

$$I a) E_n = - \frac{M e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} = - \frac{13,6}{n^2} \text{ eV} ; \mu \approx m_e$$

0,5

$$I b) \mu(\mu p) = \frac{m_\mu m_p}{m_\mu + m_p} = \frac{207 m_e \times 1836 m_e}{207 m_e + 1836 m_e} = 186 m_e$$

1

$$E_n(\mu p) = + E_n \frac{\mu(\mu p)}{M} = 186 \times E_n$$

$$E_1(\mu p) = - 2530 \text{ eV} ; E_2(\mu p) = - 632,5 \text{ eV}$$

I c) Eq. classique du modèle de Bohr :

$$\frac{\mu v^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$$

quantification : $\mu v r = n \hbar$

$$\mu v^2 r = e^2, \quad v = \frac{e^2}{\mu v r} = \frac{e^2}{n \hbar}$$

$$r = \frac{e^2}{\mu v^2} = n^2 \frac{\hbar^2}{\mu e^2} = n^2 a_0 \quad a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

1,5

$$I d) r_1(\mu p) = a_0 \frac{M}{\mu(\mu p)} = \frac{a_0}{186} = 2,84 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

1

$$r_2(\mu p) = 4 \times 2,84 \cdot 10^{-13} \text{ m} = 11,36 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

$$\text{II 1) } H = \frac{\vec{p}_e^2}{2m_e} + \frac{\vec{p}_\mu^2}{2m_\mu} - \frac{2e^2}{|\vec{r}_e|} - \frac{2e^2}{|\vec{r}_\mu|} + \frac{e^2}{|\vec{r}_e - \vec{r}_\mu|}$$

1

$$e = \frac{q}{\sqrt{4\pi\epsilon_0}}$$

$$H_1 = \frac{\vec{p}_e^2}{2m_e} - \frac{2e^2}{|\vec{r}_e|} ; H_2 = \frac{\vec{p}_\mu^2}{2m_\mu} - \frac{2e^2}{|\vec{r}_\mu|}$$

$$H_3 = \frac{e^2}{|\vec{r}_{e\mu}|} = \frac{e^2}{|\vec{r}_e - \vec{r}_\mu|}$$

II 2 a) pour l'électron : $n^e, l^e, m_l^e, s^e, m_s^e$
 pour le muon : $n^\mu, l^\mu, m_l^\mu, s^\mu, m_s^\mu$

1

II 2 b) $e \Rightarrow n^e=1, l^e=0, m_l^e=0, s^e=1/2, m_s^e=\pm 1/2$
 $\mu \Rightarrow n^\mu=1, l^\mu=0, m_l^\mu=0, s^\mu=1/2, m_s^\mu=\pm 1/2$

0,5

II 2 c) déf : $2(l^e+1) \times 2(l^\mu+1) = 4$

1,5

$L=0, S=1, 0 ; J=0, 1$

Termes Spectraux : $1S_0, 3S_1$

$$\text{II 2 d) } E_{11}(H_0) = Z^2 [E_1 + E_1(\mu)] =$$

1

$$= 4(-13,6 - 2530) = -10174,4 \text{ eV}$$

II 3 a) $|\vec{r}_\mu| \ll |\vec{r}_e|$ donc $|\vec{r}_{e\mu}| \approx |\vec{r}_e|$

1

2 ci) $H_3 = \frac{e^2}{|\vec{r}_e|}$

II 3b) $H = H_1 + H_2$ où

2cu) $H_1 = \frac{\vec{p}_e^2}{2m_e} - \frac{e^2}{|\vec{z}_e|}$; $H_2 = \frac{\vec{p}_\mu^2}{2m_\mu} - \frac{2e^2}{|\vec{z}_\mu|}$

"Le muon fait écran à la charge du noyau"

II 3c) $E_{1,1}(H) = E_1 + z^2 E_1(\mu p) =$

2cu) $= -13,6 + 4(-2530) = -10133,6 \text{ eV}$

II 4a) 2di) oui

II 4b) $\vec{S}^2 = (\vec{S}_e + \vec{S}_\mu)(\vec{S}_e + \vec{S}_\mu) = \vec{S}_e^2 + \vec{S}_\mu^2 + 2\vec{S}_e \vec{S}_\mu$

2du) $([\vec{S}_e, \vec{S}_\mu] = 0)$ donc $H_S = \frac{e}{2} (\vec{S}^2 - \vec{S}_e^2 - \vec{S}_\mu^2)$

2du) II 4c) $\Delta E(^2S_0) = \langle ^2S_0 | H_S | ^2S_0 \rangle = \langle S=0, m_s=0, S_e=1/2, S_\mu=1/2 | H_S | ^2S_0 \rangle$

$\Delta E(^3S_1) = \langle ^3S_1 | H_S | ^3S_1 \rangle = \langle S=1, m_s=0, S_e=1/2, S_\mu=1/2 | H_S | ^3S_1 \rangle$

$\Delta E = \frac{e}{2} \hbar^2 [S(S+1) - S_e(S_e+1) - S_\mu(S_\mu+1)]$

$\Delta E(^2S_0) = \frac{e}{2} \hbar^2 (0 - \frac{3}{4} - \frac{3}{4}) = -\frac{3}{4} e \hbar^2$

$\Delta E(^3S_1) = \frac{e}{2} \hbar^2 (2 - \frac{3}{4} - \frac{3}{4}) = \frac{1}{4} e \hbar^2$

1

swatami

23. $1,6 \times 10^{25}$ MeV 24. 1,008 663 6 u 25. 7,92 MeV 26. a) $\frac{1}{4}$ b) $\frac{1}{8}$
 27. 280 j 28. $3,0 \times 10^{19}$ 29. a) $7,53 \times 10^{16}$ Bq b) $4,91 \times 10^{16}$ Bq
 30. a) $4,8 \times 10^{-18}$ Bq b) $4,6 \times 10^9$ a 31. a) 64,2 h b) 0,125
 c) 0,0749 32. a) $5,04 \times 10^{18}$ b) $4,59 \times 10^6$ Bq 33. $5,33 \times 10^{22}$
 34. 265 mg 35. a) $2,03 \times 10^{20}$ b) $2,79 \times 10^9$ Bq 36. a) 59,5 j
 b) 1,18 37. 209 j 38. 87,9 mg 39. $1,13 \times 10^{11}$ a 42. 0,658 g
 43. a) $8,88 \times 10^{10}$ Bq b) $8,88 \times 10^{10}$ Bq c) $1,19 \times 10^{15}$ d) 0,111 μ g
 44. a) $3,66 \times 10^7$ Bq b) $t \gg 3,82$ j c) $3,66 \times 10^7$ Bq d) 6,42 ng
 45. 0,073 m² 47. Pu: $3,1 \times 10^{-17}$, Cm: $e^{-9174} \approx 0$ 48. a) 4,25 MeV
 b) -24,1 MeV c) 28,3 MeV 49. 4,269 MeV 50. $Q_3 = -9,50$ MeV,
 $Q_4 = 4,66$ MeV, $Q_5 = -1,30$ MeV 51. a) 31,8 MeV, 5,98 MeV
 b) 86 MeV 52. b) $4n + 3, 4n, 4n + 2, 4n + 3, 4n, 4n + 1, 4n + 2,$
 $4n + 1, 4n + 1$ 53. ⁷Li 54. a) 0,90 pm b) 6,4 fm c) Non d) Oui
 55. 1,21 MeV 57. 0,783 MeV 58. 0,600 MeV 59. b) 0,961 MeV
 60. b) $2,7 \times 10^{13}$ W 61. 78,3 eV 62. $1,61 \times 10^3$ a
 63. a) U: $1,06 \times 10^{19}$, Pb: $0,624 \times 10^{19}$ b) $1,68 \times 10^{19}$
 c) $2,97 \times 10^9$ a 64. 132 μ g 65. 1,7 mg 66. 145 Bq = 3,92 nCi
 67. 1,02 mg 68. 7,3 mSv 69. 0,013 J 70. a) 18 mJ
 b) 2,9 mSv = 0,29 rem 71. a) $6,3 \times 10^{18}$ b) $2,5 \times 10^{11}$ c) 0,20 J
 d) 2,3 mGy e) 30 mSv 72. a) 6,6 MeV b) Non 73. a) ¹⁸O, ⁶⁰Ni,
⁹²Mo, ¹⁴⁴Sm, ²⁰⁷Pb b) ⁴⁰K, ⁹¹Zr, ¹²¹Sb, ¹⁴³Nd c) ¹³C, ⁴⁰K, ⁴⁹Ti,
²⁰⁵Tl, ²⁰⁷Pb 74. a) 25,4 MeV b) 12,8 MeV c) 25,0 MeV 75. b) 1,00
 c) 70,8 d) 0,010 0 e) 0,708 f) Non 76. 0,49 77. $9,0 \times 10^8$ Bq
 78. a) Désintégration bêta moins b) $8,2 \times 10^7$ Bq c) $1,2 \times 10^6$
 79. a) 7×10^7 b) $(7 \times 10^7)e^{-(\ln 2)(D-1996)/(30,2 \text{ a})}$, où D est l'année
 actuelle 80. $3,2 \times 10^{12}$ Bq = 86 Ci 81. ²²⁵Ac 82. $4,28 \times 10^9$ a
 83. 10^{13} atomes 84. $1,3 \times 10^{-13}$ m 85. 7,31 MeV 86. $3,2 \times 10^4$ a
 87. $4,9 \times 10^{13}$ Bq