Experimentalphysik 5 Blatt 7 Julian Bergmann

9/15. 656.04m

Nr. 1

a) $l = v \cdot \tau = 0{,}994c \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6}\,s \approx 655{,}586\,m$ ✓ 599.8m

b) $l' = v \cdot \tau \cdot \gamma = 0{,}994c \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6}\,s \cdot (1-0{,}994^2)^{-\frac{1}{2}} = 5993{,}65\,m$ ✓

warum erreichen trotzdem Myonen den Boden?

τ Halbwertszeit $\Rightarrow$ $2^{-\frac{t}{l}}$ Anteil erreichen Länge t.

klassisch: $\frac{t}{l} = \frac{20000}{655{,}6} \approx 30 \Rightarrow 2^{-30} \approx 9{,}31 \cdot 10^{-8}\,\%$.

relativistisch: $\frac{t}{l} = \frac{20000}{5994} \approx 3{,}3 \Rightarrow 2^{-3{,}3} \approx 10{,}15\,\%$.

$\Rightarrow$ relativistisch erreichen noch ca. 10,15% den Erdboden, klassisch etwa 0.

3./3.

$\frac{t}{l} \triangleq$ Zeit / Länge

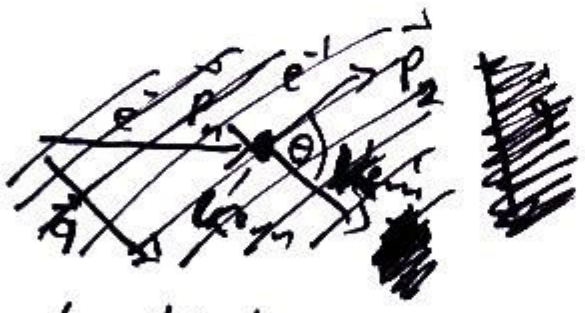
Nr. 2

a) $E = (4p - \alpha)c^2 = (4 \cdot 1{,}00794u - 4{,}002602u) \cdot 931{,}5 \frac{MeV}{c^2} \cdot c^2$
$= 27{,}16\ MeV$ ✓

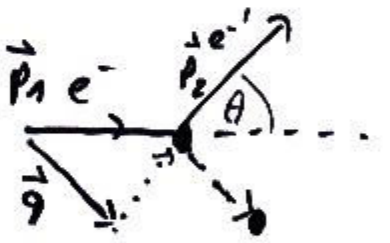
4./4.

b) $\Delta E = E_b(Pu) \cdot 240 - E_b(Sn) \cdot 128 - E_b(Ru) \cdot 110$
$= 7{,}5\,MeV \cdot 240 - 8{,}5\,MeV \cdot 128 - 8{,}5\,MeV \cdot 110 = -223\,MeV$ ✓
(Bindungsenergie immer negativ!)

Nr. 3

a) 

$q = \left(\frac{E_1 - E_2}{c}, \vec{p}_1 - \vec{p}_2\right)$



4./4.

elastische Streuung $\Rightarrow$ $E_1 = E_2$, $E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2} \approx pc \Rightarrow p_1 = p_2$

$q^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1p_2\cos(\theta) = 2p^2 - 2p^2\cos(\theta) = 4p^2 \cdot \frac{1}{2}(1 - \cos(2 \cdot \frac{\theta}{2}))$
$= 4p^2 \sin^2(\frac{\theta}{2})$ $\cdot \frac{\vec{p}_1 - \vec{p}_2}{|p_1 - p_2|}$

$\Rightarrow$ $q = \left(\frac{E-E}{c}, \vec{q}\right) = \left(0, 2p\sin(\frac{\theta}{2}), 0, 0\right)$, $(mc^2)^2 = E^2 - (qc)^2 < 0$

reelles Photon: $E > 0$, $p \geq 0$, $m^2 > 0$
virtuelles Photon (raumartig): $E = 0$, $p \geq 0$, $m^2 \leq 0$

b) $q = \frac{E}{c} \cdot 2\sin(\frac{\theta}{2})$, $k = \frac{q}{\hbar}$, $\lambda = \frac{\hbar}{q}$

$q_1 = \frac{0{,}1 \cdot 10^{-9}\,eV}{300\,000\,000\,\frac{m}{s}} \cdot 2\sin(22{,}5°) = 0{,}2553\,\frac{eVs}{m}$

$k_1 = \frac{0{,}2553}{6{,}582 \cdot 10^{-16}}\,\frac{\frac{eVs}{m}}{eVs} = 3{,}875 \cdot 10^{14}\,\frac{1}{m}$

$\lambda_1 = k_1^{-1} = 2{,}578 \cdot 10^{-15}\,m$

1./1.

$\Rightarrow$

$q_2 = 2,553 \frac{eVs}{m}$, $k_2 = 3,879 \cdot 10^{15} \frac{1}{m}$, $\lambda_2 = 2,578 \cdot 10^{-15} m$

$q_3 = 25,53 \frac{eVs}{m}$, $k_3 = 3,879 \cdot 10^{16} \frac{1}{m}$, $\lambda_3 = 2,578 \cdot 10^{-17} m$

Auflösung entspricht etwa λ mit $\lambda \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

Nukleon-Radius: $1,4 \cdot 10^{-15} m$ $\Rightarrow$ $q = \Delta p \geq \frac{\hbar}{2\lambda} \approx 0,235 \frac{eVs}{m}$

$$E \geq \frac{qc}{2 \sin(\frac{\theta}{2})} = \frac{0,235 \frac{eVs}{m} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot \sin(22,5°)} = 9,27 \cdot 10^7 eV$$

ExPhy 5 Blatt 1 Besprechung

Nr. 3

a) $Q = \left(\frac{E_1 - E_2}{c}, \vec{q}\right)$ als fn. v. θ , $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$



$|\vec{q}|^2 = |\vec{p}_1|^2 + |\vec{p}_2|^2 - 2|\vec{p}_1||\vec{p}_2|\cos(\theta)$, $E = \sqrt{\vec{p}^2c^2 + m^2c^4} = E = pc$

$= \frac{E_1^2}{c^2} + \frac{E_2^2}{c^2} - 2\frac{E_1 E_2}{c}\cos(\theta) + 2\frac{E_1 E_2}{c^2} - 2\frac{E_1 E_2}{c^2}$

$= \frac{1}{c^2}\left(E_1 - E_2\right)^2 + 2\frac{E_1 E_2}{c}\underbrace{(1-\cos\theta)}_{\text{wenn } 0 ?\ \theta = 0 \Rightarrow E_1 = E_2}$,

$E < pc \Rightarrow$ virt. Teilchen

b) $E_1 = E_2 = E$

$\Rightarrow |\vec{q}| = \sqrt{0 + \frac{2E^2}{c^2}\underbrace{(1-\cos(\theta))}_{2\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}} = \frac{2E}{c}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$, $k = \frac{q}{\hbar} = \frac{2E}{\hbar c}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$

$\lambda = \frac{2\pi}{k}$

1) $E = 0{,}1\,GeV$, $\theta = 45°$, $q = 2\frac{0{,}1\,GeV}{3\cdot 10^8 \frac{m}{s}}\sin\left(\frac{45°}{2}\right) = 2{,}55\cdot 10^{-10}\frac{GeV}{m}$

$k = \frac{2{,}55\cdot 10^{-10} GeV}{6{,}58\cdot 10^{-25}} = 3{,}88\cdot 10^{14}\frac{1}{m}$

$\lambda = \frac{2\pi}{k} = 16{,}2\,fm$

2) $E = 1\,GeV$, $q = 3\cdot 10^{-9}\frac{GeV}{m}$, $k = 4{,}56\cdot 10^{15}\frac{1}{m}$, $\lambda = 1{,}38\,fm$

3) $E = 10\,GeV$, $q = 2{,}6\cdot 10^{-8}$, $k = 3{,}95\cdot 10^{16}\frac{1}{m}$, $\lambda = 1{,}59\cdot 10^{16}\,fm$

ExPhy 5 Blatt 2 Besprechung

Nr. 1

$\Delta p \Delta x \geq \hbar \Rightarrow \Delta p \geq \frac{\hbar}{\Delta x}$, $E_{kin} = E - E_0 = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2} - m_0c^2$, $E_{ges} = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$

Nr. 2

a) Unterschied in Ladung & Farbladung (gleich in Spin, Lebensd. & Masse)

b) $e^- \to e^+$ 0,5 ns , $p \to \bar{p}$ 38,3 , $\pi^+ \to \pi^-$ 140 , $\pi^0 \to \pi^0$ 135

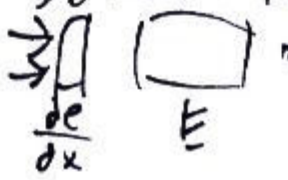
c) virtuelle machen WW, können in Unsch.rel. entstehen

d) [el. mit Bremsstrahlg. e⁻ det schnellen Impuls, Flugzeitmethode]

gel: Bloch & Cerenkov , π^0

el & pos: Beth Bloch, Cerenkov,

schwere Teilchen: el. schauer , π^0: Zerfallskanäle (E von 2 γ's)



$\Rightarrow$ Massenbestimmung

Experimentalphysik 5 Blatt 2 Julian Bergmann

Nr 1

Unschärfe-Relation: $\Delta p \, \Delta x \geq \hbar \Rightarrow \Delta p \geq \frac{\hbar}{\Delta x}$

Kin. Energie: $T = E - E_0 = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2} - mc^2$

ges. Energie: $E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2}$

Elektron ($m = 0{,}51 \frac{MeV}{c^2}$) in Atom ($\Delta x = 2 \cdot 10^5 fm$)

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{197 \frac{MeV \cdot fm}{c}}{2 \cdot 10^5 fm} = 9{,}85 \cdot 10^{-4} \frac{MeV}{c}$$

$$T = \left(\left(0{,}51 \frac{MeV}{c^2} \right)^2 c^4 + \left(9{,}85 \cdot 10^{-4} \frac{MeV}{c} \right)^2 c^2 \right)^{1/2} - 0{,}51 \frac{MeV}{c^2} c^2$$

$$= 0{,}95 \, eV$$

$$E = T + mc^2 = 0{,}95 \, eV + 0{,}51 \frac{MeV}{c^2} c^2 = 0{,}51 \, MeV$$

Nukleon ($m = 931 \frac{MeV}{c^2}$) in Kern ($\Delta x = 2 \cdot 10 fm$)

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{197 \frac{MeV \, fm}{c}}{2 \cdot 10 \, fm} = 9{,}85 \frac{MeV}{c}$$

$$T = \left(\left(931 \frac{MeV}{c^2} \right)^2 c^4 + \left(9{,}85 \frac{MeV}{c} \right)^2 c^2 \right)^{1/2} - 931 \frac{MeV}{c^2} c^2$$

$$= 0{,}05 \, MeV$$

$$E = T + mc^2 = 0{,}05 + 931 \frac{MeV}{c^2} c^2 = 931{,}05 \frac{MeV}{c^2}$$

Quarks ($m = 3 \frac{MeV}{c^2}$) in Nukleon ($\Delta x = 2 fm$)

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{197 \frac{MeV \, fm}{c}}{2 fm} = 98{,}5 \frac{MeV}{c}$$

$$T = \left(\left(3 \frac{MeV}{c^2} \right)^2 c^4 + \left(98{,}5 \frac{MeV}{c} \right)^2 c^2 \right)^{1/2} - 3 \frac{MeV}{c^2} c^2$$

$$= 95{,}5 \, MeV$$

$$E = T + mc^2 = 95{,}5 \, MeV + 3 \frac{MeV}{c^2} c^2 = 98{,}5 \, MeV$$

4/4

Nr 2

a) Antiteilchen bewegen sich rückwärts in der Zeit und haben relativ zu ihren zugeordneten Teilchen anders gepolte Ladung. und sonst?

b) $e^- \to e^+$ Positron, $m_e = 0{,}51 \frac{MeV}{c^2}$

$p \to \bar{p}$ Anti-proton, $m_p = 938{,}3 \frac{MeV}{c^2}$

$\pi^+ \to \pi^-$ neg. gel. pion, $m_{\pi^+} = 139{,}6 \frac{MeV}{c^2}$

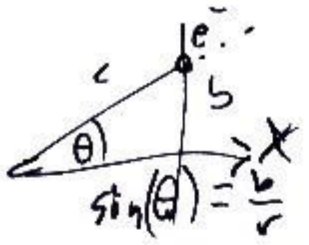
$\pi^0 \to \pi^0$ (sein eigenes Antiteilchen), $m_{\pi^0} = 135 \frac{MeV}{c^2}$

c) virtuelle Teilchen werden bei den Feynman-Diagrammen als Wechselwirkung benutzt. Prinzipiell ist jedes Teilchen möglich, besitzt allerdings keine Masse! ???

Exphy 5 Blatt 3 Besprechung

Nr 2

a) Übertrag: $\Delta E(b) = \frac{(\Delta p_\perp)^2}{2m_e}$, $\Delta p_\perp = \int F_\perp dt = \int F_c \sin(\theta) dt = \int \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\sin(\theta)dt$



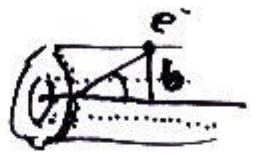
$\Rightarrow \Delta p_\perp = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Ze^2 b}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\frac{1}{v}dx = \frac{Ze^2 b}{4\pi\varepsilon_0 v}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{r^3}dx$, $r^2 = x^2+b^2$

$\Rightarrow \Delta p_\perp = \frac{Ze^2 b}{4\pi\varepsilon_0 v}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{(x^2+b^2)^{3/2}}dx = \frac{Ze^2 b}{4\pi\varepsilon_0 v}\frac{x}{b^2\sqrt{b^2+x^2}}\Big|_{-\infty}^{\infty}$

$= \frac{Ze^2 b}{4\pi\varepsilon_0 v}\left(\frac{1}{b^2}-\left(-\frac{1}{b^2}\right)\right) = \frac{Ze^2}{2\pi\varepsilon_0 b v}$

$\Rightarrow \Delta E(b) = \frac{Z^2 e^4}{8\pi^2\varepsilon_0^2 m_e v^2 b^2}$

b) $-dE = \Delta E(b)\, N_e \frac{dV}{2\pi b\, db\, dx}$



$\frac{dE}{dx} = -\frac{Z^2 e^4 N_e \cdot 2\pi b}{8\pi^2\varepsilon_0^2 m_e v^2 b^2}db = -\frac{Z^2 e^4 N_e}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2}\int_{b_{min}}^{b_{max}}\frac{1}{b}db = -\frac{Z^2 e^4 N_e}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2}\ln\left(\frac{b_{max}}{b_{min}}\right)$

c) Nähe Größe e⁻ d.h. halbe de Broglie-Wellenlänge: $b_{min} = \frac{\hbar}{2p} = \frac{\hbar}{2mv}$

Umlaufdauer e⁻: $\tau_e = \frac{\hbar}{I}$ $I = E = \hbar f = \hbar\frac{1}{\tau_e} = I$: min E-Übertrag / mitt. Anregungspot / Bindungsenergie

WW-Zeit d. Teilchens mit Atom: $\tau_{ww} = \frac{b_{max}}{v}$

$\tau_e \approx \tau_{ww} \Rightarrow b_{max} = \frac{\hbar}{I}\cdot v$

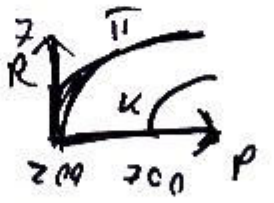
$\frac{b_{max}}{b_{min}} = \frac{\frac{\hbar}{I}v}{\frac{\hbar}{2mv}} = \frac{mv^2}{I}$ / $\frac{dE}{dx} = -\frac{e^4 N_e Z^2}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e v^2}\ln\left(\frac{2mv^2}{I}\right)$

d) $\frac{dE}{dx} = -\frac{e^4 N_e Z^2}{4\pi\varepsilon_0^2 m_e \beta^2 c^2}\left(\ln\left(\frac{2m_e v^2}{I}\right) - \ln(1-\beta^2) - \beta^2\right)$ $\Rightarrow$ Ableiten & 0 setzen $\Rightarrow$ numerisch lösen

Nr 3



Kurve $\Rightarrow$ Ring



Skizze im Skript

Nr 4

$R = r = 3100\,m$, $E_e = 100\,GeV$, a) $\Delta E_e = 88{,}5\,\frac{E^4}{R}\,keV \approx 2{,}85\,GeV$

c) $E = 7\,TeV$: $\Delta E = 2{,}79\cdot 10^{-7}\,\frac{E^4}{R}\,eV \approx 64\,keV$, b) $\Delta E = 10^{12}\cdot 8{,}55\,GeV$, $\Delta t = \frac{2\cdot 4\,km}{c\sqrt{1-\left(\frac{mc^2}{E}\right)^2}}$

$\Rightarrow P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 9{,}49\cdot 10^{16}\,\frac{GeV}{s} \approx 90{,}1\,MS \approx 15{,}2\,MW$

Nr 1

a) $p^\mu = \Lambda^\mu_\nu p^\nu = \begin{pmatrix}\gamma & 0 & 0 & -\gamma\beta\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ -\gamma\beta & 0 & 0 & \gamma\end{pmatrix}\begin{pmatrix}E/c\\ p_x\\ p_y\\ p_z\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\gamma\frac{E}{c}-\gamma\beta p_z\\ p_x\\ p_y\\ -\gamma\beta\frac{E}{c}+\gamma p_z\end{pmatrix}$ $\Rightarrow$ $p^{\mu 2} = \frac{E^2}{c^2}-p_x^2-p_y^2-p_z^2$

$\Rightarrow S = (p_1+p)^2$ invariant

b) $E_{cm}^2 = (p_p c + p_e c)^2 = m_p^2 c^4 + m_e^2 c^4 + 2(E_p E_e - \vec{p}_p\vec{p}_e c^2)$, $\left(E = c|p|, \text{da } p \gg m\right)$ $\ldots \approx 4E_p E_e$

c) $E_{cm} = 3{,}78\,GeV$, da $\vec{p}_p = 0$, $E_{cm} = \sqrt{2E_p E_e}$, $E_e = \frac{E_{cm}^2}{2E_p} = 53{,}94\,TeV$

c) Über Elektromagnetische Felder lassen sich die Teilchen nach ihrer Ladung trennen, über Blenden nach ihrem Impuls und über Detektoren zur Flugzeitbestimmung nach ihrer Masse. Wie funkt. ein Det. z.B. Bethe-Bloch, Cherkov...

2/4

Nr 3

$$H = \frac{g^2}{4\pi\hbar c}\frac{\hbar c}{r}e^{-\frac{r}{R}}\,, \quad M = \int H e^{-\frac{i}{\hbar}\vec{q}\vec{r}}\,d^3r$$

$$\Rightarrow M = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\int_0^{\infty} \frac{g^2}{4\pi\hbar c}\frac{\hbar c}{r}e^{-\frac{r}{R}}e^{-\frac{i}{\hbar}\vec{q}\vec{r}}\, r^2\sin(\vartheta)\,dr\,d\vartheta\,d\varphi$$

$$= \frac{g^2}{2}\int_0^{\pi}\int_0^{\infty} r\sin(\vartheta)\, e^{-\frac{r}{R}-\frac{i}{\hbar}qr\cos(\vartheta)}\,dr\,d\vartheta$$

$$\partial_\vartheta e^{-\frac{i}{\hbar}qr\cos(\vartheta)} = \frac{i}{\hbar}qr\sin(\vartheta)\, e^{-\frac{i}{\hbar}qr\cos(\vartheta)}$$

$$\Rightarrow r\sin(\vartheta)\, e^{-\frac{i}{\hbar}qr\cos(\vartheta)} = \frac{\hbar}{iq}\partial_\vartheta e^{-\frac{i}{\hbar}qr\cos(\vartheta)}$$

$$\Rightarrow M = \frac{g^2}{2}\int_0^{\infty} e^{-\frac{r}{R}}\frac{\hbar}{iq}\left[e^{-\frac{i}{\hbar}qr\cos(\vartheta)}\right]_0^{\pi}dr$$

$$= \frac{g^2\hbar}{q}\left(\int_0^{\infty} e^{-\frac{r}{R}}\sin\left(\frac{qr}{\hbar}\right)dr\right)$$

$$= \frac{g^2\hbar}{q}\left(\underbrace{\left[-R\,e^{-\frac{r}{R}}\sin\left(\frac{qr}{\hbar}\right)\right]_0^{\infty}}_{=0-0=0} + R\int_0^{\infty} e^{-\frac{r}{R}}\cos\left(\frac{qr}{\hbar}\right)\frac{q}{\hbar}\,dr\right)$$

$$= \frac{g^2\hbar}{q}\left(R\left(\underbrace{\left[R\,e^{-\frac{r}{R}}\cos\left(\frac{qr}{\hbar}\right)\frac{q}{\hbar}\right]_0^{\infty}}_{=0-\left(-R\frac{q}{\hbar}\right)=R\frac{q}{\hbar}} - \frac{q^2R}{\hbar^2}\int_0^{\infty} e^{-\frac{r}{R}}\sin\left(\frac{qr}{\hbar}\right)dr\right)\right)$$

Vergleich d. Kammern:

$$M = \frac{g^2\hbar}{q}\cdot\left(\frac{R^2\frac{q}{\hbar}}{1+\frac{q^2R^2}{\hbar^2}}\right)\,, \quad g^2 = 4\pi\hbar c\alpha\,, \quad R = \frac{\hbar}{mc}$$

$$\Rightarrow M = \frac{4\pi\hbar^2c\alpha}{q}\left(\frac{\frac{\hbar q}{m^2c^2}}{1+\frac{q^2}{m^2c^2}}\right)$$

$$= 4\pi\alpha\left(\frac{\hbar^2c}{q}\,\frac{\hbar q}{m^2c^2+q^2}\right) = 4\pi\alpha\,\frac{\hbar c^2}{m^2c^4+q^2c^2}$$

7/3

Experimentalphysik 5 Blatt 4 Julian Benjamin

7+5

Nr. 1

a) Proton: $I_3 = \frac{1}{2} \Rightarrow I = \frac{1}{2}$, Neutron: $I_3 = -\frac{1}{2} \Rightarrow I = \frac{1}{2}$

$\Rightarrow$

	np	pn	nn	pp
I_3	0	0	-1	1

, $s \in \{-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}\} \Rightarrow S \in \{-1, 0, 1\}$ ✓

b) Ohne Gesamtspin ist die Energie d. gebundenen Zustände zu hoch, um von dem anziehenden N-N-Potential überwunden werden zu können. ✓
⇒ ~~Energie~~ Potential reicht nicht aus.

c) Mit $S=1$ kommen Tensorkraft und spin-spin-WW hinzu, sodass hier die Energie für gebundene Zustände ausreicht. (Deuteron) ✓

~~8~~ 3

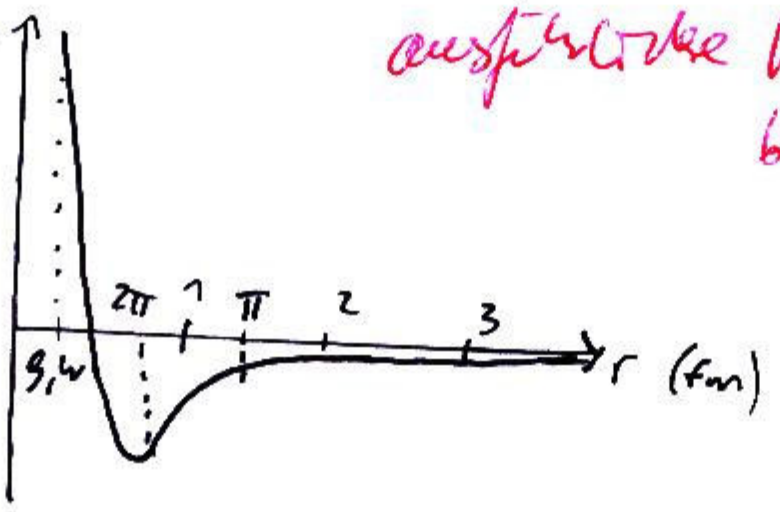
Nr. 2

a) $\lambda \approx \frac{\hbar c}{m c^2} \Rightarrow$ $1\pi: 1{,}4\,\text{fm}$, $2\pi: 0{,}7\,\text{fm}$, ~~$g/\omega: 0{,}35\,\text{fm}$~~ 5,5

ausführliche Rechnung, bitte!

$g: 0{,}256\,\text{fm}$
$\omega: 0{,}253\,\text{fm}$

b)



Kariertes Papier! −0,5

c) ω und g sind viel schwerer als π und haben Spin 1, während π Spin 0 hat.
⇒ ω und g heben Tensorkräfte auf und sind sehr kurzreichweitig. ✓

6

Nr 3

a) $B_{Co} = (27 \cdot (1{,}0073\,u + 5{,}486 \cdot 10^{-4}\,u) + 32 \cdot 1{,}0087\,u - 58{,}9332002\,u) \cdot 931{,}5 \frac{MeV}{u}$
$= 517{,}372\,MeV$

$B_{Cm} = (96 \cdot (1{,}0073\,u + 5{,}486 \cdot 10^{-4}\,u) + 151 \cdot 1{,}0087\,u - 247{,}0703468\,u) \cdot 931{,}5 \frac{MeV}{u}$
$= 1853\,MeV$

$B_{Co} \overset{!}{=} (a_1 \cdot 59 - a_2 \cdot 59^{2/3})c^2 - 0{,}712 \frac{MeV}{} (27(27-1) \cdot 59^{-1/3}) - 23{,}6 \frac{MeV}{} (59 - 2 \cdot 27)^2 59^{-1}$
$= 59 a_1 c^2 - 59^{2/3} a_2 c^2 - 138{,}391\,MeV \overset{!}{=} 517{,}372\,MeV$
$\Rightarrow a_1 = 11{,}1136 \frac{MeV}{c^2} + 59^{-1/3} a_2$
($a_5 = 0$, da in beiden Fällen A ungerade!) $\Rightarrow$

$$B_{Cm} \overset{!}{=} (a_1 \cdot 247 - a_2 \cdot 247^{2/3})c^2 - 0{,}712\,\frac{MeV}{c^2}(96(96-1)\cdot 247^{-1/3} - 236\,\frac{MeV}{c^2}(247-2\cdot 96)^2 \cdot 247^{-1}$$

$$= 247 a_1 c^2 - 247^{2/3} a_2 c^2 - 1323{,}95\,MeV \overset{!}{=} 1853\,MeV$$

$$\Rightarrow \quad a_2 = 247^{1/3} a_1 - 80{,}701\,\frac{MeV}{c^2}$$

$$a_1 = 59^{-1/3} a_2 + 11{,}1136\,\frac{MeV}{c^2}$$

$$= 59^{-1/3}\left(247^{1/3} a_1 - 80{,}701\,\frac{MeV}{c^2}\right) + 11{,}1136\,\frac{MeV}{c^2}$$

$$= \left(\frac{247}{59}\right)^{1/3} a_1 - 9{,}616\,\frac{MeV}{c^2}$$

$$= \left(1 - \left(\frac{247}{59}\right)^{1/3}\right)^{-1} \cdot (-9{,}616)\,\frac{MeV}{c^2} = 15{,}72\,\frac{MeV}{c^2}$$

$$\Rightarrow \quad a_2 = 247^{1/3} \cdot 15{,}72\,\frac{MeV}{c^2} - 80{,}701\,\frac{MeV}{c^2} = 17{,}935\,\frac{MeV}{c^2}$$

b) $$\frac{dB}{dZ} = a_3(-2Z+1)A^{-1/3} + 4a_4 - 8a_4 Z \cdot A^{-1} \overset{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow \quad Z = \left(a_3 A^{-1/3} + 4a_4\right) \Big/ \left(-2a_3 A^{-1/3} - 8a_4 A^{-1}\right)$$

$$\Rightarrow \quad Z\big|_{A=153,\, a_3 = 0{,}712\frac{MeV}{c^2},\, a_4 = 23{,}6\frac{MeV}{c^2}} = \frac{0{,}712\,\frac{MeV}{c^2}\cdot 153^{-1/3} + 4\cdot 23{,}6\,\frac{MeV}{c^2}}{-2\cdot 0{,}712\,\frac{MeV}{c^2}\cdot 153^{-1/3} - 8\cdot 23{,}6\,\frac{MeV}{c^2}\cdot\frac{1}{153}}$$

$$= 63{,}01$$

$$\frac{d^2B}{dZ^2} = -\frac{2a_3}{A^{1/3}} - \frac{8a_4}{A} < 0 \quad \Rightarrow \underline{\underline{Z = 63}} \text{ Maximum}$$

Exphy 5 Blatt 5 Julian Bergmann 13,5

Nr. 1

1) $R_e = \sigma_e \, l_a \, \frac{N_A}{A} (g_B x)$ 6

$= 2 \cdot 10^{-30} m^2 \cdot 10^5 \frac{1}{s} \cdot (235)^{-1} \frac{mol}{g} \cdot 0{,}1 \frac{kg}{m^2} \cdot N_A = 0{,}051252 \frac{1}{s}$ ✓

$R_c = \sigma_c \, l_a \, \frac{N_A}{A} (g_B x)$

$= 7 \cdot 10^{-27} m^2 \cdot 10^5 \frac{1}{s} \cdot (0{,}235)^{-1} \frac{mol}{kg} \cdot 0{,}1 \frac{kg}{m^2} \cdot N_A = 179{,}383 \frac{1}{s}$ ✓

$R_f = \sigma_f \, l_a \, \frac{N_A}{A} (g_B x)$

$= 2 \cdot 10^{-26} m^2 \cdot 10^5 \frac{1}{s} (0{,}235)^{-1} \frac{mol}{kg} \cdot 0{,}1 \frac{kg}{m^2} N_A = 512{,}523 \frac{1}{s}$ ✓

$I = I_a - R_e - R_c - R_f = 105 \frac{1}{s} - 0{,}051 \frac{1}{s} - 179{,}3 \frac{1}{s} - 512{,}5 \frac{1}{s} \approx 99308 \frac{1}{s}$ ✓

2) $R_f = 512{,}523 \frac{1}{s}$ (siehe 1)) ✓

3) $\phi_c = \frac{R_c}{A} = \frac{512{,}523 \frac{1}{s} \cdot 10^{-4}}{4\pi \, 100 m^2} = 4{,}079 \frac{A}{m^2 s} \cdot 10^{-5}$ ✓

Nr. 3

5,5

a) $Ze = \int_{-\infty}^{\infty} d^3r \, eA \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) = eA \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} r^2 \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) \underbrace{\sin(\vartheta)}_{\text{Jacobi}} dr \, d\vartheta \, d\varphi$

$= 4\pi eA \int_0^{\infty} r^2 \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) dr = 4\pi eA \cdot \frac{1}{2} \sigma^3 \Gamma(3/2) = eA \pi^{3/2} \sigma^3$

$\Rightarrow A = \frac{Z}{\pi^{3/2} \sigma^3}$ ✓

b) $\langle r^2 \rangle = \frac{1}{Ze} \int_{-\infty}^{\infty} d^3r \, r^2 \, eA \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) = \frac{1}{\pi^{3/2}\sigma^3} \cdot 4\pi \int_0^{\infty} r^4 \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) dr$

$= \frac{4}{\pi^{1/2}\sigma^3} \cdot \frac{1}{2} \sigma^5 \Gamma(5/2) = \frac{3}{2} \sigma^2$ ✓

c) $F(\vec{q}^2) = \frac{1}{Ze} \int_{-\infty}^{\infty} d^3r \, \exp(-i\vec{q}\vec{r}) \, Ae \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right)$

$= \frac{1}{\pi^{3/2}\sigma^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} r^2 \sin(\vartheta) \exp\left(-iqr\cos(\vartheta) - \frac{r^2}{\sigma^2}\right) dr \, d\vartheta \, d\varphi$

$= -\frac{2\pi}{\pi^{3/2}\sigma^3} \int_1^{-1} \int_0^{\infty} r^2 \exp\left(-iqr\cos(\vartheta) - \frac{r^2}{\sigma^2}\right) dr \, d\cos(\vartheta)$

$= \frac{2\pi}{\pi^{1/2}\sigma^3} \int_0^{\infty} r \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) \left(e^{-iqr} - e^{iqr}\right) \cdot \left(\frac{1}{-iq}\right) dr$

$= \frac{2i}{\pi^{1/2}\sigma^3 q} \int_0^{\infty} r \left(\exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2} - iqr\right) - \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2} + iqr\right)\right) dr$

$= \frac{2i}{\pi^{1/2}\sigma^3 q} \int_0^{\infty} r \left(\exp\left(-\left(\frac{r}{\sigma} + \frac{1}{2}iq\sigma\right)^2\right) - \exp\left(-\left(\frac{r}{\sigma} - \frac{1}{2}iq\sigma\right)^2\right)\right) \exp\left(-\frac{1}{4}q^2\sigma^2\right) dr$

$= \frac{2i}{\pi^{1/2}\sigma^3 q} \left(\int_0^{\infty} \left(\sigma \frac{r}{\sigma} + \frac{1}{2}iq\sigma - \frac{1}{2}iq\sigma\right) \exp\left(-\left(\frac{r}{\sigma} + \frac{1}{2}iq\sigma\right)^2\right) dr \right.$

$\left. - \int_0^{\infty} \left(\sigma \frac{r}{\sigma} - \frac{1}{2}iq\sigma + \frac{1}{2}iq\sigma\right) \exp\left(-\left(\frac{r}{\sigma} - \frac{1}{2}iq\sigma\right)^2\right) dr \right) e^{-\frac{q^2\sigma^2}{4}}$

$= \frac{2i}{\pi^{1/2}\sigma^3 q} e^{-\frac{q^2\sigma^2}{4}} \left(\sigma^2 \int_0^{\infty} x e^{-x^2} dx - \int_0^{\infty} \frac{1}{2} iq\sigma^2 e^{-x^2} dx - \sigma^2 \int_0^{\infty} x e^{-x^2} - \sigma^2 \int_0^{\infty} \frac{1}{2} iq\sigma e^{-x} dx \right)$

$= \frac{2i}{\pi^{1/2}\sigma^3 q} \exp\left(-q^2\sigma^2 \cdot \frac{1}{4}\right) \left(-iq\sigma \frac{\sqrt{\pi}}{2}\right) = \exp\left(-q^2\sigma^2 \cdot \frac{1}{4}\right)$

$$-6\frac{\partial}{\partial q^2}F(q^2)\Big|_{q^2=0} = -6\cdot-\frac{\sigma^2}{4}\exp\left(-\frac{\sigma^2 q^2}{4}\right) = \frac{3}{2}\sigma^2$$ ✓

d) ~~^4He : Steigung $\approx -\frac{1}{5} \Rightarrow \sqrt{\langle r^2\rangle} = \sqrt{-6\cdot(-\frac{1}{5})} = \sqrt{\frac{6}{5}}$~~

~~^6Li : $\frac{1}{10}$ $\approx -\frac{1}{5} \Rightarrow$~~

$F = \exp\left(-\frac{q^2\sigma^2}{4}\right)$: $^4He \Rightarrow 0{,}1 = \exp\left(-\frac{5\sigma^2}{4}\right) \Rightarrow \sigma^2 = -\frac{4}{5}\ln(0{,}1)$

$\Rightarrow \langle r^2\rangle = \frac{3}{2}\cdot\left(-\frac{4}{5}\ln(0{,}1)\right) \approx 2{,}76$ ✓ Einheit?

$^6Li \Rightarrow 10^{-3} = |\exp\left(-\frac{4\sigma^2}{4}\right)|^2 \Rightarrow \sigma^2 = -\ln(10^{-3/2})$

$\Rightarrow \langle r^2\rangle = \frac{3}{2}\cdot(-\ln(10^{-3/2})) \approx 3{,}45$ ✓

-0,5

Nr. 2

magische Zahl	besetzte Zustände
8	$\rightarrow \{1s_{1/2}, 1p_{3/2}, 1p_{1/2}\}$
20	$\rightarrow \ldots \cup \{1d_{5/2}, 2s_{1/2}, 1d_{3/2}\}$
28	$\rightarrow \ldots \cup \{1f_{7/2}\}$
50	$\rightarrow \ldots \cup \{2p_{3/2}, 1f_{5/2}, 2p_{1/2}, 1g_{9/2}\}$
82	$\rightarrow \ldots \cup \{1g_{7/2}, 2d_{5/2}, 1h_{11/2}, 2d_{3/2}, 3s_{1/2}\}$
126	$\rightarrow \ldots \cup \{1h_{9/2}, 2f_{7/2}, 1i_{13/2}, 3p_{3/2}, 3p_{1/2}\}$

2 ✓

Voll besetzte Zustände $\Rightarrow$ Parität & Spin durch überzähliges Teilchen.

$P = (-1)^{2(n-1)+l}$

$\Rightarrow$ ^{15}O $(8p\,7n) \Rightarrow$ Loch $1p_{1/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(1-1)+1} = -1 \Rightarrow \frac{1}{2}^-$ ✓

^{15}N $(7p\,8n) \Rightarrow$ Loch $1p_{1/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(1-1)+1} = -1 \Rightarrow \frac{1}{2}^-$ ✓

^{17}O $(8p\,9n) \Rightarrow$ Nukleon $1d_{5/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(2-1)+2} = +1 \Rightarrow \frac{5}{2}^+$ ✓ 1,5

^{17}F $(9p\,8n) \Rightarrow$ Nukleon $1d_{5/2} \Rightarrow P = +1 \Rightarrow \frac{5}{2}^+$ ✓

^{39}K $(19p, 20n) \Rightarrow$ Loch $1d_{3/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(2-1)+2} = +1 \Rightarrow \frac{3}{2}^+$ ✓

^{41}Ca $(20p, 27n) \Rightarrow$ Nukleon $1f_{7/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(3-1)+3} = -1 \Rightarrow \frac{7}{2}^-$ ✓

^{207}Pb $(82p, 125n) \Rightarrow$ Loch $3p_{1/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(1-1)+1} = -1 \Rightarrow \frac{1}{2}^-$ ✓

^{209}Pb $(82p, 127n) \Rightarrow$ Nukleon $1i_{13/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(6-1)+6} = +1 \Rightarrow \frac{13}{2}^+$

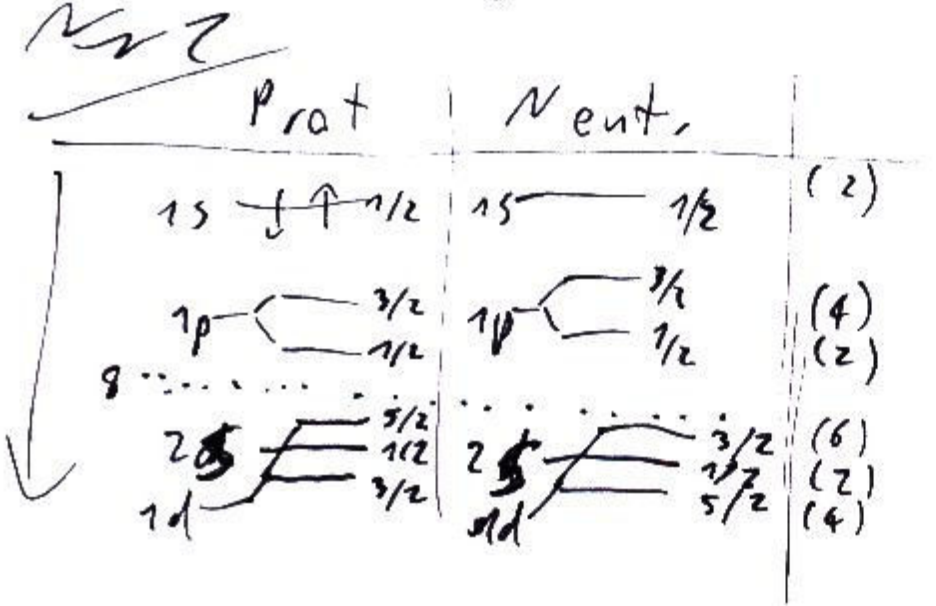
$2g_{9/2} \Rightarrow P = +1$ $\frac{9}{2}^+$ $i = 7$

Spinpar. erwartet	$1/2^+$ ✓	$3/2^+$	$7/2^-$ ✓	$7/2^-$	$3/2^-$	$5/2^-$
Literaturwert	$1/2^+$ ✓	$1/2^+$	$5/2^-$	$5/2^-$ f	$3/2^-$ f	$3/2^-$ ✓
Material	$^{17}O\,2s_{1/2}$	$^{17}O\,1d_{3/2}$	$^{17}O\,1f_{7/2}$	$^{39}K\,1f_{7/2}$	$^{39}K\,2p_{3/2}$	$^{39}K\,1f_{5/2}$

$\Rightarrow$ Abweichung: Nicht alle Zustände kombinierbar $\Rightarrow$ Auswahlregeln

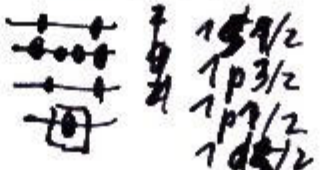
0,5

Blatt 5 Besprechung



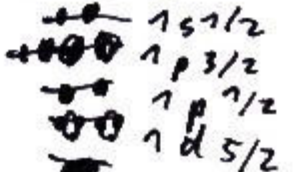
^{17}O Grundzust.

$8p\,9n$



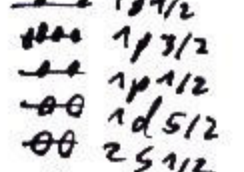
$\Rightarrow 1d\frac{5}{2} \hat{=} 7^{+}: \frac{5}{2}^{+}$

1. A-Zust.



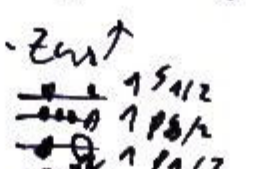
$\Rightarrow 2s\,1/2 \hat{=} \frac{1}{2}^{+}$

2A - Zust



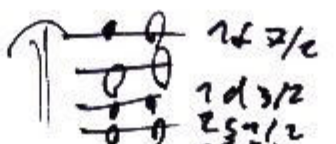
$\Rightarrow 1d\frac{3}{2} \hat{=} \frac{3}{2}^{+}$

3Δ - Zust



$\Rightarrow 1p\,1/2 \hat{=} \frac{1}{2}^{-}$

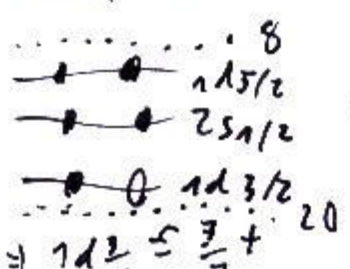
3A Zust.



$1f\frac{7}{2} \Rightarrow \frac{7}{2}^{-}$

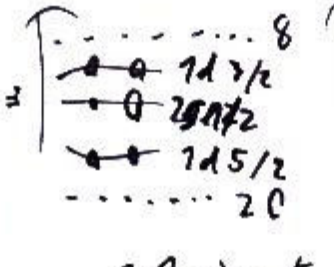
^{39}K Grundzust.

$14p\,20n$



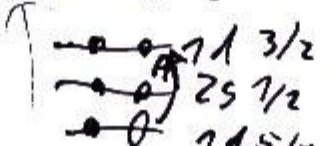
$\Rightarrow 1d\frac{3}{2} \hat{=} \frac{3}{2}^{+}$

1A-Zust



$2s\frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{2}^{+}$

2A Zust



$1d\frac{5}{2} \Rightarrow \frac{5}{2}^{+}$

Exphy 5 Blatt 6 Juliana Bergmann

10,5

Nr 1

a) $S = \frac{P}{A}$ ⇒ A von Kugel mit $r = 1\,AU$ 5,5

⇒ $P = SA = 1{,}4\frac{kW}{m^2} \cdot 4\pi \cdot (1{,}496 \cdot 10^{11}\,m)^2 = 3{,}937 \cdot 10^{23}\,kW$ -0,5

b) $R = \frac{S}{E_G} = \frac{3{,}937 \cdot 10^{26}\,kW}{26{,}72\,MeV} = 9{,}197 \cdot 10^{37}\,\frac{1}{s}$ ✓

$M_H = R \cdot 4 m_p = 9{,}197 \cdot 10^{37}\frac{1}{s} \cdot 4 \cdot 1{,}007944 = 6{,}157 \cdot 10^{11}\,kg = 615{,}7 \cdot 10^6\,\frac{t}{s}$ ✓

$M_{He} = R \cdot m_\alpha = 9{,}197 \cdot 10^{37}\frac{1}{s} \cdot 4{,}002602\,u = 6{,}113 \cdot 10^{11}\,kg = 611{,}3 \cdot 10^6\,\frac{t}{s}$ ✓

c) $L_\odot = 2{,}4 \cdot 10^{45}\,\frac{eV}{s}$ ⇒ $\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{L_\odot t}{c^2} = \frac{2{,}4 \cdot 10^{45}\frac{eV}{s} \cdot 31556952\,s}{c^2} = 7{,}349 \cdot 10^{17}\,\frac{kg}{a}$

d) $m_\odot = 1{,}988 \cdot 10^{30}\,kg$ ⇒ $T = \frac{m_\odot}{\Delta m} = \frac{1{,}988 \cdot 10^{30}\,kg}{7{,}349 \cdot 10^{17}\frac{kg}{a}} = 1{,}474 \cdot 10^{13}\,a$ f -2

e) $t = \frac{s}{v_n} \approx \frac{s}{c} = \frac{1{,}496 \cdot 10^{11}\,m}{c} = 499\,s$ ✓

$S_N = \frac{N}{A} = \frac{R \cdot 2}{4\pi R^2} = \frac{2 \cdot 9{,}197 \cdot 10^{37}\,m}{4\pi \cdot (1{,}496 \cdot 10^{11}\,m)^2} = 6{,}54 \cdot 10^{14}\,\frac{1}{m^2 s} = 6{,}54 \cdot 10^{10}\,\frac{1}{cm^2 s}$ ✓

Nr 2

a) $V_c = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1 \cdot 1 \cdot e^2}{4\pi\varepsilon_0 \cdot 2fm} = 719{,}98\,keV$ ✓ 5

b) $F(v) = 4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$

Maximum ⇒ $\partial_v F = 0 = 4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2}\left(2v\exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) - 2v^3\frac{m}{2kT}\exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)\right)$

⇒ $0 = v - v^3\frac{m}{2kT}$ $\xrightarrow{v \neq 0}$ $0 = 1 - v^2\frac{m}{2kT}$ ⇒ $v = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$ ✓

⇒ $T = \frac{mv^2}{2k} = \frac{E}{k} = \frac{V_c}{k} = 8{,}355 \cdot 10^9\,K$ ✓

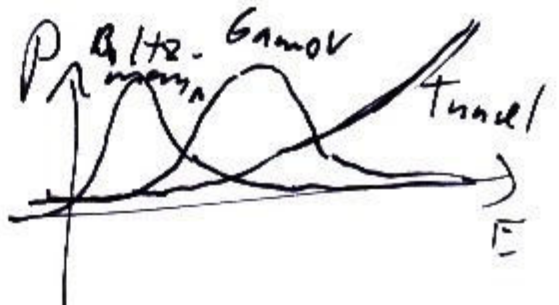
c) $\int_{V_c}^{\infty} f(E)\,dE = \int_{V_c}^{\infty} \frac{8\pi\sqrt{m}}{(2\pi kT)^{3/2}} E \exp\left(-E \cdot \frac{1}{kT}\right) dE = \frac{8\pi\sqrt{m}}{(2\pi kT)^{3/2}}\left(-\frac{\partial}{\partial\left(\frac{1}{kT}\right)} kT\, e^{-\frac{V_c}{kT}}\right)$

$= \frac{8\pi\sqrt{m}}{(2\pi kT)^{3/2}} e^{\left(-V_c \cdot \frac{1}{kT}\right)}\left(k^2T^2 + kTV_c\right) \approx 19{,}4 \cdot 10^{-278}$ ✓

$T = 10^7\,K \approx 6{,}4 \cdot 10^{-7}$ $\approx 6{,}3 \cdot 10^{-278}$ $\approx 7 \cdot 10^5\,eV$ $\approx 6 \cdot 10^7\,eV$

d) $|Ta|^2 \approx |e^{-2/\sqrt{E_{kin}}}|^2 \approx |0{,}999|^2 \approx 1$ f

$P \sim e^{-G} \sim \exp\left(\frac{-1}{\sqrt{E_{kin}}}\right) = \exp\left(-\frac{2\pi z_1 z_2 e^2}{\hbar v}\right)$



Exphy 5 Blatt 7 Julian Bergmann

Nr 1

a) $R(t) = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt} N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}$

Halbwertszeit $\Rightarrow 2 = e^{\lambda T_{1/2}} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$

$R_0 = 15 \frac{\text{Zer}}{\text{ming}} \Rightarrow e^{-\lambda t_{max}} = \frac{(6,7 \pm 0,2) \frac{\text{Zer}}{\text{ming}}}{15 \frac{\text{Zer}}{\text{ming}}}$

$\Rightarrow t = \ln\left(\frac{15}{6,7 \pm 0,2}\right) \cdot \frac{T_{1/2}}{\ln(2)}$

$T_{1/2} = 5730\,a \Rightarrow t = \ln\left(\frac{15}{6,7 \pm 0,2}\right) \cdot \frac{5730\,a}{\ln(2)} = (6662 \pm 250)\,a$

9.5/15

2./2.

b) $\Rightarrow$ Tod vor ca. 6660 a, also ca. 4650 BC

c) 1. Todeszeitpunkt $\neq$ Holzschlag $\Rightarrow$ Knochenanalyse?

2. ^{14}C-Konzentrationsschwankung $\Rightarrow$ Gegenrechnung diat. Effekte (falscher Anfangszeitpunkt, Sonnenaktivität, Mensch (Industr. Kriege etc))

3. Zerfallmessungsungenauigkeit $\Rightarrow$ Massenspektrometer ($\Rightarrow$ Dichte)

1.5/2.

Nr 2

a) $A = N\lambda = N\frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$, $E_{abs} = D \cdot m_{med} = 400 \frac{J}{kg} \cdot 0,02\,kg = 8\,J$

Um Erholung d. Zellen zu vermeiden: Energie-Abgabe in 1h.

$0,24 \cdot 290\,keV \cdot N\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot 1h = 8\,J$

$\Rightarrow N = \frac{4,992 \cdot 10^{-19} eV}{2 \cdot 10^5 eV} \cdot \frac{1}{1h} \cdot \frac{192,48h}{\ln(2)} = 2,89 \cdot 10^{17}$

$\Rightarrow A_0 = N T_{1/2} = 1,04 \cdot 10^{15} \frac{1}{h} = 2,89 \cdot 10^{12}\,Bq$

2.0/2.5

b) $H_{eff} = H_t \cdot w_t = w_t \cdot D_{med} = 0,05 \cdot 1 \cdot 400 \frac{J}{kg} = 20\,Sv$

1.5/1.5

Nr 3

a) Verlustrate: $P_V = \phi dV = \phi \cdot 4\pi r^2$, Produktion: $P_p = R\,c(V)$

$R = w n_b = \sigma \phi n_b = \sigma \phi \frac{\rho_b}{A} N_L \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow P_p = \sigma \phi \frac{\rho_b}{A} N_L \frac{4}{3}\pi r^3 c(V)$

kritische Masse bei: $P_V = P_p \Rightarrow 1 = \sigma \frac{\rho_b}{A} N_L c(V) \cdot \frac{1}{3} r$

$\Rightarrow R = \frac{3A}{\sigma \rho_b N_L c(V)} = \frac{3 \cdot 235 \frac{g}{mol}}{2 \cdot 10^{-24} cm^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol} \cdot 1,95 \frac{g}{cm^3} \cdot 2,5} = 12,36\,cm$

$\Rightarrow m_{krit} = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 = 18,95 \frac{g}{cm^3} \cdot 7909,13\,cm^3 = 149,88\,kg$

2.0/3.0

b) Moderator $\Rightarrow$ höherer Wirkungsquerschnitt

Reflektor $\Rightarrow$ geringere Verlustrate

0.5/1.0

Nr 4

a) Während Betrieb: $^{236}Xe \rightsquigarrow$ (Spaltg) $^{135}J \rightsquigarrow$ (Zerfall) $^{135}Xe \rightsquigarrow$ (th. Neutronen) ^{136}Xe

Herunterfahren: keine thermischen Neutronen mehr für $^{135}Xe \Rightarrow {}^{136}Xe$

0.5/0.5

b) ^{135}Xe als zusätzlicher Moderator $\Rightarrow$ muss mit berücksichtigt werden!

0.5/0.5

Exphy 5 Blatt 8 Julian Bergmann (6)

Aufg 1

a) 1. $uud + u\bar{d} \to u\bar{s} + uds$ ⇒ Ladung unterschiedlich ✓ 3

2. $uud \to udd + u\bar{d}$
$p \to n + \pi^+$ ⇒ Energie unterschr. ✓

3. $uds \to u\bar{d} + e^- + \bar{\nu}_e$
$\Lambda^0 \to \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ ⇒ Baryonenzahl unterschr. ✓

4. $\nu_\mu uud \to udd + \mu$
$\nu_\mu + p \to \mu^+ + n$ ⇒ Leptonenzahl unterschr ✓

5. $e^- \to \gamma + e^-$ ⇒ Energie- und Impulserhaltung verletzt ✓

b) 6. Starke WW. ✓ 7. Elektromagn. WW. ✓

8. Starke WW. ✓ 9. Schwache WW. ✓

10. Schwache WW. ✓ 11. Schwache WW. ✓

12. Elektromagn. WW. ✓

Aufg 2 2

3 Arten von Fermionen als Bausteine eines Baryons = "quarks" ✓

Isospindublett: $S=0$ (u, d), Isospinsingulett: $S=-1$ (s)

Zu wissy u, d, s = flavor, Baryonenzahl $B = \frac{1}{3}$

el. Ladg $\frac{Q}{e} = \frac{1}{2}(B+S) + I_3 = \frac{1}{2}Y + I_3$ (Y: Hyperladg $B+S+C\ldots$)

⇒ Quarkladungen drittelzahlig

⇒ Quarks keine „freien Teilchen", in Hadronen durch starke WW eingeschlossen (confined)

3 Quarks in 3 flavor ⇒ $3^3 = 27$ kombinationen

Aufg 3 1

a) kin. E. zur Überwindg d. Coulomb-Barriere: $V_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{1\,fm} = 1{,}44\,MeV$ ✓ 1

b) 1. inelastisch, wenn kin. E. > 290 MeV ($p \to p = p \to p \to \mu$) ?

2. elastisch ⇒ Wirkungsquerschnitt erhalten ?

$T = E_1 - m_p = \frac{s - 2m_p^2}{m_p} - m_p = 7m_p - m_p \approx 5{,}63\,GeV$ f

2 gesetzt

pdg. L 5L. g 0V

Exphy 5 Blatt 9 Julian Bergmann (13)

Nr 1

a) 1. $p+p \to \Lambda^0 + K^0 + p + \pi^+ \Rightarrow p[uud]+p[uud] \to \Lambda^0[uds]+K^0[d\bar{s}]+p[uud]+\pi^+[u\bar{d}]$ 4,5
⇒ würde erlaubt sein (st. WW), allerdings: $1876 \frac{MeV}{c^2} \to 2692 \frac{MeV}{c^2}$
⇒ nur mit großer Energie-Zufuhr möglich!

2. $\Lambda^0 \to \pi^+ + \pi^- \Rightarrow \Lambda^0[uds] \to \pi^+[u\bar{d}] + \pi^-[\bar{u}d] \Rightarrow B=1 \to B=0 \Rightarrow$ Baryonzahl verletzt
⇒ nicht erlaubt. außerdem: $S=1 \to S=0 \Rightarrow$ schw. WW & $I_3=0 \to I_3=0 =$ st. WW
⇒ nicht erlaubt

3. $\pi^- + p \to n + \pi^0 \Rightarrow \pi^-[\bar{u}d]+p[uud] \to n[udd]+\pi^0[(u\bar{u}+d\bar{d})/\sqrt{2}]$
$S=0 \to S=0$ & $I_3=-\frac{1}{2} \to I_3=-\frac{1}{2} \Rightarrow$ erlaubt (st. WW)

4. $\pi^+ + p \to p + \pi^+ + \pi^- + \pi^0 \Rightarrow$ Ladung nicht erhalten & Energiezufuhr notwendig
⇒ nicht erlaubt

5. $\gamma + n \to \pi^- + p \Rightarrow \gamma + n[udd] \to \pi^-[d\bar{u}] + p[uud] \Rightarrow S=0 \to S=0$ & $I_3=-\frac{1}{2} \to I_3=-\frac{1}{2}$ & $B=1 \to B=1$
⇒ erlaubt (st. WW)

6. $n \to e + p + \bar{\nu}_e \Rightarrow n[udd] \to e + p[uud] + \bar{\nu}_e \Rightarrow B=1 \to B=1$ & $L=0 \to L=0$
⇒ erlaubt (schw. WW)

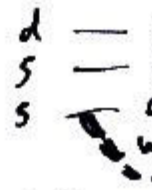
7. $\pi^- \to \mu^- + \nu_\mu \Rightarrow \pi^-[\bar{u}d] \to \mu^- + \nu_\mu \Rightarrow L=0 \to L=2$
⇒ verboten, Leptonenzahl verletet!

b) Zerfall über mehrere Stufen: $\Xi^- \to \Lambda + \pi^-$ (schw. WW) $S=2 \to S=-1$
$\Lambda \to n^0 + \pi^0$ (schw. WW) $S=-1 \to S=0$

Nr 2

3,5

a) Ereignisrate: $\dot{N} = \sigma \cdot \mathcal{L}$ (Luminosität)



$\sigma = \frac{4\pi\alpha^2}{3E_{cm}^2}(\hbar c)^2 \overset{*}{=} 86{,}8 \frac{nbarn}{E^2/GeV}$ *: hohe Energien, hier $E = 2{\cdot}5\,GeV$

$\Rightarrow \dot{N}_{\mu^+\mu^-} = 86{,}8 \frac{nbarn}{100} \cdot 5 \cdot 10^{30} \frac{1}{cm^2 s} = 4{,}34 \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$

10 GeV ⇒ u,d,s,c-Quarks ⇒ $R = \frac{10}{3}$ ⇒ $\dot{N}_{Hadr.} = \frac{10}{3} \cdot \dot{N}_{\mu^+\mu^-} = 4{,}59 \cdot 10^{-2} \frac{1}{s}$

b) 500 GeV ⇒ $R = 5$, 10% stat Fehler ⇒ 100 Ereignisse Hadronen

$\dot{N}_{Hadr.} = 5\sigma_{\mu^+\mu^-} \cdot \mathcal{L} \cdot t$ $(\Rightarrow 100 = 5 \cdot 86{,}8 \frac{nbarn}{100} \cdot \mathcal{L} \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60\,s)$ (25 events)

$\Rightarrow \mathcal{L} = 3{,}2 \cdot 10^{30} \frac{1}{cm^2 s}$ $(8 \cdot 10^{33} \frac{1}{cm^2 s})$

Nr 3

3

1) $\sigma(pp) + \sigma(K^- n) + \sigma(\pi^+ p) = \sigma(uuduud) + \sigma(s\bar{u}udd) + \sigma(u\bar{d}uud)$
hohe E: $\sigma(qq) = \sigma(q\bar{q})$ ⇒ $\ldots = \sigma(3u\,2d\,1s) = \sigma(uds\,uud) = \sigma(\Lambda p)$

2) $\sigma(pp) + \sigma(K^- p) - \sigma(\pi^- p) + 2(\sigma(K^+ n) - \sigma(K^+ p))$
$= \sigma(uuduud) + \sigma(s\bar{u}uud) - \sigma(\bar{u}duud) + 2(\sigma(u\bar{s}udd) - \sigma(u\bar{s}uud))$
$= \sigma(2u3ds) = \sigma(dds\,uud) = \sigma(\Sigma^- p)$

3) $\sigma(pp) + \sigma(K^- p) - \sigma(\pi^- p) = \sigma(uuduud) + \sigma(s\bar{u}uud) - \sigma(\bar{u}duud) = \sigma(4u\,ds) = \sigma(4dus)$
$= \sigma(dds\,udd) = \sigma(\Sigma^- n)$

⇒

Aufg 4

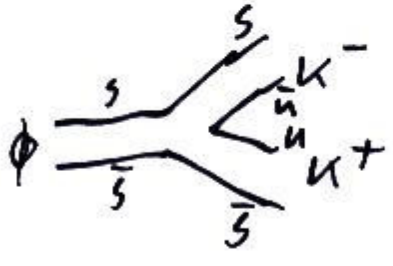
a) Phasenraum: $m_\phi \to 2m_K \Rightarrow 1020\,MeV \to 1000\,MeV \Rightarrow \Delta E_K = 20\,MeV$

$m_\phi \to 3m_\pi \Rightarrow 1020\,MeV \to 420\,MeV \Rightarrow \Delta E_\pi = 600\,MeV$

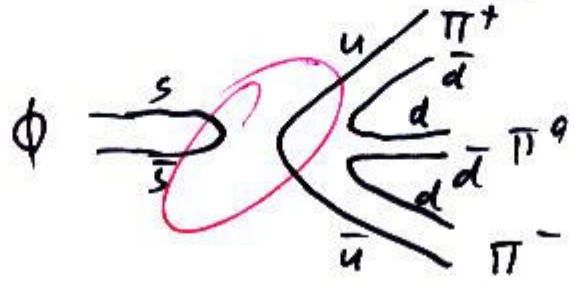
$\Rightarrow \frac{W_K}{W_\pi} = \frac{20\,MeV}{600\,MeV} = \frac{1}{30} \Rightarrow 30 W_K = W_\pi$ & $W_K + W_\pi = 1$

$\Rightarrow W_\pi = 30(1 - W_\pi) \Leftrightarrow 31 W_\pi = 30 \Rightarrow \underline{W_\pi = \frac{30}{31} \approx 96{,}8\%} \Rightarrow \underline{W_K = 3{,}2\%}$

b)



$\phi \to K^+K^-$

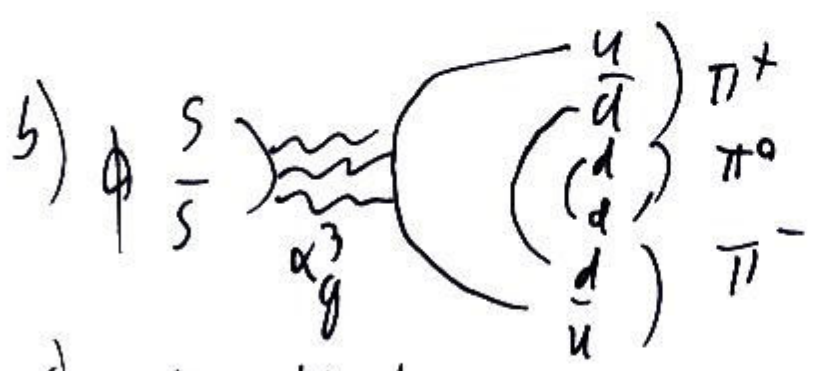


$\phi \to \pi^+\pi^0\pi^-$

← nicht verbundene Quarklinie ⇒ unterdrückt!

c) Zerfall erfolgt leptonisch oder mit Annihilation.
Da deren Quarklinien nicht verbunden sind, wird dieser Zerfall unterdrückt ⇒ Lange Lebensdauer.
Andere Zerfallsarten nur mit Energieaufwand!

wieso?



$r\bar{b}, g\bar{r}$ (Gluon: Farbe & Antifarbe, $P_G = 1$
ϕ Parität: $P_\phi = -1$)

1) eigentlicher Prozess erzeugt zwei(!) Masse
⇒ zu hohe benötigte Energie