

## 第 55 回

### 核燃料取扱主任者試験

# 放射線の測定及び放射線障害 の防止に関する技術

- (注意) (イ) 解答用紙には、問題番号のみを付して解答すること。  
(指示がない限り問題を写し取る必要はない。)
- (ロ) 問題は全部で6問。1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

令和5年3月2日

第1問 以下の文章中の□に入る適切な語句又は数値を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句等が入る。

〔解答例〕 ㉑—東京

(1) 原子の直径は、おおよそ□① m であり正の電荷を持つおおよそ□② m の大きさの原子核と、その周りを負の電荷を持つ電子が運動している。電子と原子核の間には□③ 力が働いている。原子核は陽子と中性子から構成され、両者の和を□④ という。

(2) 原子の軌道電子のエネルギー準位の差に相当するエネルギーを光子として放出したものを□⑤ といい、元素に特有な□⑥ エネルギーである。

励起状態にある原子が光子の放出を行わずに軌道電子を放出することにより、より安定なエネルギー状態に遷移する現象により放出される電子を□⑦ という。

励起状態にある原子核が基底状態に遷移するとき、光子を放出する代わりに軌道電子を放出することがあり、この電子を□⑧ という。

(3) 光子と物質との相互作用には、物質の軌道電子に入射光子のエネルギーの一部を与えて散乱光子と反跳電子が生じる□⑨、物質の軌道電子に入射光子のエネルギーを与えて電子を放出する□⑩、入射光子が原子核の電場中で消滅し、陽電子と電子が生み出される□⑪がある。□⑪の発生に必要な光子のエネルギーは□⑫ MeV 以上である。

(4) 狭い平行線束の光子を物質に照射した場合、物質の厚さを  $\chi$ 、物質への光子の入射強度を  $\phi_0$ 、物質の通過後の光子の強度を  $\phi$  としたとき  $\phi = \phi_0 \exp(-\mu \chi)$  と表され、この  $\mu$  を□⑬ という。□⑬を物質の密度で除した値を□⑭ といい、 $\phi = \phi_0/2$  となる物質の厚さを□⑮ という。

光子が広い面積で物質に照射される場合には、物質中で散乱された光子の寄与を加えたものが物質の通過後の光子の強度となるため  $\phi = \phi_0 B \exp(-\mu \chi)$  で表され、この B を□⑯ という。

(5) 陽子数を Z、中性子数を N としたときの原子核を [Z、N] と記した場合、 $\alpha$  壊変は  
[Z、N]  $\rightarrow$  [Z-2、N-2] +  $\alpha$  と記すことができる。これにならい下記を完成させよ。

$$\beta^- \text{壊変} : [Z, N] \rightarrow \boxed{\text{⑰}}, \boxed{\text{⑱}} + \beta^- + \bar{\nu}$$

$$\text{軌道電子捕獲} : [Z, N] + e^- \rightarrow \boxed{\text{⑲}}, \boxed{\text{⑳}} + \nu$$

第2問 以下の文章中の□に入る適切な語句、数字、元素記号又は核種を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句等が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 固体検出器を用いて $\gamma$ 線のエネルギースペクトルから核種の同定を行う場合、 $\gamma$ 線の□①に優れた高純度□②を用いたスペクトロメータが用いられることが多い。高純度□②の使用時は□③を行う必要があり、そのためには□④を用いるものが多い。高純度□②の中には50 keV以下のエネルギーを測定するために先端を□⑤窓としたものもある。

高純度□②を用いて $^{60}\text{Co}$ 線源の $\gamma$ 線スペクトルを測定した場合、□⑥ MeVと□⑦ MeVの $\gamma$ 線に相当するエネルギー位置に□⑧が現れる。この両者を同時に検出した場合には2.5 MeVのエネルギー位置に□⑨が現れる。

高いエネルギーを有する $\gamma$ 線を測定した場合、原子核の電場に吸収されて生じる陽電子の消滅に起因する二本の $\gamma$ 線が発生するが、そのうちの一本が検出器から逃れた場合には□⑧から□⑩ MeV低いエネルギー位置に□⑪が、二本が検出器から逃れた場合には、さらに□⑩ MeV低いエネルギー位置に□⑫が現れる。

また、長時間測定を行った場合には、自然放射線に起因する $\gamma$ 線エネルギーが1.46 MeVの核種である□⑬や $\gamma$ 線エネルギーが2.61 MeVの核種である□⑭による□⑧が現れる。

- (2) 放射線業務従事者の□⑮線量の測定は、個人線量計を着用して行われる。その際、個人線量計は、通常は体幹部への□⑯を想定して□⑰に着用するが、女子（妊娠不能とされた者、妊娠の意思の無い旨を書面で申し出た者を除く。）は□⑱に着用する。

体幹部への□⑲が想定される場合には、最も被ばくする可能性のある部位にも個人線量計を着用する。体幹部より□⑳の被ばくが多いと想定される場合には□㉑にも個人線量計を着用する。

第3問 以下の問いに答えよ。なお、答えを導いた計算式も示せ。

(1) 20 GBq の無担体  $^{32}\text{P}$  の質量はいくらか。

なお、 $^{32}\text{P}$  の半減期は、 $1.2 \times 10^6$  秒、アボガドロ定数は  $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  とする。

(2) 電離箱に 6 MeV の  $\alpha$  線が 100 Hz で入射した。このときの平均電流は 3 pA であった。

電離箱内に封入されている気体の W 値はいくらか。

第4問 以下の問いに答えよ。なお、答えを導いた計算式も示せ。

物質 A に中性子を 60 分間照射したところ半減期が 60 分の放射性物質の放射能が A(60) 生成された。物質 A に 30 分照射したときと 180 分照射したときに生成される放射能 A(30) と A(180) はそれぞれいくらになるか。

このとき照射条件は変えず、物質 A は同じ量とし、照射時間だけを変化させる。また、60 分照射したときに生成された放射能は 10 MBq とする。

第5問 放射線影響に関する以下の文章について、文章中の□に入る適切な語句、数字、又は文字式を番号とともに記せ。なお、同じ番号には、同じ語句等が入る。

〔解答例〕 ②－東京

- (1) 低線量域（一般的に 100 mSv 以下）での線量効果関係を表現するモデルのことを □①□ 無し直線モデルという。より高線量域での疫学調査から、慢性骨髄性白血病、急性骨髄性白血病、急性 □②□ 性白血病の 3 種を除く固形がんの発生は、被ばく線量に応じて線形に上昇することが認められた。しかし、低線量域では、発がんリスクが □③□ であるため、防護体系では、中・高線量域で確認された被ばく量とがん発生頻度との関係をそのまま低線量側に延長した上記モデルを採用し、より □④□ 側に立った措置をとる。防護の観点から、低線量被ばく条件に関して、ICRP/国際放射線防護委員会の勧告は □⑤□ 係数として数値 2 を提示している。この場合、低線量被ばくの発がんリスクは、原爆被爆者データから推計されるリスクの □⑥□ と見なすことになる。
- (2) 被ばくリスクの評価では、□⑦□ に抽出された代表的な観察集団を前提とし、被ばく歴と計測可能な影響指標の関連を定量的に解析する。被ばくの有無と影響の有無に対応して少なくとも 4 つの条件が想定され、該当する人数の数え上げによって、下記に示す □⑧□ 表の作成が可能となる。この表から、一定期間に被ばく集団で観察されたがんの発症割合  $R_1$  は、 $a/(a+b)$  と表され、発がんの発症リスクと定義される。一方、過剰に被ばくしていない対照集団の発がんリスク  $R_0$  は、□⑨□ となる。被ばくと発がんの関連の強さは、 $R_1 \div R_0$  によって計算されるリスク比、あるいは、□⑩□ によって計算されるリスク差として推定される。

表 1 観察期間におけるがんの発症者数

	暴露群	非暴露群
がん発症	a 人	c 人
がん非発症	b 人	d 人

(3) 放射性的の⑪ガスは、反応性に乏しいことから、身体組織への⑫や集積による内部被ばくへの寄与は非常に小さい。しかし、高濃度ガスとして人体の周囲に漂った放射性⑬として存在するときには、外部被ばくの線源であると同時に、呼吸を通じて⑭や肺胞に取り込まれたガス状の滞留物として内部被ばくに寄与する。このような被ばく様態を⑮とよぶ。代表的な⑮核種の一つは、⑯である。

(4) 眼球内の⑰体を構成する一部の上皮細胞は絶えず細胞分裂を続けており、放射線に対する感受性が高い。その分裂細胞が被ばくによって障害を受けると、重大な視覚障害を伴わない⑱と、視覚障害を伴う⑲の原因になる。⑰体では、⑳などの損傷細胞の排除機構が働いておらず、㉑が生じた細胞は生涯に渡って蓄積する。

第6問 放射線防護の観点から、以下の語句について簡潔に説明せよ。

- (1) 外部被ばくに対する防護の3原則
- (2) 実効半減期
- (3) 急性放射線症候群
- (4) 放射線影響を修飾する要因
- (5) 安定ヨウ素剤

【メモ】

【メモ】