안정적인 핵융합 발전을 위해서는 고온의 플라스마를 높은 밀도로 최소 300초 이상 유지해야 한다.

26. 윗글의 내용과 일치하는 것은?

- ㉠ 양성자의 질량과 중성자의 질량을 더한 것을 질량수라고 한다.
- ㉡ 원자핵과 전자 사이에는 척력이 작용하여 서로 단단하게 결합되어 있다.
- ㉢ 원자핵의 결합 에너지는 핵자당 결합 에너지를 질량수로 나눈 것이다.
- ㉣ 질량-에너지 등가 원리에 따르면 질량은 에너지에 광속의 제곱을 곱한 값과 같다.
- ㉤ 핵자들이 결합하여 원자핵이 될 때 줄어든 질량이 전환된 에너지의 크기는 그 원자핵을 다시 개별 핵자들로 분리할 때 필요한 에너지의 크기와 같다.

27. ㉠에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ㉠ 우라늄-235 원자핵에 전자를 흡수시켜 핵분열을 일으킨다.
- ㉡ 물이나 흑연을 감속재로 사용하여 중성자의 속도를 조절한다.
- ㉢ 제어봉으로 중성자를 흡수하여 과도한 에너지가 발생하지 않도록 한다.
- ㉣ 우라늄-235 원자핵이 분열되면 우라늄-235 원자핵보다 질량수가 작은 원자핵들로 나뉜다.
- ㉤ 우라늄-235 원자핵이 분열되면서 방출되는 중성자의 속도를 느리게 해서 연쇄 반응을 일으킨다.

28. 윗글을 읽은 학생이 <보기>의 설명을 이해한 내용으로 가장 적절한 것은? [3점]

— < 보 기 > —

선생님: 이 그림은 여러 원자핵의 핵자당 결합 에너지를 나타내고 있어요. 철($^{56}_{26}\text{Fe}$) 원자핵은 다른 원자핵들에 비해 핵자당 결합 에너지가 크죠? 철 원자핵은 모든 원자핵 중에서 핵자당 결합 에너지가 가장 크고 가장 안정된 상태예요. 철 원자핵보다 질량수가 작은 원자핵은 핵융합을, 질량수가 큰 원자핵은 핵분열을 통해 핵자당 결합 에너지가 높은 원자핵이 됩니다.

※ 원자핵의 질량수(A)와 양성자 수(Z)는 원소 기호(X)에 다음과 같이 표기한다.

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$$

- ① 헬륨 - 4 원자핵은 핵융합을 거치면 더 안정된 상태의 원자핵으로 변화했군.
- ② 중수소 원자핵은 삼중 수소 원자핵과 양성자의 수는 같지만 더 안정된 상태이겠군.
- ③ 철 원자핵의 결합 에너지는 철 원자핵의 핵자당 결합 에너지에 26을 곱한 값과 같겠군.
- ④ 우라늄 - 235 원자핵이 핵분열하여 생성된 원자핵들은 핵자당 결합 에너지가 9MeV 이상이겠군.
- ⑤ 우라늄 - 235 원자핵은 철 원자핵에 비해 원자핵을 구성하고 있는 핵자들이 더 강력하게 결합되어 있겠군.

29. ㉠과 ㉡에 대한 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠의 과정에서 헬륨 - 4 원자핵의 개수는 늘어난다.
- ② ㉡는 중수소 원자핵과 삼중 수소 원자핵을 원료로 사용한다.
- ③ 헬륨 - 4 원자핵은 ㉡에서와 달리 ㉠에서는 헬륨 - 3 원자핵이 융합하여 생성된다.
- ④ ㉠과 ㉡에서는 모두 반응 전후로 질량 결손이 일어나고 줄어드는 질량은 에너지로 전환된다.
- ⑤ ㉡를 일으키기 위해서는 ㉠이 일어나기 위한 물리적 조건과 동일한 조건을 만들어 주어야 한다.

30. ㉢의 이유로 가장 적절한 것은?

- ① 원자핵이 융합로의 벽에 접촉하지 않게 하기 위해
- ② 자기장을 발생시켜 플라즈마의 온도를 유지하기 위해
- ③ 원자핵이 척력을 이겨내고 서로 융합할 수 있도록 하기 위해
- ④ 전자를 고속으로 움직이게 하여 핵융합의 효율을 높이기 위해
- ⑤ 원자핵들 사이에 전기적 인력을 발생시켜 핵융합의 확률을 높이기 위해

순위	문항 번호	오답률	배점	정답	선택지별 비율				
					①	②	③	④	⑤
1	24	78.7	3	5	6.9	29.1	15.3	12.9	21.3
2	22	75.9	2	3	5.6	16.9	24.1	10.6	28.8
3	25	72.1	2	4	5.8	7.4	20.3	27.9	24.0
4	23	71.3	2	5	8.8	15.0	17.0	16.2	28.7
5	42	67.9	2	1	32.1	26.5	10.5	9.0	5.9
6	38	67.7	2	1	32.3	13.5	4.7	5.6	28.4
7	28	66.0	3	1	34.0	12.0	14.4	12.9	10.6
8	29	58.3	2	5	14.6	5.2	11.6	11.0	41.7
9	18	58.3	3	3	6.0	13.6	41.7	19.7	7.0
10	21	56.8	2	1	43.2	8.9	18.1	9.2	7.1
11	41	56.4	2	2	8.7	43.6	14.8	9.2	7.8
12	12	56.4	3	1	43.6	12.9	5.3	20.5	7.4
13	26	56.0	2	5	7.8	10.7	9.4	13.2	44.0
14	39	53.3	2	4	6.0	6.0	15.6	46.7	10.2
15	37	52.9	3	4	4.0	16.8	5.8	47.1	10.9

1	5	2	2	5	4	4	5	5	3
6	4	7	5	8	1	9	5	10	2
11	4	12	1	13	4	14	3	15	2
16	3	17	5	18	3	19	2	20	3
21	1	22	3	23	5	24	5	25	4
26	5	27	1	28	1	29	5	30	3
31	2	32	4	33	1	34	5	35	3
36	2	37	4	38	1	39	4	40	4
41	2	42	1	43	3	44	4	45	2

정답