Hinweis

Die vorliegende Lösung wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde diese Lösung von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:
https://www.physics-and-stuff.com/

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit der vorliegenden Lösungen! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

Dieses Werk von Marvin Zanke ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

Physik V Blatt 9

Trim Kasabaci
Marvin Zanke

Nr. 1

1) Die Bethe-Bloch-Formel beschreibt den mittleren Energieverlust pro Längeneinheit von geladenen Teilchen mit einer Masse, die wesentlich größer ist als die Masse von Elektronen, durch ~~inelastische~~ Stöße mit Elektronen

0.5

2) Die Plots sind auf ein separaten Blatt hinten →

a)

$\pi^+ : B(0{,}96c) = 1{,}83 \frac{MeV}{g} cm^2$

$\mu^+ : B(0{,}96c) = 1{,}83 \frac{MeV}{g} cm^2$

die Massendifferenz $M_{\pi^+} = 140 \frac{MeV}{c^2}$, $M_{\mu^+} = 105 \frac{MeV}{c^2}$ macht also keinen großen Unterschied

Rechnung bei den Plots !

↳ dennoch Suche gefunden

6

b)

für $\beta \ll 1$: $\frac{dE}{dx} \sim \frac{1}{\beta^2} \sim \frac{1}{v^2} \sim \frac{m}{mv^2} \sim \frac{M}{E_{kin}}$

für $E_{kin} = 2\,MeV$

$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)^{\pi}}{\left(\frac{dE}{dx}\right)^{\mu}} = 1{,}26 \approx 1{,}31 = \frac{M^{\pi}}{M^{\mu^+}}$$

c) Da der Energieverlust pro Längeneinheit mit größeren Geschwindigkeiten immer geringer wird, muss er bei der Grenzgeschwindigkeit $\beta \to 1$ ungefähr verschwinden. Der Graph bestätigt dies.

-1 f   nein, dafür Log Scale angucken

gehört wieder noch ✓

3) Die schwersten Teilchen sind die α-Teilchen, dann die Protonen. Als nächstes die Pionen und am leichtesten sind die Myonen.

bzw. kinetische Energie

Da eine größere Masse weniger Geschwindigkeit bedeutet, ist für schwere Teilchen die mittlere Zahl der Ionisationen größer. Die Rechnung in Mathematica bestätigt dies ✓

Also: α-Teilchen, Proton, Pion, Myon

↳ ok für absolute Werte die Dichte noch einrechnen

und für alpha: $z = 2$!

Aufpassen ✓

$\Delta x \approx 2\,\mu m = 2 \cdot 10^{-7}\,cm$

3

Zahl der Ionisationen: $\frac{dE}{dx} \cdot \underset{\text{Dichte}}{\rho_0} \cdot \Delta x = Dep$ (deponierte Energie)

$n = \frac{Dep}{I}$ (Zahl der Ionisationen

n: $\alpha = 3{,}11$ $\quad \pi^+ = 0{,}06$

$p = 0{,}27$ $\quad \mu^+ = 0{,}05$

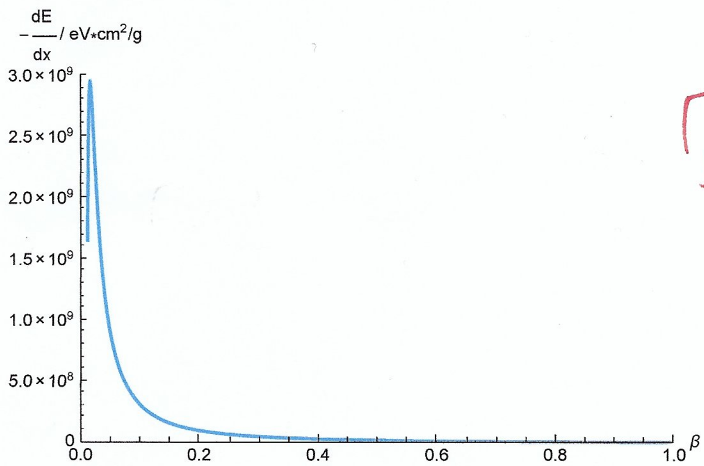
Die eingespeicherten Konstanten:

In[1]:=
$$K := 0.307 * 10^6;$$
$$ZA := 0.49954;$$
$$c := 1;$$
$$me := 511 * 10^3;$$
$$J := 78;$$
$$Ekin := 6 * 10^6;$$
$$\gamma[\beta\_] := \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}};$$
$$T_{max}[\beta\_, M\_] := \frac{2 * me * c^2 * \beta^2 * (\gamma[\beta])^2}{1 + \frac{2*\gamma[\beta]*me}{M} + \left(\frac{me}{M}\right)^2};$$

In[9]:=
$$B[z\_, \beta\_, M\_] := K * z^2 * ZA * \frac{1}{\beta^2} * \left(0.5 * Log\left[\frac{\left(2 * me * c^2 * \beta^2 * (\gamma[\beta])^2\, T_{max}[\beta, M]\right)}{J^2}\right] - \beta^2\right);$$

Für das Alpha-Teilchen gilt:

In[10]:=
$$z = 2;$$
$$M = 3727.38 * 10^6;$$
$$\text{Plot}\left[B[z, x, M], \{x, 0.01, 0.99\}, \text{PlotRange} \to \left\{\{0, 1\}, \left\{0, 3000 * 10^6\right\}\right\}, \text{AxesLabel} \to \left\{\text{"}\beta\text{"}, \text{"}-\frac{dE}{dx} \;/\; eV*cm^2/g\text{"}\right\}\right]$$
$$\beta = \sqrt{1 - \frac{\left(M * c^2\right)^2}{\left(Ekin + M * c^2\right)^2}}$$
$$energylossperlength = B[z, \beta, M]$$
$$energyloss = energylossperlength * \left(2 * 10^{-7}\right)$$
$$n = \frac{energyloss}{78}$$

Out[12]=


log Scale

Out[13]= 0.0566715

Out[14]= 7.14247×10^8 ✓

Out[15]= 142.849

Out[16]= 1.8314

Dichte mit einrechnen
gilt auch für μ/p, π

Für das Pion gilt:

Printed by Wolfram Mathematica Student Edition

In[17]:=

```
z = 1;
M = 140 * 10^6;
B[z, 0.96, M]
Plot[B[z, x, M], {x, 0.01, 0.99},
  PlotRange → {{0, 1}, {0, 3000 * 10^6}}, AxesLabel → {"β", "-dE/dx / eV*cm^2/g"}]
```

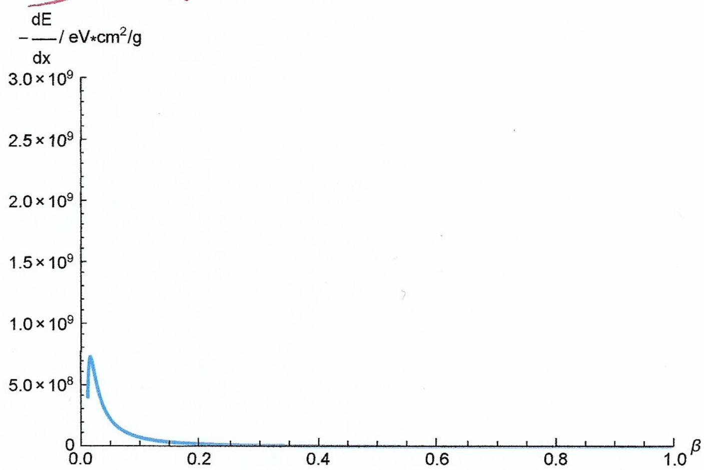
$$\beta = N\left[\sqrt{1 - \frac{(M * c^2)^2}{(Ekin + M * c^2)^2}}\right]$$

```
energylossperlength = B[z, β, M]
energyloss = energylossperlength * (2 * 10^-7)
```

$$n = \frac{energyloss}{78}$$

Out[19]= $\boxed{1.83218 \times 10^6}$ → 1.2.a

Out[20]=



Out[21]= 0.28373

Out[22]= 1.32603×10^7 ✓

Out[23]= 2.65205

Out[24]= 0.0340006

Für das Myon gilt:

In[25]:=
```
z = 1;
M = 105 * 10^6;
B[z, 0.96, M]
Plot[B[z, x, M], {x, 0.01, 0.99},
  PlotRange → {{0, 1}, {0, 3000 * 10^6}}, AxesLabel → {"β", "-dE/dx / eV*cm^2/g"}]
```

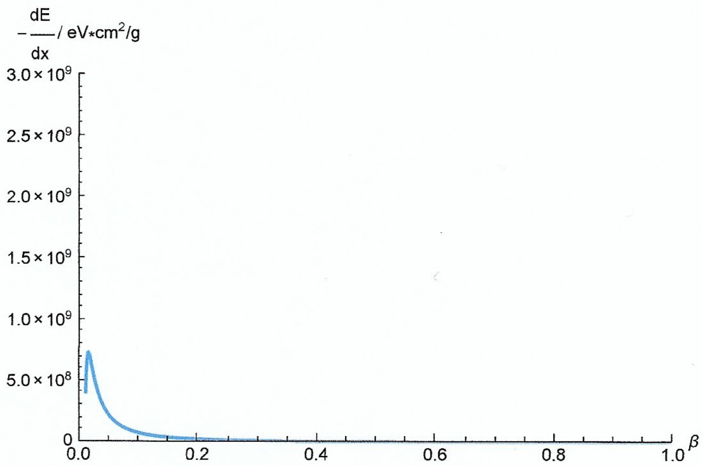
$$\beta = N\left[\sqrt{1 - \frac{(M * c^2)^2}{(Ekin + M * c^2)^2}}\right]$$

```
energylossperlength = B[z, β, M]
energyloss = energylossperlength * (2 * 10^-7)
```

$$n = \frac{energyloss}{78}$$

Out[27]= 1.83148×10^6 → 1.2.a)

Out[28]=



Out[29]= 0.324324

Out[30]= 1.05402×10^7 ✓

Out[31]= 2.10804

Out[32]= 0.0270262

Für das Proton gilt:

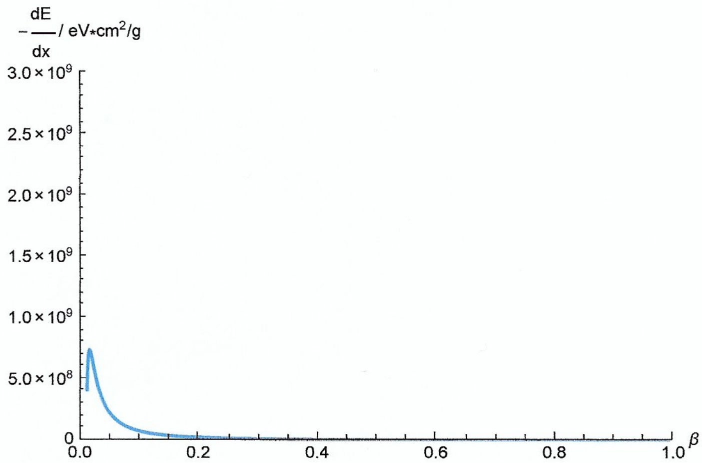
In[33]:=
```
z = 1;
M = 938 * 10^6;
Plot[B[z, x, M], {x, 0.01, 0.99},
 PlotRange → {{0, 1}, {0, 3000 * 10^6}}, AxesLabel → {"β", "-dE/dx / eV*cm^2/g"}]
```

$$\beta = N\left[\sqrt{1-\frac{(M*c^2)^2}{(Ekin+M*c^2)^2}}\,\right]$$

```
energylossperlength = B[z, β, M]
energyloss = energylossperlength * (2 * 10^-7)
```

$$n = \frac{energyloss}{78}$$

Out[35]=



Out[36]= 0.112568

Out[37]= 6.18652×10^{7} ✓

Out[38]= 12.373

Out[39]= 0.158629

In[40]:=
```
Series[B[u, x, v], {x, 0.05, 1}]
```

Out[40]=
$$6.13435\times10^{7}\,u^2\left(-0.0025+0.5\,\mathrm{Log}\left[\frac{1078.37\,v^2}{2.61121\times10^{11}+1.02328\times10^{6}\,v+v^2}\right]\right)+$$
$$153\,359.\,u^2\left(\frac{16\,000.1\,(2.61121\times10^{11}+1.02264\times10^{6}\,v+1.\,v^2)}{2.61121\times10^{11}+1.02328\times10^{6}\,v+v^2}-16\,000.\left(-0.0025+0.5\,\mathrm{Log}\left[\frac{1078.37\,v^2}{2.61121\times10^{11}+1.02328\times10^{6}\,v+v^2}\right]\right)\right)(x-0.05)+O[x-0.05]^2$$

für die b) ?
dann aber bitte
mit $\left(\frac{1}{\beta}\right)$ taylern und mindestens
quadratischen Term mitnehmen

Nr. 2

Da das π^0 selbst eine viel zu kleine Lebensdauer hat, um es nachzuweisen, misst man seine beiden Zerfallsprodukte (2 Photonen). Der Detektor den man dazu verwendet, ist unter dem Namen Crystal-Barrel exp. bekannt. CB nicht das beste Beispiel

Nach dem Beschuss ~~des~~ Protons mit dem Photon findet dort innerhalb eines Zylinders (Szintillator / Kalorimeter) unter Energieerhaltung die Reaktion $\gamma p \to p\pi^0$ statt. (x)
Nach kurzer Zeit zerfällt das π^0 in zwei Photonen, also
$p\pi^0 \to p\underbrace{\gamma\gamma}_{\pi^0}$.

hier geht einiges durcheinander

Die Energie der Photonen wird nun an das äußere Material abgegeben und löst dabei proportional zur Energie weitere Teilchen aus. Im Szintillator werden diese also in weitere Lichtblitze umgewandelt und dann mit Hilfe eines Photomultipliers in einen Strom umgewandelt (alternativ mit einer Photodiode). hier auch
Den Winkel kann man separat messen. wie?
Nun hat man Energie (und damit Impuls der Photonen), mittels des Winkels dann auch den Impuls und die Energie des π^0 und kann mit der Energie des Photons zu Beginn und des Viererimpulses vom π^0 auch den Viererimpuls vom Proton bestimmen.

↳ dann bräuchte man aber auch noch den Eingangszustand vom γ (x)

↳ direkte Messung einfacher

↳ deshalb CB nicht das beste Beispiel

3

Nr. 3

1) Minimalionisierende Teilchen sind Teilchen, welche genau die passende Energie haben, sodass ihr Energieverlust pro Strecke minimal wird, also $-\langle \frac{dE}{dx} \rangle$ maximal ($|-\langle \frac{dE}{dx} \rangle|$ minimal)

1

[Dies wird sicherlich erreicht, da mit steigender Energie der Teilchen der Energieverlust abnimmt (mit $1/v^2$). ?]

minimalionisierend bei $\beta\gamma \approx 3.5$

2) Aus der Vorlesung wissen wir, dass die minimale Ionisationsenergie für Myonen ~~315 MeV entspricht~~ (dies deckt sich auch mit der Formel $E = \cancel{3mc^2}$ aus Wikipedia, mit $m \approx 105\,\mathrm{MeV}/c^2$).

stimmt so einfach nicht

6

Bei 8192 Kanälen für 5 GeV, deckt ein Kanal etwa 610 keV ab. ✓

Unser Maximum der Verteilung liegt bei der minimal ionisierenden Energie und damit ergibt sich der Kanal

$$\frac{315\,\mathrm{MeV}}{610\,\mathrm{keV}} \approx 517$$ (✓) Folgefehler

1

3) $\frac{\sigma_E}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} + \frac{b}{E} + c$

genau, und
mit 150 GeV habe ich
kein $\beta\gamma = 3.5$ → nicht
mehr minimalionisierend

4) Zum einen haben wir hier einen 150 GeV Strahl, was nicht den Werten aus Aufgabe 3.2. entsprechen, und zum anderen geht in $-\langle\frac{dE}{dx}\rangle$ kein linearer Wert ein, sondern quadratische / ln-Werte. ?

hä

0.5

Nr. 4)

1. Bei Elektronen erhält man auf Grund der geringen Masse zusätzliche zu dem Verlust durch Stöße (dt. Ionisation) noch Verluste durch Bremsstrahlung. früher!

Außerdem ununterscheidbar kein Elektronen

1

2. Die kritische Energie eines Elektrons ist die Energie, ab der Verlust durch Ionisation genau so groß sind wie Verluste durch Strahlung. D.h.

$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Ionis.}}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Strahlung}} \approx 1$$

1

Für schauerstart wurde ich das hochenergetische Photon...

3. Auch die Myonen lösen Elektronen aus Materie raus (Ionisation) und bilden einen Schauer nein! (mit insgesamt gleicher Energie von 100 MeV), allerdings geben sie pro Stoß weniger Energie ab, da ihre Ruhemasse mit $105\,\frac{MeV}{c^2}$ deutlich größer ist als $m_e \approx 511\,\frac{keV}{c^2}$.

wo kommt das kein Myon her?

0

Myon zu schwer für Bremsstrahlung! $\beta\gamma \approx 4$ ~ sehr wenig Ionisation

bis zu keV

4. Bei niedrigen Energien (eV-Bereich) dominiert der Photoeffekt (gebundene Elektronen).

Bei mittleren Energien (keV MeV-Bereich) dominiert der Compton-Effekt (Elektronen als frei annehmbar da E_γ sehr groß).

Bei hohen Energien dominiert die Paarerzeugung (MeV-Bereich). ab $2m_e$, dominiert für einige MeV

joa, Bereiche stimmen grob

2

Photoeffekt: $\sim Z^4$, $E^{-7/2}$

Compton: $\sim Z$, $\sim E^{-1}$

Paarbildung: $\sim Z^2$, $\sim \ln(E)$

Nr. 5

1)

$J=\frac{3}{2}^+$		−	0	+	++
$1232\,\frac{MeV}{c^2}$	Δ	1232	1232	1232	1232
$1384\,\frac{MeV}{c^2}$	Σ^*	1387,2	1383,7	1382,8	
$1533\,\frac{MeV}{c^2}$	Ξ^*	1535	1531,8		
$1672\,\frac{MeV}{c^2}$	Ω	1672,45			

Gemittelte Masse

Alle Angaben sind in $\frac{MeV}{c^2}$

1

Up und Down-Quark Isospin 1/2, alle anderen Quarks Isospin 0.

2) $$M = M_0 + M_1 Y + M_2\left[I(I+1) - \frac{Y^2}{4}\right]$$

$Y = B + S$, $Q = I_3 + \frac{Y}{2}$

Hyperladung, Ladung

~~Isospin $\Omega: 0$, $\Xi: 1/2$, $\Sigma: 1$, $\Delta: 3/2$~~

Die Hyperladung aller Δ-Baryonen ist $Y=1$, weil sie keine Strangeness besitzen.

Σ-Baryonen besitzen alle ein Strange-Quark. Damit gilt $Y=0$, da $S=-1$

Ξ-Baryonen haben $S(\Xi)=-2 \Rightarrow Y=-1$

Ω-Baryonen haben $S(\Omega)=-3 \Rightarrow Y=-2$

Wo ist der Isospin nicht $I=\frac{3}{2}$

$$\begin{aligned} 1232 &= a + b + c\,\tfrac{7}{2} \\ 1384 &= a + b\cdot 0 + c\,\tfrac{15}{4} \\ 1533 &= a + (-1)b + c\,\tfrac{7}{2} \end{aligned} \Rightarrow \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & \frac{7}{2} & \overbrace{1232}^{c_1} \\ 1 & 0 & \frac{15}{4} & \overbrace{1384}^{c_2} \\ 1 & -1 & \frac{7}{2} & \overbrace{1533}^{c_3} \end{array}\right)$$

$$\leadsto \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & \frac{7}{2} & c_1 \\ 0 & -1 & \frac{1}{4} & c_2 - c_1 \\ 0 & -2 & 0 & c_3 - c_1 \end{array}\right) \leadsto \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & \frac{7}{2} & c_1 \\ 0 & -1 & \frac{1}{4} & c_2 - c_1 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} & (c_3 - c_1) + 2c_1 - 2c_2 \end{array}\right)$$

$$\Rightarrow M_2 = 6\,\frac{MeV}{c^2},\; M_1 = -150{,}5\,\frac{MeV}{c^2},\; M_0 = 1361{,}5\,\frac{MeV}{c^2}$$

Damit folgt für die Masse des Ω: $M_\Omega = 1679 \frac{MeV}{c^2}$

trotz Fehler passt es dann doch ...

(3)

c) Der Wert stimmt sehr gut mit dem gemessenen Wert der Ω-Baryonen überein. Die kleine Abweichung könnte ~~dat.~~ daher kommen, dass die Formel bloß eine Näherung ist oder die Konstanten vielleicht gar nicht konstant sind sondern variieren.

(4)

ist nur ein Modell...

Σ 25/40