

Übung 8:

Betrachte Quarksysteme mit bis zu 3 Quarks und/oder Antiquarks aus der ersten Familie.

Wie kann man die Quarks kombinieren, um $B = 0$ zu bekommen? Welche Quarksysteme mit Baryonenzahl $B = 0$ sind also möglich? Welche Ladungen Q können sie haben?

Welche Quarksysteme mit Baryonenzahl 1 oder -1 sind möglich, welche Ladungen können sie haben? Erstelle eine Liste dieser Systeme mit deren B und Q .

Die Quark-Antiquark-Systeme haben Baryonenzahl 0, es sind Mesonen, z.B.:

Name	Quark-Inhalt	B	Q	S	Masse (MeV/c^2)
π^+	$u\bar{d}$	0	1	0	139,6
π^-	$d\bar{u}$	0	-1	0	139,6
π^0	$u\bar{u} + d\bar{d}$	0	0	0	135
K^+	$u\bar{s}$	0	1	0	493,7
K^-	$s\bar{u}$	0	-1	0	493,7
K^0	$s\bar{d} + d\bar{s}$	0	0	0	497,7
ρ^+	$u\bar{d}$	0	1	1	770
ρ^-	$d\bar{u}$	0	-1	1	770
ρ^0	$u\bar{u} + d\bar{d}$	0	0	1	770

Die 3 Quark-Systeme (3 Antiquark-Systeme) haben Baryonzahl 1 (-1), es sind die Baryonen (Antibaryonen, hier nicht angezeigt), z.B.:

p	uud	1	1	1/2	938,3
n	udd	1	0	1/2	939,6
Δ^{++}	uuu	1	2	3/2	1232
Δ^+	uud	1	1	3/2	1232
Δ^0	udd	1	0	3/2	1232
Δ^-	ddd	1	-1	3/2	1232
Σ^+	uus	1	1	1/2	1189,4
Σ^0	uds	1	0	1/2	1192,5
Σ^-	dds	1	-1	1/2	1197,3
Λ^0	uds	1	0	1/2	1115,6
Ξ^0	uss	1	0	1/2	1315
Ξ^-	dss	1	-1	1/2	1321
Ω^-	sss	1	0	1/2	1672

Übung 13:

Berechne den Schwarzschildradius R_{Erde}^S und R_{Sonne}^S für Erde und Sonne und vergleiche sie mit dem Radius der Erde $R \simeq 6400 \text{ Km}$ (Masse der Erde $M_{Erde} \simeq 5,98 \times 10^{24} \text{ Kg}$, Masse der Sonne $M_{Sonne} \simeq 1,99 \times 10^{30} \text{ Kg}$).

Wir finden $R_{Erde}^S \simeq 1 \text{ cm}$, $R_{Sonne}^S \simeq 3 \text{ Km}$, d.h., wenn die ganze Masse der Erde in einem Murmel komprimiert würde, würde die Erde zu einem Schwarzen Loch – und dementsprechend für die Sonne. Da die Schwerkraft umgekehrt proportional mit der Quadrat des Abstandes ist, würde sie in der Nähe der zu einem Schwarzen Loch kollabierten Erde etwa $10^{18} g$ (mit g : die normale Schwerkraftbeschleunigung an der Erdoberfläche) betragen, sie würde jedes Gegenstand völlig zerreißen.

Das kann nicht passieren, da die Masse der Erde nicht genug Schwerkraft übt, um die Kräfte, die die Materie zusammenhalten, zu überwinden, so dass sie so stark schrumpfen kann. Erst ein Stern von mehreren Sonnenmassen kann sich zu einem Schwarzen Loch entwickeln. In Zentrum von Galaxien werden Schwarzen Löcher mit einer Masse von mehreren Millionen Sonnenmassen vermutet. Wenn die ganze Masse einer Galaxie (etwa 10^{12} Sonnenmassen) zu einem Schwarzen Loch kollabieren würde, würde es ein Schwarzschildradius von $\sim 1 \text{ LJ}$ haben und in diesem Abstand eine Schwerkraft von nur $\sim 1 g$, man könnte also unbeschwert in den Schwarzen Loch fallen.

Übung 14:

Die Sonne ist $D_S \simeq 1,6 \times 10^{-5} \text{ LJ}$ von uns entfernt, der Stern $\alpha\text{-Centauri}$ etwa $D_\alpha \simeq 4,3 \text{ LJ}$ (geometrisch gemessen mit der Paralaxe Methode). Er erscheint uns etwa 10^{11} (hundert Milliarden) mal schwächer als der Sonne. Wir notieren mit H_S, H_α die absolute, mit h_S, h_α die relative (scheinbare) Helligkeit. Dann muss stimmen – siehe Gl. (16):

$$h_S = \frac{H_S}{D_S^2} \quad \text{und} \quad h_\alpha = \frac{H_\alpha}{D_\alpha^2}, \quad \text{und wir haben} \quad \frac{h_\alpha}{h_S} \simeq 10^{-11}.$$

Welche absolute Helligkeit hat $\alpha\text{-Centauri}$ verglichen mit der Sonne: $\frac{H_\alpha}{H_S} = ?$

$$\frac{H_\alpha}{H_S} = \frac{h_\alpha D_\alpha^2}{h_S D_S^2} = 10^{-11} \left(\frac{4,3}{1,76 \times 10^{-5}} \right)^2 \simeq 0,6$$

Übung 15:

Nach der Quark Era und der Baryogenese enthält der Kosmos Protonen und Neutronen in Verhältnis 7:1 (das ergibt sich aus der Differenz der Ruhemassen der 2 Kernteilchen, die dazu führt, dass die etwas schwerere Neutronen seltener sind). Der Kosmos kühlt sich weiter ab mit der fortschreitenden Expansion und Kerne fangen an sich zu bilden, vorwiegend Helium, der am stabilsten ist. Angenommen, es bildet sich so viel Helium als möglich, welches ist dann das Masse- (oder Dichte)-Verhältnis von Helium zum verbliebenen Wasserstoff? Hinweis: betrachte einen "Eimer" mit 10000 Nukleonen (Protonen und Neutronen im Verhältnis 7:1) und versuche daraus so viele Helium Kerne zu bilden als möglich.

Entsprechend der angegebenen Verhältnisse haben wir $1250n$ und $8750p$, für einen Helium Kern brauchen wir $2n$, die Neutronen reichen also für 625 Helium Kerne, und binden dazu 1250 Protonen. Das Massenverhältnis Helium zu Wasserstoff ist also 2500 zu 7500, also 1:3, das Verhältnis der Anzahl von Kerne ist 625 zu 7500, also 1:12.

Übung 16:

Die Anzahl von Nukleonen (Kernteilchen: Protonen und Neutronen) in Universum ist auf $N \simeq 10^{80}$ geschätzt, und zwar in den Kernen von Atomen gebunden. Welcher Masse (in Sonnenmassen, $M_{\text{Sonne}} \simeq 1,99 \times 10^{30} \text{ Kg}$) entspricht diese Zahl? Unsere Galaxie hat etwa $n \simeq 10^{11}$ "Sonnen".

Wenn sich alle Nukleonen in Sternen befänden, wie viele Galaxien, vergleichbar mit der Milchstraße würden den Kosmos bewohnen? (Die Annahme ist eigentlich nicht korrekt: es gibt auch interstellare Gaswolken, Schwarze Löcher, unsichtbare, kollabierte Sterne, etc.)

Welche Masse (in Sonnenmassen) würde die *Dunkle Materie*, (rechte Diagramm auf Seite 36), haben?

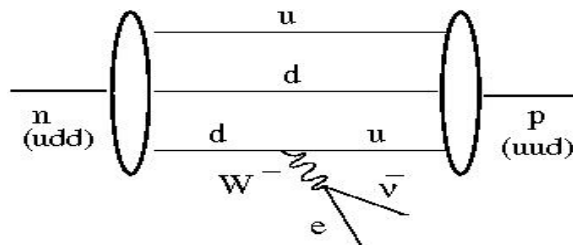
$$m = 10^{80} \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ Kg} = \frac{1,66 \times 10^{53}}{1,99 \times 10^{30}} M_{\text{Sonne}} \simeq 1,16 \times 10^{23} M_{\text{Sonne}}, \text{ das sind etwa } 10^{12} \text{ Galaxien.}$$

Das Verhältnis Dunkle Materie zu üblicher Materie ist 23% verglichen mit 4,6%, die Masse der Dunklen Materie wäre also etwa 5 mal so groß.

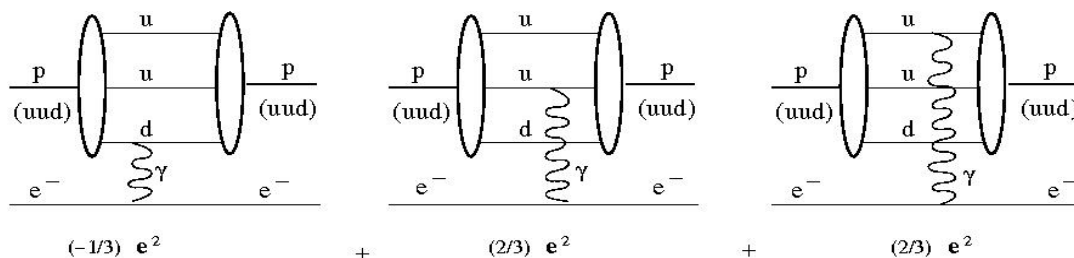
Übung 17: Beschreibe das β -Zerfall des Neutrons mit Hilfe von Quark-Diagrammen wie oben.

Übung 18: Überlege, wie die Streuung $e^- + p \rightarrow e^- + p$ (das Analogon zum Prozess *f*) auf Seite 29) verlaufen könnte auf der Basis von Photon-Austausch zwischen Elektron und den Quarks in *p*.

Übung 17:



Übung 18:



Das Gesamteffekt ist $(-\frac{1}{3} + \frac{2}{3} + \frac{2}{3})e^2 = e^2$, also wie in Graph *f*) auf Seite 29. Allerdings die innere Struktur des Protons wird in den Details-Resultaten ersichtlich.