

머 리 말

이 책은 국가기술 면허 및 자격시험(방사성동위원소 취급자 일반면허, 방사성동위원소 취급자 특수면허, 방사선취급 감독자 면허 등)을 위한 종합 문제집입니다. 최근 방사선안전관리 교육의 국가종합 연수기관인 한국원자력연구원 원자력교육센터의 연수교재가 개정되었으며, 시험의 출제경향 또한 변화하고 있습니다. 따라서 저희 NUCLEARACADEMY에서는 최근의 동향을 반영하고자 그 동안의 사이트 운영과 강의 경험에 기초하여 기존의 RISRI **종합문제집**을 개정, 보완하게 되었습니다. 이 책은 **3과목 총 22장**으로 구성되어 있습니다.

이 책의 특징은 다음과 같습니다.

첫째, RISRI SUMMARY BOOK과 병행하여 학습할 수 있도록 동일한 목차로 객관식문제(RI), 주관식문제(SRI), 계산문제의 순으로 분류하였으며, 국가기술 면허 및 자격시험과 관련된 각종 서적과 참고자료를 정리하여 새로운 경향의 문제를 보완하였습니다.

둘째, 계산문제는 방사성동위원소 취급자 일반면허와 방사선취급 감독자 면허의 출제난이도를 쉽게 판별할 수 있도록 방사선취급 감독자 면허에 출제되는 문제는 SRI 라고 표기하였으며, RISRI 문제를 풀 때 기본이 되는 예제에는 RISRI 기본예제라고 표시하였습니다.

이 책이 국가기술 면허 및 자격시험에 응시하고 자 하는 분들의 실력향상에 조금이나마 도움이 되기를 바라며, 나아가서는 면허나 자격증을 취득하여 우리나라의 방사선안전관리에 일익을 담당하기를 기원합니다. 이 책의 다소 부족한 부분에 대해서는 독자 여러분들께서 조언을 들어 개정, 보완할 것을 약속드립니다. 마지막으로 저희 NUCLEARACADEMY를 사랑해 주시는 많은 분들과 이 책의 출판을 위하여 교정과 편집을 맡아 주신 여러분들께 감사드립니다.

2010 년 3월 엮 은 이

참 고 문 헌

- 방사선물리학의 세계 : 옥치일, 전파과학사, 2000
방사선기초 : 한국수력원자력(주) 원자력교육원, 2005
방사선피폭평가 : 한국수력원자력(주) 원자력교육원, 2005
보건물리이론 I : 한국수력원자력(주) 원자력교육원, 2005
보건물리이론 II : 한국수력원자력(주) 원자력교육원, 2005
방사능분석기술 : 한국수력원자력(주) 원자력교육원, 2005
방사성물질관리 : 한국수력원자력(주) 원자력교육원, 2005
원자력이론 : 한국원자력연구원, 2005
방사선취급기술 : 한국원자력연구원, 2005
방사선장해방어 : 한국원자력연구원, 2005
방사선물리의 이론과 연습 : 서두환, 현진사, 1996
의료 방사선생물학 : 이상석 외, 정문각, 1999
방사선계측학 : 고성진 외, 청구문화사, 1999
RI 및 SRI 특강교재 : 장재권, 한국동위원소협회, 2003
RI 통신교육 교재 : 한국원자력안전아카데미, 2005
방사선취급 종합문제집 : 한국동위원소협회, 1989
방사선취급감독자 및 일반면허 : 김을기, 도서출판신성, 1998
HEALTH PHYSICS : Heman Cember, Pergamon Press, 1995
RI 통신교육 교재 : 한국원자력안전아카데미, 2005
ICRP 60 요점 : 과학기술부(현. 교육과학기술부), 1995
동위원소회보 : 한국동위원소협회
방사능 측정 및 분석법 : 경북대학교 방사선과학연구소, 2009
2007 국제방사선방호위원회 권고, 대한방사선방어학회, 2009

엮은이 : 박철서

- 목 차 -

원자력이론	5
제1장 원자와 에너지	5
제2장 방사능과 방사성붕괴	33
제3장 방사선과 물질과의 상호작용	60
제4장 방사선 차폐	133
제5장 방사성핵종과 방사평형	150
제6장 방사선생물학	175
제7장 방사화학과 방사선화학	215
방사선취급기술	246
제8장 측정기술의 개요	246
제9장 기체전리를 이용한 검출기	268
제10장 고체전리를 이용한 검출기	307
제11장 섬광작용을 이용한 검출기	318
제12장 선량 측정	340
제13장 방사능 측정	354
제14장 에너지 측정	364
제15장 중성자의 측정	391
방사선장해방어	395
제16장 방사선과 관련된 단위	395
제17장 방사선방호체계	436
제18장 방사선방호의 원칙	488
제19장 방사선 모니터링	507
제20장 방사성동위원소 등의 취급	545
제21장 방사선사고와 대책	557
제22장 방사성폐기물 관리	566

각 장별 문항수

장 \ 문항수	객관식문제	주관식문제	계산문제
제 1장	42	15	15
제 2장	34	11	28
제 3장	166	34	32
제 4장	17	7	15
제 5장	50	9	12
제 6장	103	22	1
제 7장	37	24	17
제 8장	33	18	15
제 9장	70	25	15
제10장	28	7	0
제11장	37	22	1
제12장	14	7	18
제13장	8	9	7
제14장	42	19	14
제15장	9	3	0
제16장	84	14	26
제17장	80	36	20
제18장	33	7	18
제19장	86	30	5
제20장	15	17	0
제21장	14	9	0
제22장	13	6	0
계	1,015	351	259

원자력이론

제1장 원자와 에너지

객관식문제(RI)

[문제001] 다음 중 옳바른 설명으로 조합된 것은?

- 가. 중성인 어떤 원자의 L 각 궤도에 4개의 전자가 존재한다고 할 경우 이 원자는 질소(N)이다.
나. 원자핵의 체적은 질량수에 비례한다.
다. 지구상에 존재하는 핵종 중 안정한 핵종은 양성자수와 중성자수가 모두 홀수인 것이 가장 많다.
라. 자연계에 존재하는 가장 무거운 안정핵은 ^{208}Pb 이다.
- ① 가, 나, 다 ② 나, 라 ③ 가, 나, 다, 라 ④ 라

[sol] ②

가. 탄소(C)

다. 안정한 핵의 양성자수와 중성자수의 비율

양성자수	중성자수	핵종수	비 고
짝수	짝수	166	
짝수	홀수	54	
홀수	짝수	56	
홀수	홀수	4	$^2\text{H}, ^6\text{Li}, ^{10}\text{B}, ^{14}\text{N}$

[문제002] 다음 설명 중 옳바르지 않은 것은?

- ① 원자의 질량은 원자의 궤도전자수에 의해 결정된다.

- ② 원자의 크기는 전자궤도반지름에 의해 결정된다.
- ③ 원자의 속은 원자핵과 궤도전자의 전하로 인한 전장과 동시에 전자로 인해 생긴 자장이 작용하는 넓은 공간이다.
- ④ 원자의 궤도반지름은 주양자수 n 에 의해 결정된다.

[sol] ①

[문제003] 다음 설명 중 올바르게 설명된 것으로 조합된 것은?

- 가. 원자에서 전자가 $n = 1$ 로 천이하는 계열을 라이만계열이라고 한다.
- 나. 원자에서 전자가 $n = 2$ 로 천이하는 계열을 발머계열이라고 한다.
- 다. 원자에서 전자가 $n = 3$ 로 천이하는 계열을 브래킷계열이라고 한다.
- 라. 원자의 일반적인 크기는 1 \AA 정도이다.

- ① 가, 나, 다 ② 가, 다 ③ 가, 나, 라 ④ 라

[sol] ③

다. 파셴계열

[문제004] 다음 중 옳바른 설명으로 조합된 것은?

- 가. 각모형에서 마법수만큼 핵자수가 채워졌을 때를 닫힌 각이라고 한다.
- 나. 핵내의 핵자가 가질 수 있는 에너지 값은 연속적이다.
- 다. 핵모형이란 핵의 성질이나 구조를 설명하기 위한 이론이다.
- 라. 원자핵이 안정하다는 것은 핵자당 결합에너지가 작다는 의미이다.

- ① 가, 나, 다 ② 가, 다 ③ 나, 라 ④ 라

[sol] ②

[문제005] 다음은 원자핵에 대한 설명이다 옳바르지 않은 것은?

- ① 물방울모형은 핵분열을 설명하는 데 적합한 핵모형이다.
- ② 핵의 반경은 질량수의 $3/2$ 에 비례한다.
- ③ 각모형에서 마법수만큼 핵자수가 채워 졌을 때를 닫힌 각이라고 한다.
- ④ 핵내의 핵자가 가질 수 있는 에너지 값은 불연속적이다.

[sol] ②

[문제006] 입자의 파동성을 주장한 사람과 파동의 입자성을 주장한 사람을 순서대로 나열하면?

- ① 아인슈타인, 드브로이 ② 채드윅, 아인슈타인
③ 드브로이, 아인슈타인 ④ 러더퍼드, 드브로이

[sol] ③

[문제007] 다음 중 물방울모형으로 설명 가능한 현상과 관계있는 것끼리 조합된 것은?

- 가. 복합핵의 형성과정 나. α 입자의 집단운동모형
다. 마법수 라. 핵분열
① 나, 다 ② 가, 라 ③ 가, 나 ④ 가, 나

[sol] ②

각모형-마법수

[문제008] 다음 연결 중 올바르게 연결된 것끼리 조합된 것은?

- 가. 톱슨-행성모형 나. 보어-특성X선
다. 베크렐-우라늄선 라. 퀴리부인-방사능
① 다, 라 ② 가, 라 ③ 가, 나 ④ 가, 나

[sol] ①

모즐리 : 특성X선

톱슨 : 건포도빵모형

[문제009] 다음 중 옳은 것끼리 연결된 것은?

- 가. 원자핵이 갖는 전하는 Ze 이다.
나. 보어의 원자모형은 정상상태, 진동수조건, 양성자조건이 있다.
다. 원자의 화학적 성질은 전자수와 전자의 상태와 관계있다.

라. 전기량의 최소단위를 전기소량이라고 한다.

- ① 나, 다, 라 ② 가, 나, 다, 라 ③ 가, 나 ④ 가, 다, 라

[sol] ④

보어의 원자모형은 정상상태, 진동수조건, 양자조건이 있다.

[문제010] 핵력의 특징에 관한 설명으로 맞는 조립은?

가. 교환력을 가진다.

나. 양성자의 전하에 따라 핵력은 변한다.

다. 만유인력처럼 핵력은 핵자의 질량에 비례한다.

라. 10^{-13} cm 정도에서 작용하는 힘이다.

- ① 나, 다 ② 가, 다 ③ 가, 나, 다, 라 ④ 가, 라

[sol] ④

핵력 : 쿨롱력보다 강한 인력, 단거리력, 하전독립성, 교환력, 포화성

[문제011] 다음 중 올바르지 않은 설명은?

① 물질의 성질을 유지하고 있는 가장 작은 기본단위는 분자이다.

② 원자핵의 크기를 좌우하는 것은 질량수이다.

③ 중성자는 양성자보다 무겁다.

④ 양성자와 전자의 질량을 합하면 중성자의 질량이 된다.

[sol] ④

H₂O : 물분자(물이라는 물질의 성질을 가지고 있다)

원자핵의 반경 $R = R_0 A^{1/3}(\text{fm}) = 1.2 \times 10^{-15} A^{1/3}(\text{m})$ (A : 질량수)

[문제012] 다음 중 옳은 것끼리 조합된 것은?

가. 양성자 1개만으로 이루어진 원자핵은 없다.

나. 광전자와 관계 있는 방사선은 γ 선이다.

다. 전자쌍생성이 일어나면 소멸복사선이 발생된다.

라. 핵력은 10^{-13} cm 정도에서 작용하는 힘이다.

- ① 나, 다 ② 가, 다 ③ 나, 다, 라 ④ 가, 라

[sol] ③

^1H 핵은 양성자 1개로만 이루어진 원자핵이다.

[문제013] 다음 중 옳은 것끼리 조합된 것은?

가. 물질의 질량은 그 속도가 광속에 가까워질수록 감소한다.

나. 중성자의 정지질량은 양성질량의 약 1840배 정도이다.

다. 원자핵의 질량은 원자질량과 거의 같다.

라. γ 선 및 X선은 전자파로서 γ 선이 X선보다 파장이 길다.

- ① 가, 나, 다, 라 ② 다 ③ 나, 라 ④ 모두 옳지 않다.

[sol] ②

[문제014] 다음 중 올바른 설명으로 연결된 것은?

가. 핵력이란 핵자 사이에 작용하는 힘으로 핵자는 중성자수와 같다.

나. 핵력이란 핵과 전자사이에 작용하는 힘을 말한다.

다. 동중핵이란 중성자수가 같은 핵종을 지칭한다.

라. 중성자로만 이루어진 원자핵은 없다.

- ① 가, 다, 라 ② 라 ③ 나, 라 ④ 모두 옳지 않다

[sol] ②

핵자 : 핵을 구성하는 입자(양성자, 중성자)

핵자수 = 질량수 = 양성자수 + 중성자수

[문제015] 원자핵의 반경 R은 그 질량수 A의 함수로서 표시된다. 다음 중 그 식으로서 올바른 것은? 단, r_0 는 상수이다.

- ① $R = r_0 A^{1/3}$ ② $R = r_0 A^{3/2}$ ③ $R = r_0 A^{1/2}$ ④ $R = r_0 A$

[sol] ①

[문제016] 다음의 설명 중 올바른 것끼리 짝지은 것은?

가. 중성원자의 궤도전자수는 원자번호와 같다.

나. 무거운 안정원자핵은 양성자수가 중성자수보다 많다.

다. 중성원자의 질량은 원자핵의 양성자와 중성자의 질량과 궤도전자의 질량을 합한 것보다 가볍다.

라. 동중체 관계에 있는 원자핵은 질량수가 서로 같다.

① 가, 나, 다 ② 가, 다, 라 ③ 가, 라 ④ 나, 다

[sol] ②

무거운 원자핵은 중성자수가 양성자수보다 많다.

[문제017] 일반적으로 원자핵의 크기는 원자 크기의 몇 배 정도인가?

① 10000~100000배 ② 100~1000배

③ 1/100000~1/10000배 ④ 1~100배

[sol] ③

원자의 반경 : 1 Å

원자핵의 반경 : $10^{-15} \sim 10^{-14} \text{m}$

[문제018] 원자핵을 구성하는 핵자에 관한 설명으로 옳은 것끼리 연결된 것은?

가. 안정한 핵에서 양성자수와 중성자수가 모두 짝수인 비율은 그 어느 한 쪽이 홀수인 비율보다 많다.

나. +전기를 띤 여러 개의 양성자가 원자핵 내에 존재해도 안정한 것은 핵력 때문이다.

다. 핵자당의 결합에너지가 가장 큰 것은 철이다.

라. 중성자는 양성자와 다르게 전하를 가지고 있지 않고 양성자보다 질량이 크다.

① 가, 나, 다 ② 가, 다 ③ 나, 다 ④ 가, 나, 다, 라

[sol] ④

[문제019] 다음 중 연결이 올바른 것끼리 조합된 것은?

- 가. α 입자산란실험-톰슨 나. 원자(atom)-데모크리투스
다. 채드윅-최초의 인공핵변환 라. 원자핵발견-러더퍼드
① 나, 라 ② 가, 다 ③ 나, 다, 라 ④ 가, 라

[sol] ①

러더퍼드 : α 입자산란실험 → 원자핵발견

채드윅 : 중성자 발견

[문제020] 보어의 원자모형에 관한 설명으로 올바른 것은?

- ① 원자의 궤도는 연속적인 에너지상태를 가진다.
② 보어의 원자모형을 보완하여 러더퍼드는 원자의 현대적 모형인 행성모형을 제안하였다.
③ 진동수조건은 전자의 천이에 따른 에너지상태의 변화를 설명한다.
④ 원자구조에 있어서 각운동량은 $h/2\pi$ 의 정수배에 비례한다는 것은 진동수조건을 설명하는 것이다.

[sol] ③

원자의 궤도는 불연속적인 에너지상태를 가진다.

보어는 러더퍼드의 행성모형을 보완하여 현대적 원자모형을 제안하게 되었다.

원자구조에 있어서 각운동량은 $h/2\pi$ 의 정수배에 비례한다는 것은 양자조건을 설명하는 것이다.

[문제021] 원자의 특성에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 원자핵을 구성하는 입자들을 핵자(nucleon)라고 한다.
② 핵을 구성하는 양성자와 중성자의 질량은 다르다.
③ 원자의 궤도에 들어갈 수 있는 전자의 수는 $2n^2$ 개이다.
④ 핵자 중 가장 무거운 것은 양성자이며 전자질량의 약 1840배이다.

[sol] ④

양성자와 중성자의 질량은 거의 같지만 중성자가 더 무겁다.

[문제022] 원자의 에너지준위에 관한 설명 중 옳바르지 않은 것은?

- ① K각의 에너지 준위가 가장 낮다.
- ② 원자의 여기상태는 불안정하다.
- ③ 원자가 기저상태에서 여기상태로 이동할 때 광자가 방출된다.
- ④ 핵으로부터 멀리 떨어진 전자일수록 핵과의 결합에너지는 작아진다.

[sol] ③

원자가 여기상태에서 기저상태로 이동할 때 광자가 방출된다.

[문제023] 다음 설명 중 옳바른 것끼리 조합된 것은?

가. 수소원자에서 K 전자의 결합 에너지는 13.6 eV이다.

나. 양성자에 대한 전자의 질량 비 = $\frac{1.00727 \text{ u}}{0.00054 \text{ u}} \approx 1865$ 이다.

다. 양성자에 대한 중성자의 질량비는 약1.0014이다.

라. 중성자는 가장 무거운 핵자이다.

- ① 가, 다, 라 ② 가, 나, 다 ③ 나, 다, 라 ④ 가, 라

[sol] ①

$$\text{원자의 궤도에너지} = -\frac{13.6}{n^2}(\text{eV})$$

(K각의 주양자수 $n = 1$ 이므로 13.6 eV이다)

A에 대한 B의 비는 $\frac{B}{A}$ 라는 것을 명심할 필요가 있다.

$$\text{양성자에 대한 전자의 질량 비} = \frac{0.00054 \text{ u}}{1.00727 \text{ u}} \text{ 이다.}$$

$$\text{양성자에 대한 중성자의 질량비} = \frac{1.00866 \text{ u}}{1.00727 \text{ u}} \approx 1.00138$$

[문제024] 다음 기술한 것 중 옳은 끼리 조합된 것은?

- 가. 원자핵의 크기는 10^{-15} m 정도이다.
 - 나. 원자핵의 반경은 그 질량수의 1/3승에 비례한다.
 - 다. 원자의 반경은 원자핵의 반경에 비례한다.
 - 라. 무거운 원자핵에서는 중성자수가 양성자수보다 많다.
- ① 가, 다, 라 ② 가, 나, 라 ③ 나, 다, 라 ④ 가, 라

[sol] ②

[문제025] 다음은 원자핵의 각모형에 대한 설명이다. 올바른 끼리 조합된 것은?

- 가. α 입자의 집단운동을 설명하는 모형이다.
 - 나. 원자핵은 중성자수가 짝수일 때만 안정하다는 이론이다.
 - 다. 핵분열을 설명하는 모형이다.
 - 라. 원자핵의 양성자수나 중성자수가 마법수일 때 안정하다는 이론이다.
- ① 가, 나, 다 ② 나, 라 ③ 라 ④ 가, 라

[sol] ③

α 입자의 집단운동을 설명하는 모형 → 집단운동모형
원자핵의 양성자수 또는 중성자수가 짝수일 때 안정하다는 이론이다.
핵분열을 설명하는 모형 → 물방울모형

[문제026] 다음 중 마법수가 아닌 것은?

- ① 2 ② 8 ③ 82 ④ 162

[sol] ④

마법수 : 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 등

[문제027] 다음 설명 중 올바른 설명으로 조합된 것은?

- 가. 원자의 화학적 성질은 중성자수에 따라 결정된다.
- 나. 양성자와 전자는 질량과 전하량은 같으나 부호가 반대이다.

다. 화학결합에서는 결합에너지가 매우 낮아 원자핵의 결합에너지와 비교하면 거의 0에 가깝다.

라. 결합에너지는 음의 값을 가진다.

- ① 가, 나, 라 ② 나, 라 ③ 가, 라 ④ 다, 라

[sol] ④

[문제028] 핵의 결합에너지에 대한 설명으로 옳바른 것끼리 조합된 것은?

가. 핵자당 결합에너지가 작을수록 핵은 더욱 더 강하게 결합되어 있다.

나. 핵의 결합에너지는 질량수에 비례하여 증가한다.

다. 결합에너지는 핵자당 결합에너지와 질량수의 곱으로 표현된다.

라. ${}^2\text{H}$ 의 핵자당 결합에너지는 약 8.7 MeV이다.

- ① 가, 나, 라 ② 나, 다 ③ 가, 라 ④ 다, 라

핵의 결합에너지는 질량수에 비례하여 증가하며, 핵자당 결합에너지는 질량수가 약 60정도에서 최대치를 나타내다가 서서히 감소한다.

[sol] ②

[문제029] 다음 설명 중 핵자당 결합에너지가 가장 작은 것은?

- ① ${}^2\text{H}$ ② ${}^4\text{He}$ ③ ${}^{56}\text{Fe}$ ④ ${}^1\text{H}$

[sol] ④

${}^1\text{H}$ 의 핵자당 결합에너지는 0이다. 그 다음으로는 ${}^2\text{H}$ 이 작다.

[문제030] 다음은 원자핵의 결합에너지를 보정하기 위한 반실험적 질량공식을 산출할 때 고려해야 할 효과가 아닌 것은?

- ① 짝짓기 효과 ② 쿨롱에너지 효과
③ 고속누설 효과 ④ 비대칭 효과

[sol] ③

원자핵의 결합에너지를 보정하기 위한 반실험적 질량공식을 산출할 때 고려해야 할 효과 : 포화 효과, 표면장력 효과, 쿨롱에너지 효과, 비대칭 효과, 짝짓기 효과 등

[문제031] 다음 중 핵력에 대한 설명으로 올바른 것끼리 조합된 것은?

가. 핵력과 전자기력, 중력의 비는 $1 : 10^{-2} : 10^{-40}$ 정도이다.

나. 핵력은 인력과 척력이 작용하며 강력이라고도 한다.

다. 핵력은 핵자의 스핀 방향과는 관계없다.

라. 핵 외부에서의 핵력은 0이다.

① 나, 다 ② 가, 나 ③ 가, 라 ④ 가, 다

[sol] ③

핵력은 인력만 작용한다.

핵력은 핵자의 스핀 방향과도 관계가 있다.

[문제032] 다음 중 서로 핵이성핵-동중성자핵-동위핵-동중핵의 순서로 조합된 것은?

가. ${}_{43}^{99m}\text{Tc}$, ${}_{43}^{99}\text{Tc}$ 나. ${}_{11}^{23}\text{Na}$, ${}_{11}^{22}\text{Na}$ 다. ${}_{24}^{53}\text{Cr}$, ${}_{25}^{54}\text{Mn}$ 라. ${}_{6}^{14}\text{C}$, ${}_{7}^{14}\text{N}$

① 가-나-다-라 ② 가-다-나-라 ③ 가-라-다-나 ④ 가-라-나-다

[sol] ②

[문제033] 다음 설명 중 올바른 것끼리 조합된 것은?

가. 결합에너지는 음의 값을 가진다.

나. 결합에너지란 핵자를 개개로 분해하기 위해 외부에서 가해주는 에너지이다.

다. 핵력은 하전에 무관하게 작용하며, p-p, n-n, p-n사이에 작용하는 힘은 본질적으로 차이가 없다.

라. 광속의 제곱은 에너지와 질량을 변환시켜주는 환산계수에 속한다.

① 가, 나, 다, 라 ② 가, 라 ③ 가, 다 ④ 가, 나, 다

[sol] ①

[문제034] 다음 중 핵의 결합에너지($E(Z,A)$)를 나타내는 식으로 조합된 것은? 단 $M(Z,A)$ 는 원자질량이며, A 는 질량수, Z 는 원자번호, N 는 중성자수, m_n 은 중성자질량, m_p 는 양성자질량, m_e 는 전자질량이다.

가. $\{Am_n - Z(m_n - m_p)\} - \{M(Z,A) - Zm_e\}$ 나. $\{Zm_p + Nm_n\} - \{M(Z,A) - Zm_e\}$

다. $\{(A-N)m_p + Nm_n\} - \{M(Z,A) - Zm_e\}$ 라. $\{Am_p - N(m_p + m_n)\} - \{M(Z,A) - Zm_e\}$

① 가, 나, 다 ② 가, 나, 라 ③ 나, 다, 라 ④ 가, 다, 라

[sol] ①

[문제035] 다음 설명 중 올바른 것끼리 조합된 것은?

가. 원자번호는 같고 질량수가 다른 핵종을 동위핵이라고 한다.

나. ^{99m}Tc 의 m 은 준안정상태를 나타낸다.

다. 동위원소는 물리적 성질이 서로 같으며, 원자번호는 같고 질량수가 다른 원소를 말한다.

라. Z 가 같은 모든 핵종을 방사성동위원소라 한다.

① 가, 나 ② 가, 나, 라 ③ 가, 다, 라 ④ 가, 나, 다

[sol] ①

핵이성체 : $m \rightarrow$ metastable state(준안정상태)

동위원소란 원자번호는 같고 질량수가 다른 원소를 말한다. 따라서 원소 주기율표상에서 같은 위치에 있는 것을 의미하므로 화학적 성질이 같다.

동위원소라고 모두 방사성인 것은 아니다.

[문제036] 다음 설명 중 올바른 것끼리 조합된 것은?

가. 여기상태에 있는 핵이 γ 선을 방사하면서 안정해지는 것을 핵이성체 전이라고 한다.

나. ^{99m}Tc 의 m 은 준안정상태를 나타낸다.

다. 핵력은 10^{-15} m 이상의 원거리에서만 강하게 작용한다.

라. 일반적으로 핵자 1개당 결합에너지는 약 2 MeV 정도로 일정하다.

① 가, 나 ② 가, 나, 라 ③ 가, 다, 라 ④ 가, 나, 다

[sol] ①

핵자 1개당 결합에너지를 비결합에너지라고 하며, 일반적으로 7 ~ 8 MeV 정도로 일정하다.

[문제037] 다음 설명 중 올바른 것끼리 조합된 것은?

가. 양성자의 정지질량은 중성자의 정지질량과 거의 같다.

나. 1원자질량단위(1u)는 ^{12}C 원자 1개 질량의 1/12이며, 약 931.5 MeV 에 상당한다.

다. 전자의 정지질량은 0.511 MeV의 에너지에 상당한다.

라. 전자의 전하량은 1 C이다.

① 가, 나, 다, 라 ② 가, 다 ③ 가, 나 ④ 가, 나, 다

[sol] ④

$$1 e = 1.6 \times 10^{-19} C$$

[문제038] 중수소에 관한 설명으로서 옳은 것끼리 조합된 것은?

가. 중수소의 원자핵을 중양자라고 하며, 중수소의 질량은 중성자 질량의 약 2배이다.

나. 중수소는 수소의 동중원소이다.

다. 중양자의 질량은 2 g이다.

라. 중수소의 핵자수는 2개이며 중성인 중수소의 궤도전자수는 1개이다.

① 가, 나, 다 ② 가, 라 ③ 나, 라 ④ 가, 나, 라

[sol] ②

중양자의 질량수는 2이며, 중수소는 수소의 동위원소이다.

[문제039] 다음 가, 나, 다, 라의 핵종들의 관계를 표시한 것 중 순서대로 나열된 것은?

가. $^{80m}_{35}\text{Br}$, $^{80}_{35}\text{Br}$ 나. $^{14}_6\text{C}$, $^{14}_7\text{N}$ 다. $^{23}_{11}\text{Na}$, $^{22}_{11}\text{Na}$ 라. $^{15}_7\text{N}$, $^{16}_8\text{O}$

① 핵이성체-동중체-동중성자체-동위체

- ② 핵이성체-동중성자체-동중체-동위체
- ③ 핵이성체-동중체-동위체-동중성자체
- ④ 핵이성체-동위체-동중성자체-동중체

[sol] ③

[문제040] A_ZX_N 인 핵종이 있다(A : 질량수, Z : 원자번호(양성자수), N : 중성자수). 아래 표의 가, 나, 다에 순서대로 들어갈 적당한 말은?

	Z	N	A
동 위 체			(가)
동 중 체	(나)		
동중성자체		(다)	

- ① 같음, 같음, 다름 ② 같음, 다름, 다름
- ③ 다름, 다름, 같음 ④ 같음, 다름, 같음

[sol] ③

[문제041] 다음은 에너지에 대한 설명이다. 올바른 것은?

- ① 1.6×10^{-19} C의 전하를 가진 전자를 1 V로 가속시켰을 때 얻는 운동에너지는 1 MeV이다.
- ② 1 C의 전하를 가진 전자를 1 V로 가속시켰을 때 얻는 운동에너지는 1 J이다.
- ③ 1개의 전자를 1 V로 가속시켰을 때 얻는 운동에너지는 1 V이다.
- ④ 1.6×10^{19} 개의 전자를 1 V로 가속시켰을 때 얻는 운동에너지는 1 eV이다.

[sol] ②

[문제042] 에너지의 단위를 작은 것부터 나열한 것은?

- ① 1 erg < 1 eV < 1 J < 1 cal ② 1 cal < 1 J < 1 erg < 1 eV
- ③ 1 eV < 1 cal < 1 J < 1 erg ④ 1 eV < 1 erg < 1 J < 1 cal

[sol] ④

단위의 통일 : J 단위

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}, 1 \text{ J} = 1 \text{ J}, 1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}, 1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$$

주관식문제(SRI)

[문제001] 보어의 원자모형을 2가지 가설인 양자가설과 진동수가설을 중심으로 설명하라.

[sol]

보어는 전자가 특정한 궤도에 있을 때에는 전자기파를 방출하지 않는다는 가설을 도입하여 새로운 원자모형을 제시하였다.

1) 정상상태 가설(양자 가설) - 원자의 안정성을 설명할 수 있다.

원자내의 특정조건을 만족하는 궤도에서만 회전하며 이 궤도를 따라 운동하는 전자는 전자기파를 방출하지 않는다. 이러한 상태를 정상상태라고 하고 정상상태의 전자가 갖는 에너지를 에너지준위라고 한다. 원자 내의 전자가 전자기파를 방출하지 않기 위해서는 전자의 각운동량(mvr)이 플랑크 상수(h)를 2π 로 나눈 값의 정수배(n)가 될 때이다.

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad \blacktriangleright \quad 2\pi r = n \frac{h}{mv} = n\lambda$$

따라서 궤도는 띄엄띄엄한 값만 허용된다. 이처럼 연속적인 값을 갖지 못하고 특정한 값을 가지는 것을 양자화되어 있다고 한다.

2) 진동수 가설 - 수소원자의 선스펙트럼을 설명할 수 있다.

전자가 한 정상상태에서 다른 정상상태로 옮겨갈 때 두궤도의 에너지 차이만큼의 에너지를 전자기파로 방출하거나 흡수한다. 전자가 낮은 준위에서 높은 준위로 이동할 때에는 에너지를 흡수하고 높은 준위에서 낮은 준위로 이동할 때에는 에너지를 방출한다.

$$E_n - E_m = hv \quad (E_n > E_m)$$

3) 보어원자모형의 고찰 - 보어의 원자이론은 수소원자의 스펙트럼을 잘 설명할 수 있었지만 다른 원자의 스펙트럼은 설명할 수 없었다. 또 하이젠베르크의 불확정원리에 의하면 전자는 어느 한 순간에 그 위치와 운동량의 두가지를 동시에 측정할 수 없다. 즉 전자는 일정한 원궤도를 운동하는 것이 아니라 그 에너지 준위에 따라 어느 공간에 확률에 의해 존재한다는 것이 밝혀졌다. 이것을 전자구름모형 또는 오비탈모형이라고 한다.

[문제002] 원자의 크기를 구하는 식을 유도하라.

[sol]

원자핵 주위를 전자가 돌기 위해서는 원심력과 전자기적 인력이 같아야 한다.

$$F = m \frac{v^2}{r} = k \frac{Ze^2}{r^2}$$

($m : 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $k : 9 \times 10^9$ N·m²/C², $e : 1.6 \times 10^{-19}$ C)

보어의 양자가설에서 $mvr = n \frac{h}{2\pi}$ 이므로 $v = \frac{nh}{2\pi mr}$ 이다.

위의 식에 대입하여 풀면 $r_n = \frac{h^2 n^2}{4k\pi^2 e^2 mZ} = 0.53 \times 10^{-10} \frac{n^2}{Z}$ 을 얻을 수 있다.

수소의 경우 $Z = 1$, $n = 1$ 이므로 수소의 반경은 0.53 Å이다. 이것을 보어의 원자반경이라고 한다.

[문제003] 전자의 에너지준위를 구하는 식을 유도하라.

[sol]

원자에서 전자가 갖는 총에너지는 전자의 위치에너지($-k \frac{Ze^2}{r}$)와 운동에

너지($\frac{1}{2}mv^2 = k \frac{Ze^2}{2r}$)의 총합이다.

따라서 $-k \frac{Ze^2}{r} + k \frac{Ze^2}{2r} = -k \frac{Ze^2}{2r}$ 이 된다.

이 식에 양자화된 전자의 궤도반경 $r_n = \frac{h^2 n^2}{4k\pi^2 e^2 m Z}$ ($r = r_n$)을 대입하면

$$E_n = -k \frac{Ze^2}{2r_n} = \frac{2m\pi^2 k^2 e^4 Z^2}{h^2 n^2} \text{ (J)} = -13.6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ (eV)} \text{가 된다.}$$

여기서 $-$ 값은 전자가 핵에 구속되어 있는 것을 의미한다.

[문제004] 원자의 특성에 대해 간단하게 기술하라.

[sol]

- 1) 대부분 공간이며 $+$ 전하를 띤 원자핵을 중심으로 $-$ 전하를 띤 전자가 빠른 속도로 운동하고 있다.
- 2) 원자핵은 양성자와 중성자로 구성되어 있으며, 크기가 작지만 원자질량의 99.975%를 차지한다.
- 3) 중성원자의 경우 원자내의 전자수와 양성자수는 같다(양성자와 전자의 전하량의 절대값은 같다).
- 4) 질량비 $- n : p : e = 1.00866 : 1.00727 : 0.00054$

[문제005] 핵자당 결합에너지는 ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$ 등에서 비교적 큰 값을 나타낸다. 그 이유를 설명하라.

[sol]

α 입자는 핵자당 결합에너지가 비교적 크기 때문에 안정되어 있으므로 2개의 양성자와 2개의 중성자가 결합하여 원자핵내에서 안정된 핵자집단을 만든다. 또한 가벼운 원자핵들은 α 입자와 몇 개의 핵자들이 결합한 것이라고 생각하면 질량수가 4의 정수배가 될 때 특히 안정된 구조를 가진다는 것을 설명할 수 있다. 그러나 질량수가 20이상으로 증가하게 되면 4의 주기성은 별로 나타나지 않고 핵자당 결합에너지는 포화상태로 된다.

[문제006] 원자번호가 92이상인 핵종중에는 안정한 핵종들이 존재하지 않는 이유를 α 붕괴와 연관지어 설명하라.

[sol]

원자핵을 구성하고 있는 핵자는 핵력으로 강하게 결합하고 있지만, 동시에 Coulmb 척력도 작용하고 있다. 핵력은 근거리에서 작용하고 있는 힘이지만 핵자수가 증가함에 따라 원거리에서 작용하는 힘인 Coulmb 척력이 증가하게 되어 양성자2개와 중성자2개로 이루어진 α 입자를 방출하게 된다. 이러한 이유로 자연계에는 원자번호가 높게 되면($Z>92$) 모두 방사성을 띠게 된다.

[문제007] 여기와 전리에 대해 설명하라.

[sol]

여기와 전리의 구별은 원자 내에서 에너지를 얻은 궤도전자가 구속되어 있는지, 구속되어 있지 않는지의 여부로 판단한다.

1) 여기(excitation)

- ① 원자의 궤도전자가 에너지를 흡수하여 안정된 기저상태에서 에너지가 높은 상태로 옮겨가는 것
- ② 핵의 구속력을 벗어나지는 않은 상태
- ③ 여기상태는 그 수명이 10^{-8} s 정도로 짧아서 곧 전자파를 방출하면서 기저상태로 되돌아간다.

2) 전리(ionization)

- ① 에너지를 흡수한 궤도전자가 원자핵의 구속력으로부터 완전히 벗어나는 것
- ② 원자는 전자를 잃어 전리(이온화)된다.

[문제008] 핵력의 특징을 개조식으로 기술하라.

[sol]

핵력이란 핵자(양성자, 중성자)를 응집시켜 핵이라는 좁은 부분에 결합시키는 힘을 말한다. 핵력은 다음의 특징을 가진다.

- ① 쿨롱력(전자기력)보다 약 100배 정도 강하다. 핵력과 전자기력, 중력

- 의 비는 $1:10^{-2}:10^{-40}$ 정도이고 인력만 작용하며 강력이라고도 한다.
- ② 매우 가까운 거리(약 1 fm)에서만 작용하는 힘(단거리력)이다. 핵 바깥에서 핵력은 0이다.
 - ③ 하전독립성이다(핵자의 전하에 무관하게 작용하며 n-p, n-n, p-p 간에 작용하는 힘은 본질적으로 차이가 없다).
 - ④ 포화성을 가진다(핵의 밀도와 비결합에너지가 거의 일정하다).
 - ⑤ 교환력이다(π 중간자를 매개로 힘을 주고 받는다).
 - ⑥ 핵자간의 스핀(각운동량)과도 관계가 있다.

[문제009] 자연계에 존재하는 원자핵 중에서 안정된 핵종일수록 중성자수가 많다. 그 이유를 설명하라.

[sol]

자연계에 존재하는 원자핵의 안정성을 결정하는 주요인자는 중성자/양성자수(n/p)의 비이며, 대개 안정한 핵종들의 n/p 의 비는 1~1.5정도이다. 즉, 자연계에 존재하는 안정한 원자핵은 중성자수가 양성자수보다 많다. 원자번호가 증가함에 따라 전기적 척력이 강해지므로 핵은 불안정하게 된다. 따라서 전기적인 척력이 작용하지 않는 중성자수가 증가하여 핵은 안정하게 된다(핵 내의 핵자간에 작용하는 힘(p-n힘, p-p힘, n-n힘)은 모두 같다).

[문제010] 핵의 shell model에 대해 설명하라.

[sol]

각모형(shell model)은 원자핵의 에너지 준위를 규명하는 모형이다. 이 이론에 의하면 핵은 특별한 양성자수 또는 중성자수를 가질 때 안정하다. 이 특별한 수를 마법수(magic number)라고 하며 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 등이 여기에 속한다. 이는 마치 궤도전자수가 각 궤도마다 $2n^2$ (개)일 때 원자가 안정한 것과 유사하고, 궤도전자의 천이시 특성X선을 방출하는 것과 유사하게 γ 선을 방출하는 현상도 설명할 수 있다. 또 핵자의 수가 짝수일 때 안정하다. 이러한 마법수를 갖는 핵종들이 안정한 이유는 핵

속의 중성자각이나 양성자각을 완전히 채우고 있기 때문이다.

[문제011] 핵분열을 설명하는 핵모형에 대해 기술하라.

[sol]

핵분열을 설명하는 모형에는 물방울모형 (liquid drop model)이 있다. 물방울모형은 핵 내의 각 핵자가 핵자 주위의 가장 인접한 핵자들과만 상호작용하고, 이러한 상호작용은 핵이 물방울과 같이 표면장력효과를 나타내어 둥근 공모양을 하여야 최대의 결합에너지를 가질 수 있다는 것을 설명해준다. 핵 내부에 있는 핵자는 사방에서 같은 크기의 인력을 받으므로 핵 내에서 자유롭게 움직일 수 있으나 핵의 가장자리에 있는 핵은 내부로 인력이 작용하므로 핵을 벗어날 수 없다.

1. 물 방 울	→	1. 반 응 물
2. 진동/신장	→	2. 복합핵/신장
3. 아령모양	→	3. 아령모양
4. 분 열	→	4. 분 열

3의 “아령모양”에서 핵력은 아주 짧은 거리에서 작용하는데, 아령모양으로 되면서 쿨롱적력이 커져서 원자핵은 2조각으로 갈라진다.

[문제012] 원자와 원자핵을 비교하여 설명하라.

[sol]

원자와 원자핵을 비교하면 다음 표와 같다.

	원 자	원자핵
일반적인 크기	Å 단위	fm단위
질 량 비	100	99.975
구 조	원자핵+전자	중성자, 양성자
중 심	있 음 (원자핵)	없 음
작 용 력	쿨 롱 력	핵 력

원자의 특성은 핵의 주변, 즉 궤도전자에 의해 좌우되며 원자핵의 밀도는 질량수나 핵반경에 관계없이 일정하다.

[문제013] 전자볼트와 원자질량단위를 설명하라.

[sol]

전자볼트나 원자질량단위는 SI단위는 아니지만 학문의 특성상 사용하는 병용단위이다.

1) 전자볼트(electron Volt)

1개의 전자를 1 V의 전압으로 가속했을 때 얻는 운동에너지

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J} = 1.6 \times 10^{-12} \text{erg} (1\text{J} = 10^7 \text{erg} = 0.24 \text{cal} = 1 \text{Ws})$$

2) 원자질량단위(atomic mass unit)

① ^{12}C 의 원자1개의 질량을 12 u로 하여 정한 단위

② $1 \text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg} = 931.5 \text{MeV}$

[문제014] 핵의 결합에너지와 비결합에너지에 대해 설명하라.

[sol]

원자핵의 질량은 그것을 구성하고 있는 핵자(양성자, 중성자)를 떼어놓았을 때의 질량의 합보다 작다. 그 차이를 질량결손(ΔM)이라 하는데, 이 질량결손은 양성자와 중성자를 따로 따로 독립하고 있는 상태에서 핵력이 미치는 상태까지 접근시키는데 소요되는 퍼텐셜에너지의 감소에 해당한다. 이것을 결합에너지(E_b)라 한다. 결합에너지는 질량수가 증가할수록 커진다. A는 질량수, N은 중성자수, Z는 원자번호, m_p 는 양성자의 질량, m_n 는 중성자의 질량, $M(Z,A)$ 는 핵의 질량이라고 할 때 질량결손 ΔM 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta M &= \{Am_n - Z(m_n - m_p)\} - M(Z,A) = (Zm_p + Nm_n) - M(Z,A) \\ &= \{(A-N)m_p + Nm_n\} - M(Z,A) \end{aligned}$$

$$E_b = \Delta M c^2 \text{ (J)}$$

비결합에너지(f_b)란 핵자 1개당 결합에너지로서 $f_b = \frac{E_b}{A}$ 이며, 비결합에너지는 질량수가 증가함에 따라 증가하다가 $A \approx 60$ 정도부터 감소하기 시작한다. 비결합에너지는 ^{56}Fe 이 가장 크다.

[문제015] 운동하고 있는 물체의 운동에너지 $K = mc^2 - m_0c^2$ 으로 나타낼 수 있다. 광속보다 훨씬 작은 속도로 운동하는 입자($c \gg v$)의 운동에너지를 구하는 식을 유도하라.

[sol]

$$x \ll 1, (1 \pm x)^p \doteq 1 \pm px$$

$$K = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}c^2 - m_0c^2 = m_0c^2(1 - (\frac{v}{c})^2)^{-\frac{1}{2}} - m_0c^2 = \frac{1}{2}m_0v^2$$

계산문제(RI · SRI)

RISRI 기본예제

[문제001] 보어의 원자모형이 모든 원자에 적용된다고 가정한다면 ^{235}U 의 원자반경은 ^1H 의 원자반경의 몇 배인가?

[sol]

^1H 의 주양자수 = 1, ^{235}U 의 주양자수 = 5(실제로는 $n=7$ 이다)
전자의 궤도반지름 $r_n = 0.53 n^2(\text{Å})$ 이므로 25배이다.

RISRI 기본예제

[문제002] ^{235}U 의 핵반경은 ^1H 의 핵반경의 몇 배인가?

[sol]

$$R = R_0A^{1/3}(\text{fm}) = 1.2 \times 235^{1/3} \doteq 7.4 \text{ fm}$$

$$R = R_0A^{1/3}(\text{fm}) = 1.2 \times 1^{1/3} \doteq 1.2 \text{ fm}$$

$$\frac{R_{U-235}}{R_{H-1}} = \frac{7.4}{1.2} \approx 6.17 \text{ 배}$$

RISRI 기본예제

[문제003] ${}^4\text{He}$ 원자핵의 밀도를 계산하라. 단, 양성자 또는 중성자의 질량은 $1.674 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 으로 계산한다.

[sol]

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{질량}}{\text{부피}} = \frac{1.674 \times 10^{-27} \text{ kg} \times A}{\frac{4}{3} \pi (1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \times A^{1/3})^3} = \frac{1.674 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 4}{\frac{4}{3} \pi (1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \times 4^{1/3})^3} \\ &= 2.31 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

RISRI 기본예제

[문제004] 원자질량단위인 $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 임을 유도하고 이를 에너지단위(MeV)로 환산하라.

[sol]

원자질량단위는 ${}^{12}\text{C}$ 원자 1개의 질량을 12 u로 정의하였다. 따라서 탄소 12 g에는 아보가드로수 만큼의 원자가 있으므로 12 g을 6.02×10^{23} 개로 나누면 12 u가 된다. 이것을 다시 12로 나누면 1 u를 구할 수 있다.

$$1 \text{ u} = \frac{12 \text{ g}}{6.02 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$E = mc^2$ 에서 에너지로 환산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E &= (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &\approx 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} = 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} \times \frac{1 \text{ MeV}}{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}} \\ &\approx 931.5 \text{ MeV} \end{aligned}$$

따라서 $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.5 \text{ MeV}$ 가 된다.

RISRI 기본예제

[SRI문제005] 운동에너지가 20 keV, 1 MeV일 때 전자의 속도를 구하라.

[sol]

전자의 에너지가 정지에너지의 1/10 이상일 경우(약 50 keV 이상)에는 전자는 상대성효과를 고려해주어야 한다.

1) 운동에너지가 20 keV일 때

$$K = mc^2 - m_0c^2$$

$$20 \times 10^{-3} = mc^2 - m_0c^2 \equiv \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = \frac{0.511}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 0.511$$

$$20 \times 10^{-3} = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \text{에서 } v = 8.156 \times 10^7 \text{ m/s가 된다.}$$

원칙적으로 상대성효과가 고려되어야 하지만 에너지가 전자의 정지에너지의 1/10(약 50 keV) 이하이므로 다음과 같이 간단하게 계산한다.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow 20 \text{ keV} \times 1.6 \times 10^{-16} \text{ J/keV} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \times v^2$$

$$v = 8.4 \times 10^7 \text{ m/s}$$

상기 두 가지 방법에 의한 계산 값이 비슷함을 알 수 있다.

2) 운동에너지가 1 MeV일 때

$$K = mc^2 - m_0c^2$$

$$1 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \text{에서 } v = 0.941c \text{가 된다.}$$

즉, 광속의 94.1 %의 속도를 가지므로 1 MeV를 가진 전자의 속도는 $2.823 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.

RISRI 기본예제

[SRI문제006] 1개의 전자를 100000 V로 가속시켰을 때 전자의 드브로이 파장(Å)을 구하라. 단, 플랑크상수는 $6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ 이다.

[sol]

전자의 에너지 : 0.1 MeV

$$K = mc^2 - m_0c^2$$

$$0.1 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \text{에서 } \sqrt{0.3} c \text{가 된다.}$$

$$\text{드브로이 파장}(\lambda) = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\frac{m_0v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}} \quad (v \leftarrow \sqrt{0.3} c)$$

$$\lambda = 3.71 \times 10^{-12} \text{ m} = 0.0371 \text{ \AA}$$

RISRI 기본예제

[문제007] ^4He (원자질량 : 4.00258 u)의 핵자당 결합에너지를 계산하라.

[sol]

$$\Delta m = \{(2 \times 1.00727) + (2 \times 1.00866)\} \text{ u} - \{4.00258 \text{ u} - (2 \times 0.00054)\}$$

$$= 0.03036 \text{ u}$$

1 u = 931.5 MeV 이므로 위의 값을 결합에너지로 환산하면

$$0.03036 \text{ u} \times \frac{931.5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} \approx 28.3 \text{ MeV} \text{가 되며, 비결합에너지는 핵자수(질량수)}$$

가 4이므로 $\frac{28.3}{4} \approx 7.07 \text{ MeV}$ 이다.

RISRI 기본예제

[문제008] 원자핵의 크기는 1 ~ 10 fm 정도이다. γ 선이 광속으로 핵의 직경을 횡단하는데 걸리는 시간을 구하여라.

[sol]

$$\frac{10^{-15} \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \sim \frac{10^{-14} \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 3.33 \times (10^{-24} \sim 10^{-23}) \text{ s}$$

[SRI문제009] α 입자의 중심과 ^{226}Ra 핵의 중심까지의 거리가 10^{-14} m 떨어져 있을 때 퍼텐셜에너지를 구하라.

[sol]

전하량이 q_1 (C), q_2 (C) 인 두 점전하가 거리 r (m) 만큼 떨어져 있을 때 두 전하사이에 작용하는 퍼텐셜에너지(J)는 다음과 같다.

$$\text{퍼텐셜에너지} = k \frac{q_1 q_2}{r} \quad (k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$$

^{226}Ra 은 원자번호가 88번이므로 ^{226}Ra 핵의 전하는 88 e이고 α 입자의 전하는 2 e이다.

$$\begin{aligned} \text{퍼텐셜에너지} &= k \frac{88 \text{ e} \times 2 \text{ e}}{r} = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \times \frac{88 \times 2 \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{10^{-14} \text{ m}} \\ &= 4.055 \times 10^{-12} \text{ J} = 25.3 \text{ MeV} \end{aligned}$$

[문제010] ^2H (원자질량 : 2.014102 u)의 핵자당 결합에너지를 구하면?
(단, $p = 1.00727 \text{ u}$, $n = 1.00866 \text{ u}$ 이다)

[sol]

문제에서 원자의 질량을 주었기 때문에 핵자수와 관계된 핵자당 결합에너지를 구하기 위해서는 원자의 질량에서 전자의 질량을 빼주어야 한다.

$$^2\text{H} \text{ 핵의 질량} = 2.014102 - 0.00054 = 2.013562 \text{ u}$$

$$\begin{aligned} ^2\text{H} \text{의 결합에너지 } E_b &= (ZM_p + NM_n - M)c^2 \\ &= ((1 \times 1.00727) + (1 \times 1.00866) - 2.013562) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u} \\ &\approx 2.2058 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\text{핵자 1개당 결합에너지} = \frac{E_b}{A} = \frac{2.2058 \text{ MeV}}{2} = 1.1029 \text{ MeV}$$

[문제011] ^2H 의 질량이 2.014102 u라고 할 때 양성자, 중성자 및 전자가 결합하여 중수소가 될 때 방출되는 에너지를 구하면?

[sol]

$$((1.00727 + 1.00866 + 0.00054) - 2.014102) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u}$$

$$\approx 2.206 \text{ MeV}$$

[문제012] $^{12}_6\text{C}$ 원자에서 1개의 중성자와 양성자를 떼어내는데 필요한 에너지를 각각 다음의 자료를 이용하여 계산하라.

$$^{11}_5\text{B} \text{ 원자질량} = 11.0093 \text{ u}, \quad ^{11}_6\text{C} \text{ 원자질량} = 11.0114 \text{ u}, \quad p = 1.00727 \text{ u}, \quad n = 1.00866 \text{ u}, \quad e = 0.00054 \text{ u}$$

[sol]

중성자를 떼어내는데 필요한 에너지 : $^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_6\text{C} + n$

$$\begin{aligned} Q &= (M_{\text{C-12}} - (M_{\text{C-11}} + M_n))c^2 \\ &= (12 - (11.0114 + 1.00866))\text{u} \times 931.5 \text{ MeV/u} \approx -18.7 \text{ MeV} \end{aligned}$$

따라서 18.7 MeV의 에너지가 필요하다.

양성자를 떼어내는데 필요한 에너지 : $^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + p$

$$\begin{aligned} Q &= (M_{\text{C-12}} - (M_{\text{B-11}} + M_e + M_p))c^2 \\ &= (12 - (11.0093 + 0.00054 + 1.00727))\text{u} \times 931.5 \text{ MeV/u} \\ &\approx -15.94 \text{ MeV} \end{aligned}$$

따라서 15.94 MeV의 에너지가 필요하다.

[SRI문제013] 전자의 운동에너지가 그 입자의 정지질량에너지와 같다고 하면, 전자의 속도는 광속의 몇 배가 되는가?

[sol]

$$K = mc^2 - m_0c^2$$

$$\begin{aligned} 0.511 &= mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 \\ &= \frac{0.511}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 0.511 \end{aligned}$$

$$0.511 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \text{에서 } v \text{를 구하면 } v = 0.866 c \text{가 된다.}$$

[SRI문제014] 전자의 속도가 광속의 90%일 때의 질량은 정지질량의 몇 배인지 계산하라.

[sol]

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{(0.9c)^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.81}} = \frac{m_0}{\sqrt{0.19}} = 2.29 m_0$$

전자의 속도가 광속의 90%일 때의 질량은 정지질량의 약 2.29배가 됨을 알 수 있다. 즉 약 130 % 정도의 질량이 증가함을 알 수 있다.

[SRI문제015] 운동에너지가 1 MeV인 양성자가 갖고 있는 운동량과 동일한 운동량을 광자가 가지려면 광자의 에너지는 얼마가 되어야 하는가?

[sol]

양성자속도는 $E = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $E = 1\text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13}\text{J}$, $m = 1.673 \times 10^{-27}\text{kg}$ 를 대입하여 v 를 구한 후, 양성자의 운동량($p = mv$)을 구한다.

$$1.6 \times 10^{-13} = \frac{1}{2} \times 1.673 \times 10^{-27} v^2 \quad (v = 1.38 \times 10^7 \text{m/s})$$

$$p = mv = 2.314 \times 10^{-20} \text{kg} \cdot \text{m/s}$$

광자의 운동량 $p = \frac{E}{c}$ 이고 양성자의 운동량이 같다고 하였으므로, 광자의 에너지는 구해진 양성자의 운동량을 광속으로 나누어주면 된다.

$$E = 2.314 \times 10^{-20} \text{kg} \cdot \text{m/s} \times 3 \times 10^8 \text{m/s} = 6.94 \times 10^{-12} \text{J} = 43 \text{MeV}$$