

Aufgabe 1) Myonstahl, Polarisation

a) Woher kommen wir die Strahlpolarisation zum Beispiel im COMPASS Experiment?

Myonen werden bei Pion- / Kaon-Zerfällen produziert

z.B. Zerfall des π^+ über schwachen Zerfall:

$$\nu \leftarrow \pi^+ \rightarrow \mu^+$$

Wobei π^+ einen Spin von 0 hat, da Spinerhaltung gilt muss μ^+ einen entgegengesetzten Spin zum ν haben. ✓

Da Neutrinos linkschändig sind, ist der Spin aufgrund der negativen Helizität antiparallel zu ihrem Impuls. Somit ist auch die Spin ^{Richtung} des Myon bekannt. ✓

b) Ein Primärstrahl mit einer Energie von 200 GeV wird genutzt, um einen Myonstrahl zu erzeugen. Ist ein Primärstrahl von Pionen oder von Kaonen vorzuziehen, um eine hohe Polarisation von Myonen zu erzeugen?

Formel für Polarisation von Zerfallsmyonen:

$$P_{\mu^\pm} = \mp \frac{m_{\pi/K}^2 + \left[1 - \frac{2E_{\pi/K}}{E_\mu}\right] \cdot m_\mu^2}{m_{\pi/K}^2 - m_\mu^2}$$

3

wobei $m_\mu = 105,658 \text{ MeV}$, $m_\pi = 139,57018 \text{ MeV}$ und $m_K = 493,677 \text{ MeV}$

→ Plot siehe nächste Seite

Am Plot erkennt man, dass sehr schnell eine hohe Polarisation erreichen.

c) siehe Plot, ähnlich wie d) $|P|_{80 \text{ GeV}} = 0,8544$ ✓

1b)

In[67] = E1 = 200 000;

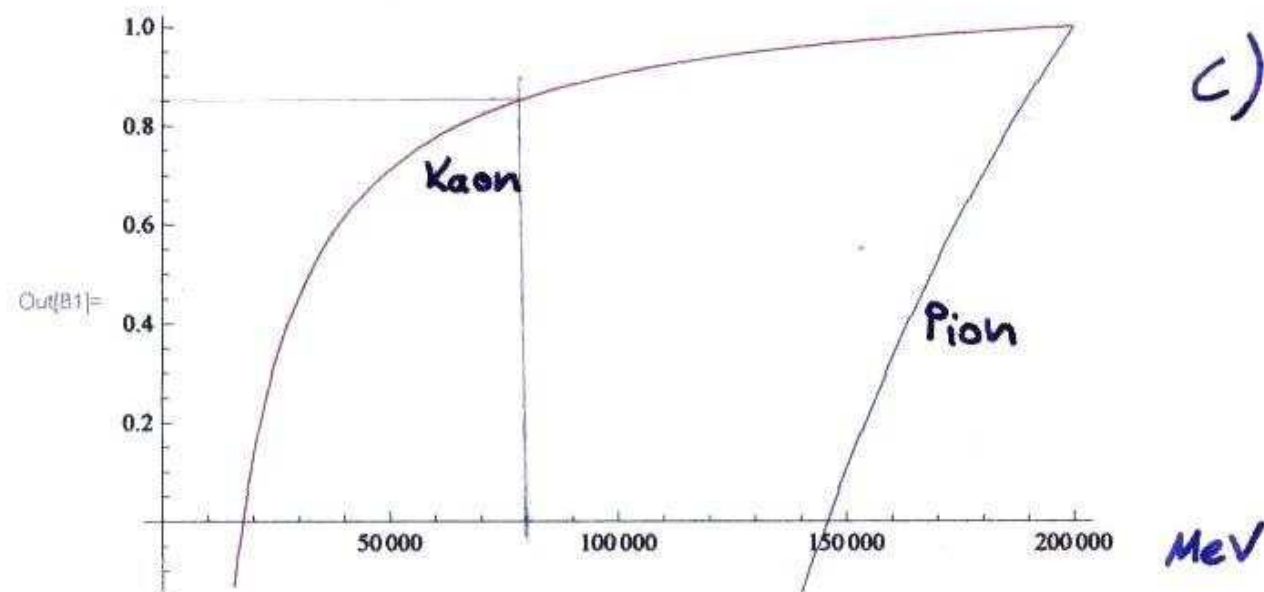
In[68] = E2 = 80 000;

In[69] = m1 = 139.57018;

In[70] = m2 = 493.677;

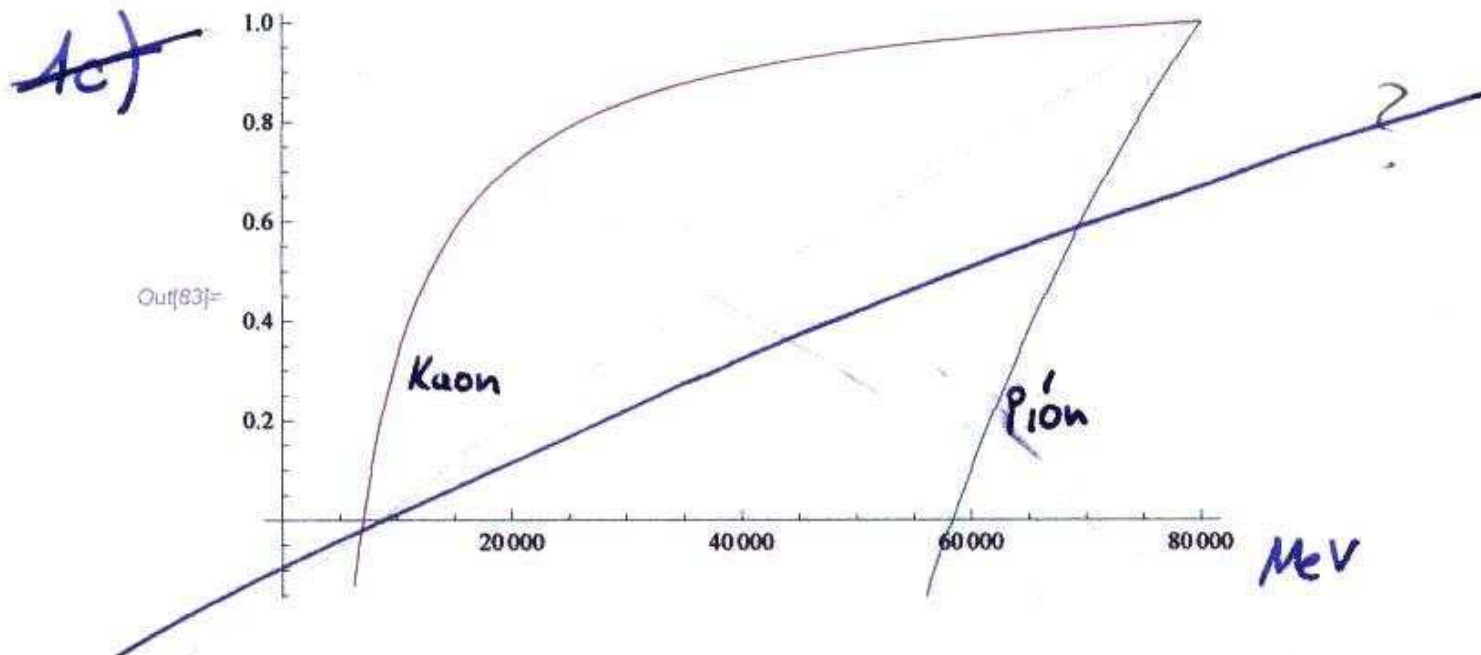
In[71] = m = 105.658;

In[81] = Show[Plot[(m2^2 + (1 - 2 * E1 / e) m^2) / (m2^2 - m^2), {e, 0, 200 000}, PlotStyle -> Red],
Plot[(m1^2 + (1 - 2 * E1 / e) m^2) / (m1^2 - m^2), {e, 0, 200 000}]]



c) bei 80 GeV:
 $|P| = 0,8544 \checkmark$

In[83] = Show[Plot[(m2^2 + (1 - 2 * E2 / e) m^2) / (m2^2 - m^2), {e, 0, 80 000}, PlotStyle -> Red],
Plot[(m1^2 + (1 - 2 * E2 / e) m^2) / (m1^2 - m^2), {e, 0, 80 000}]]



Nr 1

- a) entgegengesetzte Impulse $\rightarrow$ neutrino linkshändig
 $\rightarrow$ Spinerhaltung ($S=0$) $\Rightarrow$ myon auch linkshändig, entgegengesetzter Spin zum Neutrino.
- b) $p_\mu = \frac{m_{\pi,\mu}^2 + (1 - 2 \frac{E_{\pi,\mu}}{E_\mu}) m_\mu^2}{m_{\pi,\mu}^2 - m_\mu^2} \Rightarrow$ Kaonen erreichen hohe Polarisation schneller.
- c) siehe Mathematica - Anhang ~~letzte Blatt~~ (oben 200 GeV, unten 80 GeV)

Nr 2

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \frac{z^2 \alpha^2 (ct)^2}{4E^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{360}} \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin(\theta) d\theta d\varphi = \frac{z^2 \alpha^2 (ct)^2}{4E^2} \cdot 2\pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{180}} \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) d\theta$$

$$= \frac{z^2 \alpha^2 (ct)^2 \pi}{E^2} \left(\frac{4}{\cos\left(\frac{\pi}{180}\right)} - \frac{4}{\cos\left(\frac{\pi}{36}\right)} \right) \approx 29,57 \text{ GeV}^2 - 20,25 \text{ GeV}^2$$

hier direkt
Energie statt
Schwerpunktsene
einsetzen!

$$s = 29,57 \text{ GeV}^2 - 20,25 \text{ GeV}^2 = 9,32 \text{ GeV}^2 \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{\alpha^2 (ct)^2 \pi}{s} \left(\frac{4}{\cos\left(\frac{\pi}{180}\right)} - \frac{4}{\cos\left(\frac{\pi}{36}\right)} \right) = 5,77 \cdot 10^{-33} \text{ m}^2 = 5,77 \mu\text{b} \quad \checkmark$$

Nr 3

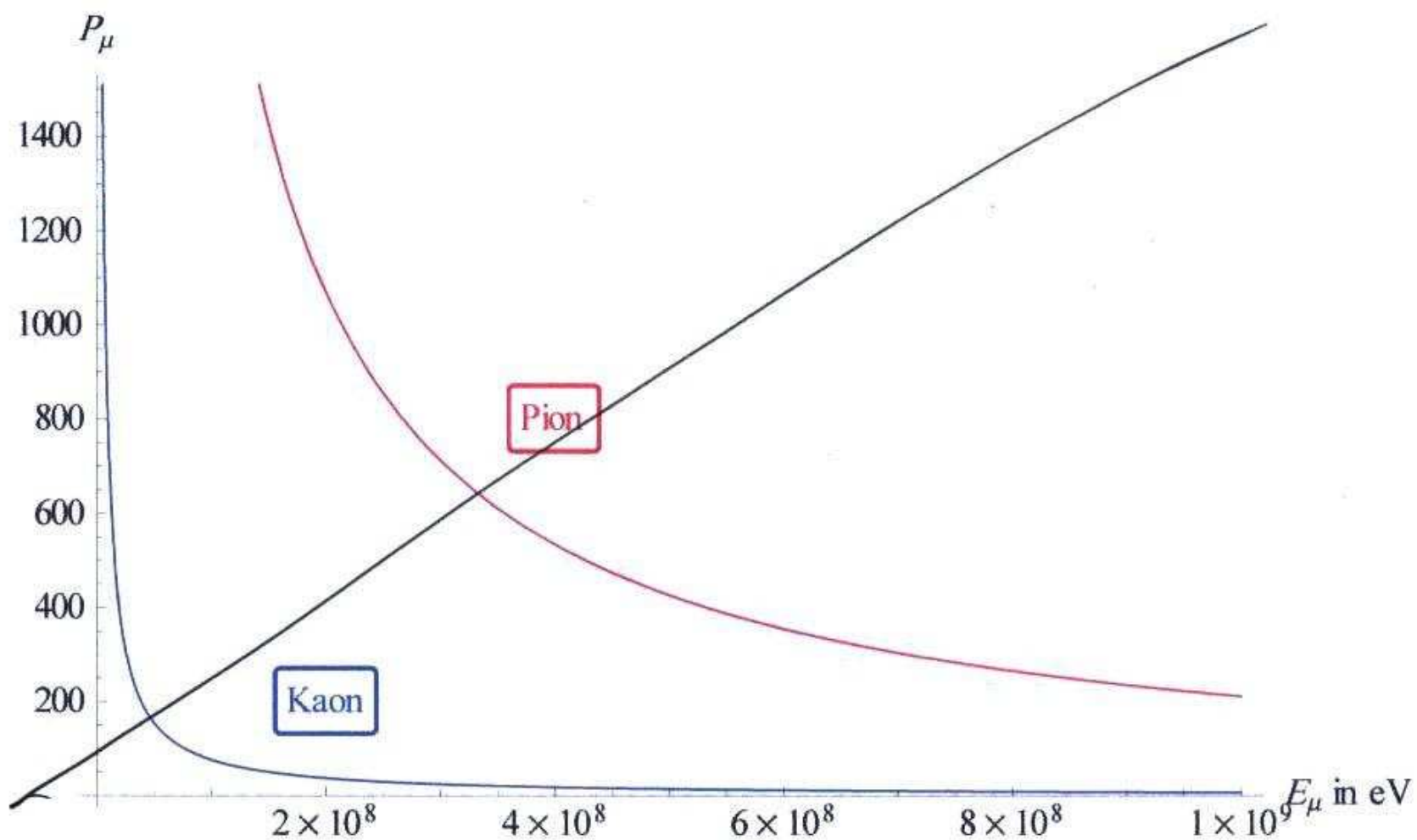
a) $\beta = \frac{v}{c} \Rightarrow \beta_1 = \frac{1}{\gamma_1} = \frac{1}{7,02531} = 0,9753$
 $\beta_2 = \frac{1}{\gamma_2} = \frac{1}{7,001712} = 0,9983$
 $\beta_3 = \frac{1}{\gamma_3} = \frac{1}{7,000735} = 0,99965$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{E}{m} \Rightarrow \beta = \sqrt{1 - \frac{m^2}{E^2}} = \sqrt{1 - \frac{m^2}{p^2 + m^2}} \Rightarrow p = \sqrt{\frac{m^2}{1-\beta^2} - m^2}$$

	$e^- (m=511 \text{ keV})$	$\pi (139,57 \text{ MeV})$	$K (493,7 \text{ MeV})$	$p (938,3 \text{ MeV})$
1	$p_{e1} = 2,26 \text{ MeV}$	$676,46 \text{ MeV}$	$2180,5 \text{ MeV}$	$4,144 \text{ GeV}$
2	$p_{e2} = 8,73 \text{ MeV}$	$2384,2 \text{ MeV}$	4433 MeV	$16,03 \text{ GeV} \quad \checkmark$
3	$p_{e3} = 31,7 \text{ MeV}$	$8493,9 \text{ MeV}$	$30,097 \text{ GeV}$	$57,04 \text{ GeV} \quad \checkmark$

(Grenzimpuls ab der Gegenkonstrahlung entsteht)

- b) Differenz von $0,5^\circ$ bis zu 7556 MeV erkennen
 (siehe Mathematica - Anhang!) $\checkmark$



Nr 3 b)

$$\beta_1 = \sqrt{1 - \frac{m_{\pi}^2}{p^2 + m_{\pi}^2}};$$

$$\beta_2 = \sqrt{1 - \frac{m_K^2}{p^2 + m_K^2}};$$

$$n = 1.02531;$$

$$\text{pion}[p_] = \text{ArcCos}[1 / (n * \sqrt{1 - \frac{m_{\pi}^2}{p^2 + m_{\pi}^2}})];$$

$$\text{kaon}[p_] = \text{ArcCos}[1 / (n * \sqrt{1 - \frac{m_K^2}{p^2 + m_K^2}})];$$

```
Show[Plot[pion[p]*180/π, {p, 616.46*10^6, 10000*10^6}, PlotStyle->Red,
ImageSize->600, PlotStyle->Red, AxesLabel->{"E_μ in
eV", "P_μ"}, BaseStyle->{FontSize->16}, Epilog->{Inset[
```

```
Framed[
```

```
"Pion", RoundingRadius->5
```

```
], {2*10^9, 12.5}, Background->Transparent, BaseStyle->Red
```

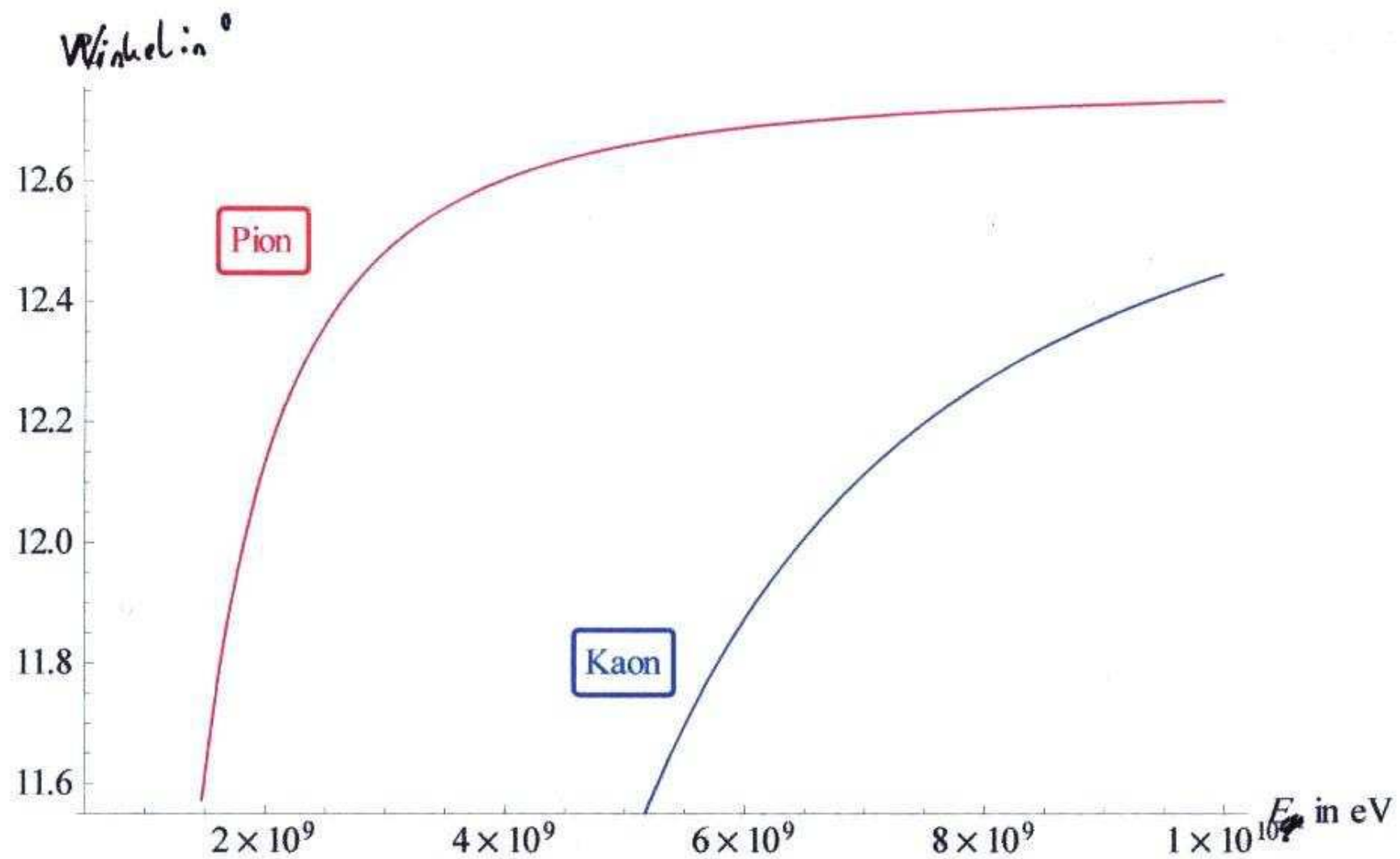
```
], Inset[
```

```
Framed[
```

```
"Kaon", RoundingRadius->5
```

```
], {5*10^9, 11.8}, Background->Transparent, BaseStyle->Blue
```

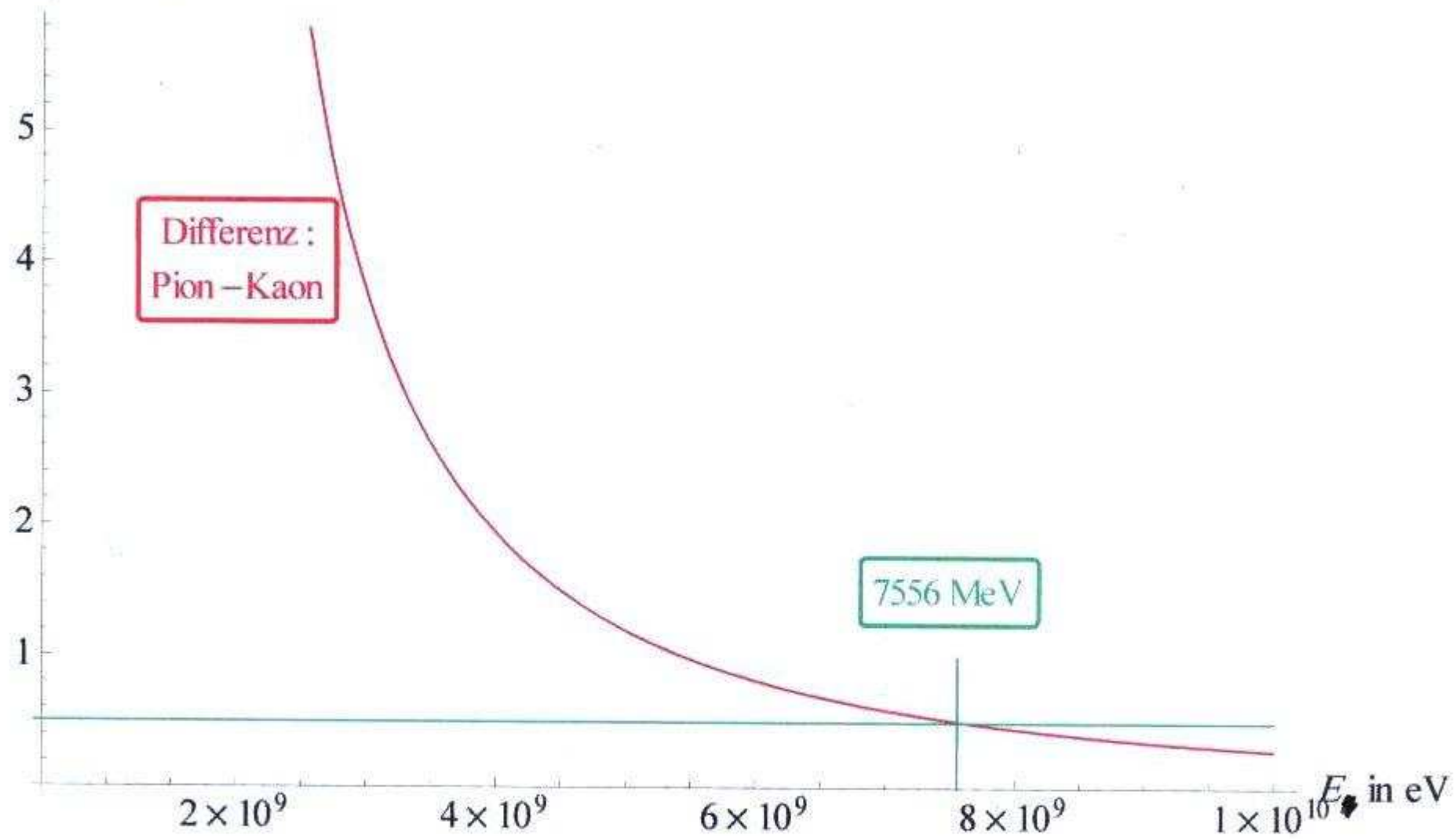
```
]]], Plot[kaon[p]*180/π, {p, 2180*10^6, 10000*10^6}, PlotStyle->Blue]]
```



```
Plot[(pion[p]-kaon[p])*180/π,{p,616.46*10^6,10000*10^6},PlotStyle
->Red,ImageSize->600,PlotStyle->Red,AxesLabel->{"E_μ in
eV","P_μ"},BaseStyle->{FontSize->16},Epilog->{Inset[
  Framed[
    "Differenz: %nPion-Kaon",RoundingRadius->5
  ],{2*10^9,4},Background->Transparent,BaseStyle->Red
],Inset[
  Framed[
    "7556MeV",RoundingRadius->5
  ],{7.5*10^9,1.5},Background->Transparent,BaseStyle->Green
],,{Green,Line[{{0,0.5},{10*10^9,0.5}}]}, {Green,Line[{{7556*10^6,0},{7556*10^6,1}}]}}]
```

Korrekt ✓

Winkel in °



✓