

9/14
656.04m

Nr. 1

a) $l = v \cdot \tau = 0,994c \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} s \approx 6,55,586 m$ ✓

b) $l' = v \cdot \tau \cdot \gamma = 0,994c \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} s \cdot (1 - 0,994^2)^{-1/2} = 5993,65 m$ ✓ 599 8m

warum erreichen trotzdem ~~Myron~~ den Boden? ✓

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

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

relativistisch: $\frac{t}{l} = \frac{20000}{5994} \approx 3,3 \Rightarrow 2^{-3,3} \approx 10,75 \%$

\Rightarrow relativistisch erreichen noch ca. 10,75% den Erdboden, klassisch etwa 0.

$\frac{t}{l} \hat{=} \frac{\text{Zeit}}{\text{Länge}}$ ~~falsch~~

~~3/3~~

3/3

Nr. 2

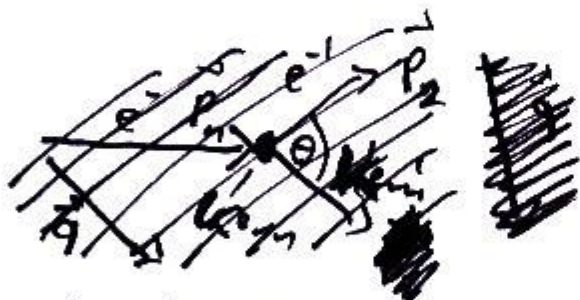
a) $E = (4p - \alpha)c^2 = (4 \cdot 1,00794u - 4,002602u) \cdot 9,31,5 \frac{MeV}{c^2} \cdot c^2 = 27,16 MeV$ ✓

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!)

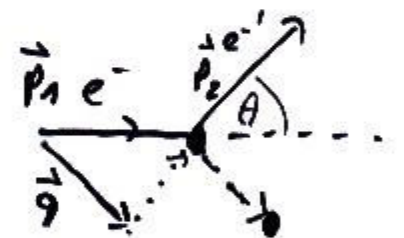
4/4

Nr. 3

a)



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



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

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

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

reelles Photon: $E > 0, p \geq 0, m^2 > 0$

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

4/4

b)

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

$q_1 = \frac{0,1 \cdot 10^{19} eV}{300000000 \frac{m}{s}} \cdot 2 \sin(22,5^\circ) = 0,2553 \frac{eVs}{m}$

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

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

1/1

=)

$$\cancel{E_2} \quad q_2 = 2,553 \frac{\text{eVs}}{\text{m}}, \quad k_2 = 3,879 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{m}}, \quad \lambda_2 = 2,578 \cdot 10^{-16} \text{m}$$

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

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


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

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

ExPhy 5 Blatt 1 Besprechung

Nr. 3

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



$$|\vec{q}|^2 = |\vec{p}_1|^2 + |\vec{p}_2|^2 - 2|\vec{p}_1||\vec{p}_2|\cos(\theta)$$

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4} = E = pc$$

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

$$= \frac{1}{c^2} \left(E_1 - E_2 \right)^2 + 2 \frac{E_1 E_2}{c^2} (1 - \cos \theta)$$

Wann $0 \neq \theta = 0 \Rightarrow E_1 = E_2$,
 $E < pc \Rightarrow$ virt. Teilchen

b) $E_1 = E_2 = E$

$$\Rightarrow |\vec{q}| = \sqrt{0 + \frac{2E^2}{c^2} (1 - \cos(\theta))} = \frac{2E}{c} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad \kappa = \frac{q}{h} = \frac{2E}{hc} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

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

1) $E = 0,1 \text{ GeV}, \theta = 45^\circ, q = 2 \frac{0,1 \text{ GeV}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \sin\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = 2,55 \cdot 10^{-10} \frac{\text{GeV}}{\text{m}}$
 $\kappa = \frac{2,55 \cdot 10^{-10} \text{ GeV}}{6,58 \cdot 10^{-25}} = 3,88 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{m}}$

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

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

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

ExPhy 5 Blatt 2 Besprechung

Nr. 1

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

Nr. 2

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

b) $e^- \rightarrow e^+ 0,511, p \rightarrow \bar{p} 938,3, \pi^+ \rightarrow \pi^- 140, \pi^0 \rightarrow \pi^0 135$

c) virtuelle machen wv, können in Unschr. rel. entstehen

d) [el. mit Bremsstrahlung, e^- det. Schwellenwert det, π^0 Flugzeitmethode]

gel: Block & Ceran kon, π^0

el & pos: Bette Block, Ceran kon,

schwere Teilchen: el. schauer

$\frac{dE}{dx}$ \Rightarrow Massenbestimmung

π^0 : Zerfallskanäle (E von 2 γ 's)

Nr 1

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

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

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

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

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

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

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

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

Nukleon ($m = 937 \frac{\text{MeV}}{c^2}$) in Kern ($\Delta x = 2 \cdot 10 \text{ fm}$)

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

$$T = \left(\left(937 \frac{\text{MeV}}{c^2} \right)^2 c^4 + \left(9,85 \frac{\text{MeV}}{c} \right)^2 c^2 \right)^{1/2} - 937 \frac{\text{MeV}}{c^2} c^2$$

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

$$E = T + m c^2 = 0,05 + 937 \frac{\text{MeV}}{c^2} c^2 = 937,05 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

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

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

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

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

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

4/4

Nr 2:

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

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

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

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

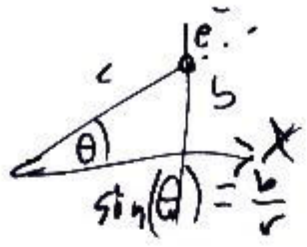
$\pi^0 \rightarrow \pi^0$ (sein eigenes Antiteilchen), $m_{\pi^0} = 135 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

c) virtuelle Teilchen werden bei dem Feynman-Diagramm als Wechselwirkung benutzt.

Prinzipiell ist jedes Teilchen möglich, besitzt allerdings keine Masse!

Nr 2

a) Übertrag: $\Delta E(b) = \frac{(\Delta p_{\perp})^2}{2m_e}$, $\Delta p_{\perp} = \int F_{\perp} dt = \int F_c \sin(\theta) dt = \int \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sin(\theta) dt$



$$\Rightarrow \Delta p_{\perp} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{ze^2 b}{4\pi\epsilon_0 r^3} \frac{1}{v} dx = \frac{ze^2 b}{4\pi\epsilon_0 v} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{r^3} dx, \quad r^2 = x^2 + b^2$$

$$\Rightarrow \Delta p_{\perp} = \frac{ze^2 b}{4\pi\epsilon_0 v} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(x^2 + b^2)^{3/2}} dx = \frac{ze^2 b}{4\pi\epsilon_0 v} \frac{x}{b^2 \sqrt{b^2 + x^2}} \Big|_{-\infty}^{\infty}$$

$$= \frac{ze^2 b}{4\pi\epsilon_0 v} \left(\frac{1}{b^2} - \left(-\frac{1}{b^2}\right) \right) = \frac{ze^2 b}{2\pi\epsilon_0 b v}$$

$$\Rightarrow \Delta E(b) = \frac{z^2 e^4}{8\pi^2 \epsilon_0^2 m_e v^2 b^2}$$

b) $-dE = \Delta E(b) N_e dV$

$$\frac{dE}{dx} = - \frac{z^2 e^4 N_e \cdot 2\pi b}{8\pi^2 \epsilon_0^2 m_e v^2 b^2} db = - \frac{z^2 e^4 N_e}{4\pi \epsilon_0^2 m_e v^2} \int_{b_{min}}^{b_{max}} \frac{1}{b} db = - \frac{z^2 e^4 N_e}{4\pi \epsilon_0^2 m_e v^2} \ln\left(\frac{b_{max}}{b_{min}}\right)$$

c) Näher Größe e^- durch halberdeutroglie-Wellenlänge: $b_{min} = \frac{h}{2p} = \frac{h}{2mv}$

Umlaufdauer e^- : $\tau_e = \frac{h}{I}$, $I = E = hf = h \frac{1}{\tau_e} = I$: min E-Übertrag / mitt. Anregungspot / Bindungsenergie

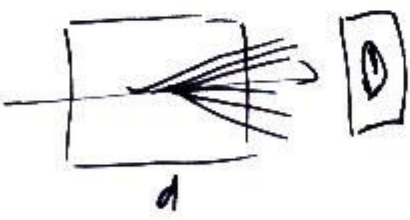
Ww-Zeit: τ_{ww} d. Teilchens mit Atom: $\tau_{ww} = \frac{b_{max}}{v}$

$$\tau_e \times \tau_{ww} \Rightarrow b_{max} = \frac{h}{I} \cdot v$$

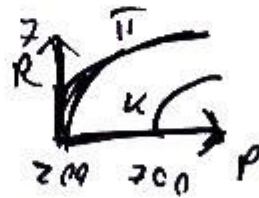
$$\frac{b_{max}}{b_{min}} = \frac{\frac{h}{I} v}{\frac{h}{2mv}} = \frac{mv^2}{I} \quad / \quad \frac{dE}{dx} = - \frac{e^4 N_e z^2}{4\pi \epsilon_0^2 m_e v^2} \ln\left(\frac{2mv^2}{I}\right)$$

d) $\frac{dE}{dx} = - \frac{e^4 N_e z^2}{4\pi \epsilon_0^2 m_e \beta^2 \gamma^2} \left(\ln\left(\frac{2mv^2}{I}\right) - \ln(1-\beta^2) - \beta^2 \right) \Rightarrow$ Ableiten & p setzen \Rightarrow numerisch lösen

Nr 3



d klein \Rightarrow Ring



Skizze im Skript

Nr 4

$R = r = 3100 \text{ m}$, $E_e = 700 \text{ GeV}$, a) $\Delta E_e = 88,5 \frac{E_e}{R} \text{ keV} \approx 2,85 \text{ GeV}$

c) $E = 7 \text{ TeV}$: $\Delta E = 9,79 \cdot 10^{-9} \frac{E}{R} \text{ eV} \approx 6 \text{ keV}$, b) $\Delta E = 10^{12} \cdot 8,55 \text{ GeV}$, $\Delta t = \frac{22 \text{ km}}{c \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$

$$\Rightarrow p = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 9,49 \cdot 10^{16} \frac{\text{GeV}}{\text{s}} \approx 152 \text{ MW}$$

Nr 1

a) $p^{\mu} = \gamma^{\mu}_{\nu} p^{\nu} = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & 0 & -\gamma\beta \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\gamma\beta & 0 & 0 & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E/c \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma \frac{E}{c} - \gamma\beta p_z \\ p_x \\ p_y \\ -\gamma\beta \frac{E}{c} + \gamma p_z \end{pmatrix}$ $p^{\mu 2} = \frac{E^2}{c^2} - p_x^2 - p_y^2 - p_z^2$
 $\Rightarrow S = (p_1 + p)^c$ invariant

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

c) $E_{cm} = 378 \text{ GeV}$, da $\vec{p}_p = 0$, $E_{cm} = \sqrt{2E_p E_e}$, $E_e = \frac{E_{cm}^2}{2E_p} = 53,94 \text{ TeV}$

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.

2/4

Wie funktioniert ein Detektor?
 WW? Röntgen-Bild, Geigerzähler...

Nr 3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Vergleich d. Kammern:

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

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

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

7/7

74,5

Nr. 1

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

\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 überwinden werden zu können.

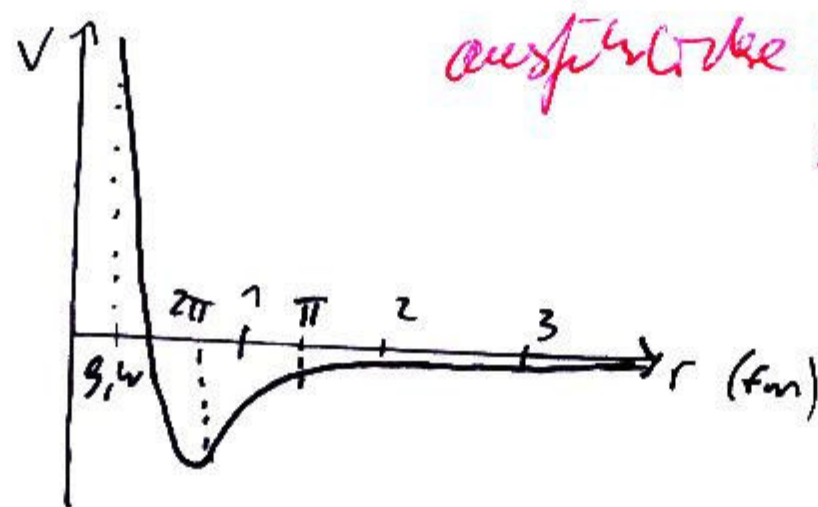
\Rightarrow Energie Potential reicht nicht aus. ✓

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

Nr. 2

a) $\lambda \approx \frac{hc}{mc^2} \Rightarrow \pi: 1,4 \text{ fm}, 2\pi: 0,7 \text{ fm}, \dots$ 5,5

b) $\rho: 0,256 \text{ fm}$
 $w: 0,253 \text{ fm}$



Konstantes Papier!
-0,5

c) w und ρ sind viel schwerer als π und haben Spin 1, während π Spin 0 hat.

$\Rightarrow w$ und ρ haben Tensorkräfte auf und sind sehr kurzreichweitig. ✓

Nr. 3

6

a) $B_{Co} = (27 \cdot (1,0073 \text{ u} + 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}) + 32 \cdot 1,0087 \text{ u} - 58,9332002 \text{ u}) \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u}}$
 $= 577,372 \text{ MeV}$

$B_{Cm} = (96 \cdot (1,0073 \text{ u} + 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}) + 157 \cdot 1,0087 \text{ u} - 247,0703468 \text{ u}) \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u}}$
 $= 1853 \text{ MeV}$

$B_{Co} \stackrel{!}{=} (a_1 \cdot 59 - a_2 \cdot 59^{2/3}) c^2 - 0,712 \frac{\text{MeV}}{c^2} (27(27-1) \cdot 59^{-1/3}) - 23,6 \frac{\text{MeV}}{c^2} (59-2 \cdot 27)^2 59^{-1}$
 $= 59 a_1 c^2 - 59^{2/3} a_2 c^2 - 738,397 \text{ MeV} \stackrel{!}{=} 577,372 \text{ MeV}$

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

($a_5 = 0$, da in beiden Fällen A ungerade!) \Rightarrow

$$B_{cm} \stackrel{!}{=} (a_1 \cdot 247 - a_2 \cdot 247^{2/3}) c^2 - 0,712 \frac{\text{MeV}}{c^2} (96(96-1) \cdot 247^{-1/3} - 23,6 \frac{\text{MeV}}{c^2} (247-2 \cdot 96)^2 \cdot 247^{-1})$$

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

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

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

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

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

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

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

$$b) \frac{db}{dz} = a_3 (-2z+1) A^{-1/3} + 4a_4 - 8a_4 z \cdot A^{-1} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow z = \frac{(a_3 A^{-1/3} + 4a_4)}{(-2a_3 A^{-1/3} - 8a_4 A^{-1})}$$

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

$$= 63,01$$

$$\frac{d^2b}{dz^2} = -\frac{2a_3}{A^{1/3}} - \frac{8a_4}{A} < 0 \Rightarrow \underline{z=63} \text{ Maximum}$$

Nr. 1

$$1) R_e = \sigma_e \ln \frac{N_A}{A} (g_B x)$$

$$= 2 \cdot 10^{30} \text{ m}^2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \cdot (235)^{-1} \frac{\text{mol}}{\text{g}} \cdot 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot N_A = 0,057252 \frac{1}{\text{s}} \quad \checkmark$$

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

$$= 7 \cdot 10^{-27} \text{ m}^2 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}} \cdot (0,235)^{-1} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \cdot 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot N_A = 179,383 \frac{1}{\text{s}} \quad \checkmark$$

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

$$= 2 \cdot 10^{-26} \text{ m}^2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{s}} \cdot (0,235)^{-1} \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \cdot 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot N_A = 572,523 \frac{1}{\text{s}} \quad \checkmark$$

$$I = I_a - R_e - R_c - R_f = 10^5 \frac{1}{\text{s}} - 0,051 \frac{1}{\text{s}} - 179,3 \frac{1}{\text{s}} - 572,5 \frac{1}{\text{s}} \approx 99308 \frac{1}{\text{s}} \quad \checkmark$$

$$2) R_f = 572,523 \frac{1}{\text{s}} \quad (\text{siehe 1}) \quad \checkmark$$

$$3) \phi_c = \frac{R_c}{A} = \frac{572,523 \frac{1}{\text{s}} \cdot 10^{-9}}{4\pi \cdot 100 \text{ m}^2} = 4,079 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-5} \quad \checkmark$$

Nr. 3

$$a) z_e = \int_{-\infty}^{\infty} d^3r e A \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) = e A \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} r^2 \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right) dr d\vartheta d\varphi \quad \text{(siehe 5,5)}$$

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

$$\Rightarrow A = \frac{z_e}{\pi^{3/2} \sigma^3} \quad \checkmark$$

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

$$= \frac{4}{\pi^{3/2} \sigma^3} \cdot \frac{1}{2} \sigma^5 \Gamma\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{3}{2} \sigma^2 \quad \checkmark$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

~~${}^6\text{Li}$: $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{6 \cdot \frac{1}{5}}$~~

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

$\Rightarrow \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} \cdot \left(-\frac{4}{5} \ln(0,1)\right) \approx 2,76 \quad \checkmark$ Erwart?

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

$\Rightarrow \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} \cdot \left(-\ln(10^{-3/2})\right) \approx 3,45 \quad \checkmark$

-0,5

Nr. 2

magische Zahl besetzte Zustände

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

2

Voll besetzte Zustände \Rightarrow Parität & Spin durch überzahliges Teilchen.

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

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

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

${}^{17}\text{O} (8p, 9n) \Rightarrow$ Nukleon $1d_{5/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(2-1)+2} = +1 \Rightarrow \frac{5}{2}^+ \quad \checkmark$ 7,5

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

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

${}^{41}\text{Ca} (20p, 21n) \Rightarrow$ Nukleon $1f_{7/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(3-1)+3} = -1 \Rightarrow \frac{7}{2}^- \quad \checkmark$

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

${}^{209}\text{Pb} (82p, 127n) \Rightarrow$ Nukleon $1i_{11/2} \Rightarrow P = (-1)^{2(4-1)+5} = +1 \Rightarrow \frac{11}{2}^+ \quad \checkmark$

$2g_{9/2} \Rightarrow P = +1$

$\frac{9}{2}^+ \quad i = 7$

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

\Rightarrow Abweichung: Nicht alle Zustände kombinierbar \Rightarrow Auswahlregeln

0,5

Blatt 5 Besprechung

Nr 2

Prat	Neut.	
		(2)
		(4) (2)
		(6) (2) (4)

170 Grundzust.

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

1.A - Zustand.

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

2.A - Zustand

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

39K Grundzust.

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

1A - Zustand

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

2A Zustand

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

3A Zustand.

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

Nr 1

a) $S = \frac{P}{A} \Rightarrow A$ von Kugel mit $v = 1 \text{ AU}$

$$\Rightarrow P = SA = 1,4 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 4\pi \cdot (1,496 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 = 3,937 \cdot 10^{26} \text{ kW}$$

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

$$M_H = R \cdot 4 m_p = 9,197 \cdot 10^{37} \frac{1}{\text{s}} \cdot 4 \cdot 1,00794 \text{ u} = 6,157 \cdot 10^{37} \text{ u} = 615,7 \cdot 10^6 \frac{\text{t}}{\text{s}}$$

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

c) $L_\odot = 2,4 \cdot 10^{45} \frac{\text{eV}}{\text{s}} \Rightarrow \Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{L_\odot t}{c^2} = \frac{2,4 \cdot 10^{45} \frac{\text{eV}}{\text{s}} \cdot 31556952 \text{ s}}{c^2} = 1,349 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

d) $M_\odot = 1,988 \cdot 10^{30} \text{ kg} \Rightarrow T = \frac{M_\odot}{\Delta m} = \frac{1,988 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{1,349 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 1,474 \cdot 10^3 \text{ s}$

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

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

Nr 2

a) $V_c = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi \epsilon_0 r} = \frac{1 \cdot 1 \cdot e^2}{4\pi \epsilon_0 \cdot 2 \text{ fm}} = 7,79,98 \text{ keV}$

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

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

$$\Rightarrow 0 = v - v^3 \frac{m}{2kT} \quad v \neq 0 \Rightarrow 0 = 1 - v^2 \frac{m}{2kT} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

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

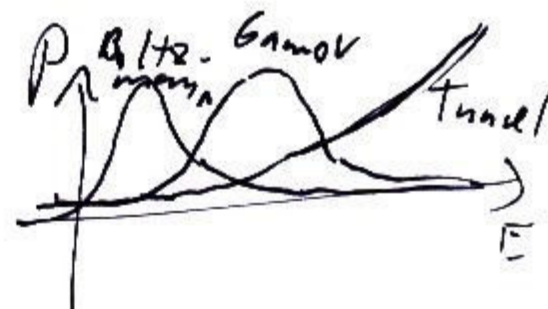
c) $\int_{V_c}^{\infty} f(E) dE = \int_{V_c}^{\infty} \frac{8\pi \sqrt{m}}{(2\pi kT)^{3/2}} E \exp\left(-E \cdot \frac{1}{kT}\right) dE = \frac{8\pi \sqrt{m}}{(2\pi kT)^{3/2}} \left(-\frac{\partial}{\partial \left(\frac{1}{kT}\right)} kT e^{-\frac{V_c}{kT}} \right)$

$$= \frac{8\pi \sqrt{m}}{(2\pi kT)^{3/2}} \exp\left(-V_c \cdot \frac{1}{kT}\right) (kT + kTV_c) \approx 19,4 \cdot 10^{-27} \text{ s}$$

$T = 70^9 \text{ K} \approx 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ s} \approx 6,3 \cdot 10^{-27} \text{ s}$
 $\approx 7 \cdot 10^5 \text{ eV} \approx 6 \cdot 10^7 \text{ eV}$

d) $|T|^2 \approx \left| e^{-\frac{V_c}{\sqrt{E_{kin}}}} \right|^2 \approx |0,999|^2 \approx 1$

$$P \sim e^{-\frac{2\pi Z_1 Z_2 e^2}{\hbar v}} = \exp\left(-\frac{2\pi Z_1 Z_2 e^2}{\hbar v}\right)$$



Nr 1

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

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

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

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

$T_{1/2} = 5730a \Rightarrow t = \ln\left(\frac{15}{6,7 \pm 0,2}\right) \cdot \frac{5730a}{\ln(2)} = (6.662 \pm 250)a$

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

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

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

3. Zerfallmessungsungenauigkeit \Rightarrow Massenspektrometer (\Rightarrow Dichte)

Nr 2

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

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

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

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

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

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

Nr 3

a) Verlustrate: $P_v = \phi dV = \phi \cdot 4\pi r^2$, Produktions: $P_p = R \langle \nu \rangle$

$R = W \tilde{n}_0 = \sigma \phi \tilde{n}_0 = \sigma \phi \frac{S_0}{A} N_L \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow P_p = \sigma \phi \frac{S_0}{A} N_L \frac{4}{3} \pi r^3 \langle \nu \rangle$

kritische Masse bei $P_v = P_p \Rightarrow 1 = \sigma \frac{S_0}{A} N_L \langle \nu \rangle \cdot \frac{1}{3} r$

$\Rightarrow R = \frac{3A}{S_0 N_L \langle \nu \rangle} = \frac{3 \cdot 235 \frac{g}{mol}}{2 \cdot 10^{-24} cm^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol} \cdot 1,95 \frac{g}{cm^3} \cdot 2,5} = 12,36 cm$

$\Rightarrow m_{krit} = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = 18,95 \frac{g}{cm^3} \cdot 7,909,73 cm^3 = 149,88 kg$

b) Moderator \Rightarrow höherer Wirkungsquerschnitt
Reflektor \Rightarrow geringere Verlustrate

Nr 4

a) Während Betrieb: $^{136}Xe \xrightarrow{\text{Spaltung}}$ $^{135}I \xrightarrow{\text{Zerfall}}$ $^{135}Xe \xrightarrow{\text{th. Neutron}}$ ^{136}Xe

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

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

Nr 1

- a)
1. $uud + u\bar{d} \rightarrow u\bar{s} + uds \Rightarrow$ Ladung unterschiedlich ✓
 2. $uud \rightarrow udd + u\bar{d}$
 $p \rightarrow n + \pi^+$ \Rightarrow Energie untersch. ✓
 3. $uds \rightarrow u\bar{d} + e^- + \bar{\nu}_e$
 $\Lambda^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e \Rightarrow$ Baryonenzahl untersch. ✓
 4. $\nu_{\mu} + uud \rightarrow udd + \mu$
 $\nu_{\mu} + p \rightarrow \mu^+ + n \Rightarrow$ Leptonenzahl untersch. ✓
 5. $e^- \rightarrow \gamma + e^- \Rightarrow$ 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. ✓

Nr 2

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

(isospinblett: $S=0$ (u,d), isospinsingulett: $S=-1$ (s) ✓

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

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

\Rightarrow Quarkladungen drittelzahlig

\Rightarrow Quarks keine "freien Teilchen", in Hadronen durch starke WW eingeschlossen (confined)

3 Quarks in 3 flavor $\Rightarrow 3^3 = 27$ Kombinationen

Nr 3

- a) kin. E. zur Überwindung d. Coulomb-Barriere: $V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{1\text{fm}} = 1,44\text{MeV}$ ✓
- b) 1. inelastisch, wenn kin. E. $> 290\text{MeV}$ ($p \rightarrow p = p \rightarrow p \rightarrow \mu$) ?
2. elastisch \Rightarrow Wirkungsquerschnitt erhalten ?
- $T = E_i - m_p = \frac{5 - 2m_p}{m_p} m_p = 7m_p - m_p \approx 5,63\text{GeV}$ f

2 fest

Nr 1

- a) 1. $p+p \rightarrow \Lambda^0 + K^0 + p + \pi^+ \Rightarrow p[uud] + p[uud] \rightarrow \Lambda^0[uds] + K^0[d\bar{s}] + p[uud] + \pi^+[u\bar{d}]$ 4,5
 \Rightarrow würde erlaubt sein (st. WW), allerdings: $1876 \frac{MeV}{c^2} \rightarrow 2692 \frac{MeV}{c^2}$
 \Rightarrow nur mit großer Energiezufuhr möglich!
2. $\Lambda^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- \Rightarrow \Lambda^0[uds] \rightarrow \pi^+[u\bar{d}] + \pi^-[\bar{u}d]$ $\Rightarrow B=1 \rightarrow B=0 \Rightarrow$ Baryonzahl verletzt
 \Rightarrow nicht erlaubt. außerdem: $S=1 \rightarrow S=0 \Rightarrow$ schw. WW & $I_3=0 \rightarrow I_3=0 =$ st. WW
 \Rightarrow nicht erlaubt
3. $\pi^- + p \rightarrow n + \pi^0 \Rightarrow \pi^-[\bar{u}d] + p[uud] \rightarrow n[udd] + \pi^0[(u\bar{u} + d\bar{d})/\sqrt{2}]$
 $S=0 \rightarrow S=0$ & $I_3 = -\frac{1}{2} \rightarrow I_3 = -\frac{1}{2} \Rightarrow$ erlaubt (st. WW) ✓
4. $\pi^+ + p \rightarrow p + \pi^+ + \pi^- + \pi^0 \Rightarrow$ Ladung nicht erhalten & Energiezufuhr notwendig
 \Rightarrow nicht erlaubt
5. $\gamma + n \rightarrow \pi^- + p \Rightarrow \gamma + n[udd] \rightarrow \pi^-[d\bar{u}] + p[uud] \Rightarrow S=0 \rightarrow S=0$ & $I_3 = -\frac{1}{2} \rightarrow I_3 = -\frac{1}{2}$ & $B=1 \rightarrow B=1$
 \Rightarrow erlaubt (st. WW)
6. $n \rightarrow e + p + \bar{\nu}_e \Rightarrow n[udd] \rightarrow e + p[uud] + \bar{\nu}_e \Rightarrow B=1 \rightarrow B=1$ & $L=0 \rightarrow L=0$
 \Rightarrow erlaubt (schw. WW)
7. $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu \Rightarrow \pi^-[\bar{u}d] \rightarrow \mu^- + \nu_\mu \Rightarrow L=0 \rightarrow L=2$
 \Rightarrow verboten, Leptonenzahl verletzt!
- b) Zerfall über mehrere Stufen: $\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$ (schw. WW) $S=2 \rightarrow S=-1$
 $\Lambda \rightarrow n^0 + \pi^0$ (schw. WW) $S=-1 \rightarrow S=0$

Nr 2

- a) Ereignisrate: $\dot{N} = \sigma \cdot \mathcal{L}$ (Luminosität) 3,5
- $\sigma = \frac{4\pi\alpha^2}{3E_{cm}^2} (hc)^2 \stackrel{*}{=} 86,8 \frac{nbarn}{E^2/GeV}$ * : hohe Energien, hier $E=2.5 GeV$
- $\Rightarrow \dot{N}_{\mu^+\mu^-} = 86,8 \frac{nbarn}{100} \cdot 5 \cdot 10^{30} \frac{1}{cm^2s} = 4,34 \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$
- $10 GeV \Rightarrow u, d, s, c$ - Quarks $\Rightarrow R = \frac{10}{3} \Rightarrow \dot{N}_{hadr.} = \frac{10}{3} \cdot \dot{N}_{\mu^+\mu^-} = 1,59 \cdot 10^{-2} \frac{1}{s}$ ✓
- b) $500 GeV \Rightarrow R=5$, 10% stat Fehler $\Rightarrow 100$ Ereignisse Hadronen
- $\dot{N}_{hadr.} = 5 \sigma_{\mu^+\mu^-} \cdot \mathcal{L} \cdot t \Rightarrow 100 = 5 \cdot 86,8 \frac{nbarn}{100} \cdot \mathcal{L} \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60 s$
- $\Rightarrow \mathcal{L} = 3,2 \cdot 10^{30} \frac{1}{cm^2s}$ ~~$8 \cdot 10^{33} \frac{1}{cm^2s}$~~

Nr 3

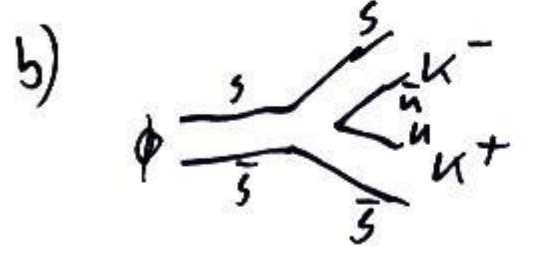
- 1) $\sigma(pp) + \sigma(K^-n) + \sigma(\pi^+p) = \sigma(uudund) + \sigma(s\bar{u}udd) + \sigma(u\bar{d}und)$
 hohe E: $\sigma(qq) = \sigma(q\bar{q}) \Rightarrow \dots = \sigma(3u + 2d + 1s) = \sigma(udsund) = \sigma(\Lambda p)$
- 2) $\sigma(pp) + \sigma(K^-p) - \sigma(\pi^-p) + 2(\sigma(K^+n) - \sigma(K^+p))$
 $= \sigma(uudund) + \sigma(s\bar{u}und) - \sigma(\bar{u}dund) + 2(\sigma(u\bar{s}udd) - \sigma(u\bar{s}uud))$
 $= \sigma(2u3ds) = \sigma(ddsund) = \sigma(\Sigma^- p)$
- 3) $\sigma(pp) + \sigma(K^-p) - \sigma(\pi^-p) = \sigma(uudund) + \sigma(s\bar{u}und) - \sigma(\bar{u}dund) = \sigma(4uds) = \sigma(4dus)$
 $= \sigma(ddsudd) = \sigma(\Sigma^- n)$

Nr 4

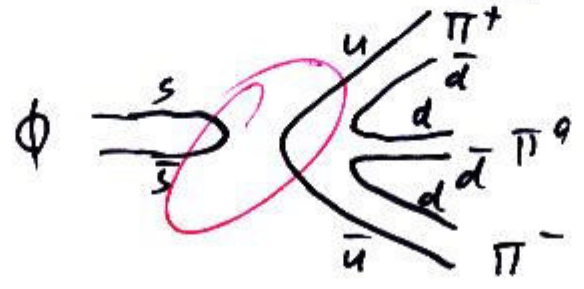
a) Phasenraum: $m_\phi \rightarrow 2m_K \Rightarrow 1020 \text{ MeV} \rightarrow 1000 \text{ MeV} \Rightarrow \Delta E_K = 20 \text{ MeV}$
 $m_\phi \rightarrow 3m_\pi \Rightarrow 1020 \text{ MeV} \rightarrow 420 \text{ MeV} \Rightarrow \Delta E_\pi = 600 \text{ MeV}$

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

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



$\phi \rightarrow K^+ K^-$



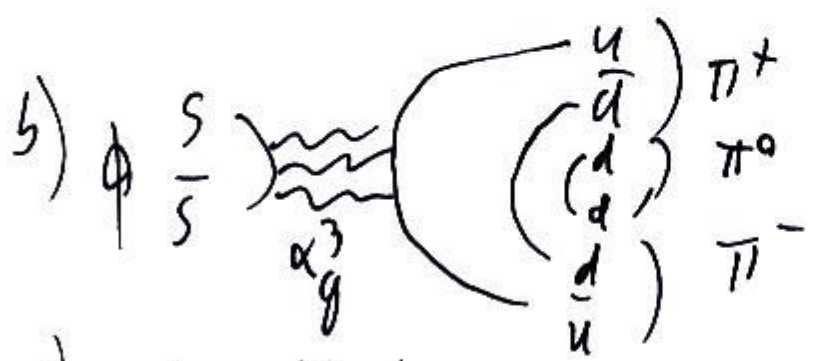
$\phi \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^-$

nicht verbundene Quarklinie \leftarrow
 \Rightarrow unterdrückt!

c) Zerfall erfolgt leptanisch oder mit Anihilation.
 Da deren Quarklinien nicht verbunden sind, wird dieser zerfall unterdrückt \Rightarrow lange Lebensdauer.

Andere Zerfallsarten nur mit Energieaufwand!

welche?



r_b, g_r (Olonen: Farbe & Antifarbe, $P_\phi = -1$)
 ϕ Parität: $P_\phi = -1$

d) eigentlicher Prozess erzeugt zuviel Energie Masse \Rightarrow zu hohe benötigte Energie