

Teilchen- und Kernphysik WS 2018/19

M. Kobel, K. Danziger, L. Wüst, O. Novgorodowa

Übung 1, Ausgabe 11.10.2018

1 Anwesenheitsübung, Diskussion zur Vorlesung

1.1 Die relativistischen Größen β und γ

Drücken sie die Verhältnisse E/mc^2 , p/mc und E_{kin}/mc^2 durch $\beta = v/c$ und $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ aus, wobei m die Ruhemasse der Teilchen bedeutet. Wie kann man relativistisch daher einfach β durch p und E ausdrücken? Was ist der nicht-relativistische Grenzfall?

2 Hausaufgaben

2.1 Schwellenproduktion

In Teilchenkollisionen können neue Teilchen erzeugt werden, sofern die Gesamtenergie der Teilchen im Anfangszustand (kinetische Energie plus Ruheenergie) groß genug ist, um mindestens die Masse der neuen Teilchen im Endzustand zu erzeugen.

Wir betrachten im Folgenden die Teilchenreaktion $A + B \rightarrow C + D$, wobei die Massen der Teilchen im Anfangszustand klein sein sollen: $m_A + m_B \ll m_C + m_D$, $m_A c^2 \ll E_A$ und $m_B c^2 \ll E_A$. Der Vierervektor des Gesamtsystems ist gegeben durch $P^\mu = p_A^\mu + p_B^\mu$

- Interpretieren Sie anschaulich $P_\mu P^\mu = (E/c)^2 - \vec{P}^2 = M^2 c^2$: Wie hängt diese so genannte "invariante Masse" M vom Bezugssystem ab? Welcher Zusammenhang muss zwischen M , m_C und m_D gelten, damit die Reaktion möglich ist? In welchem Bezugssystem sehen Sie das am einfachsten?
- Berechnen Sie im Schwerpunktsystem die Minimalenergie von Teilchen A, um Teilchen C und D produzieren zu können.
- Berechnen Sie in einem Bezugssystem, in dem das Teilchen B ruht, die Minimalenergie von Teilchen A, um Teilchen C und D produzieren zu können.
- Was ist energetisch günstiger, um Teilchen C und D zu produzieren: Produktion mit bewegtem Teilchen A und ruhendem Teilchen B ('Fixed Target Experiment') oder frontal aufeinander geschossenen Teilchen A und B ('Collider Experiment')?

2.2 Invariante Masse: Wie entdeckt man neue Teilchen?

In der abgebildeten Blasenkammeraufnahme sieht man ein von unten einfliegendes elektrisch geladenes Teilchen. Die Spur endet, was so interpretiert wird, dass eine Reaktion mit einem Proton des Wasserstoffs in der Blasenkammer stattgefunden hat. In einiger Entfernung sind zwei Paare von elektrisch geladenen Spuren sichtbar. Dies wird so interpretiert, dass bei der Reaktion zwei elektrisch neutrale Teilchen entstanden sind, die daraufhin in jeweils zwei elektrisch geladene Teilchen zerfallen. Beim rechten Paar von elektrisch geladenen Spuren handelt es sich um ein Proton und ein negativ elektrisch geladenes Pion π^- .

Benutzen Sie die Light-Meson-Table der "Particle Data Group" <http://pdg.lbl.gov/2018/tables/rpp2018-tab-mesons-light.pdf>, um die Eigenschaften des geladenen Pions nachzuschlagen. Die gemessenen Impulsbeträge der beiden Teilchen in einem solchen Zerfall seien $|\vec{p}_p| = 0,68 \text{ GeV}/c$ und $|\vec{p}_\pi| = 0,27 \text{ GeV}/c$, und der Winkel zwischen den beiden Spuren betrage $\theta(p;\pi) = 11^\circ$. Bestimmen Sie daraus die invariante Masse für das unbekannte Teilchen X, für die Zerfallshypothese: $X \rightarrow p + \pi^-$. Um welches Teilchen handelt es sich?

Benutzen Sie dazu die beiden "Particle Data Group Summary Tables"

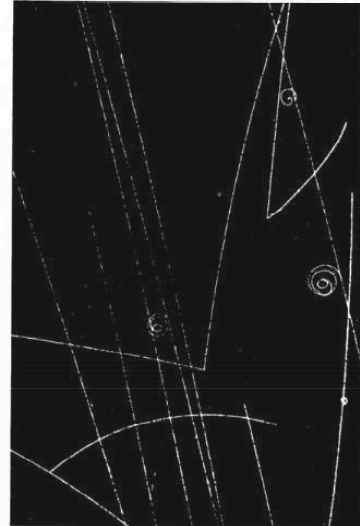
<http://pdg.lbl.gov/2018/tables/rpp2018-qtab-baryons.pdf>

<http://pdg.lbl.gov/2018/tables/rpp2018-qtab-mesons.pdf>,

um nach dem Teilchen X anhand seiner Masse (in runden Klammern in MeV) zu suchen. Benutzen Sie die Erhaltung des Drehimpulses J um zu beurteilen, welche Teilchen in Frage kommen. Suchen Sie dann das Teilchen in der vollständigen Ausgabe der Listings im pdf

<https://journals.aps.org/prd/pdf/10.1103/PhysRevD.98.03000> oder der Webseite

http://pdg.lbl.gov/2018/tables/contents_tables.html und prüfen Sie, ob auch andere Quantenzahlen wie elektrische Ladung erhalten sind.



2.3 Umrechnung Natürlicher Einheiten

In fast allen Publikationen und den meisten Lehrbüchern der Teilchenphysik werden natürliche Heaviside-Lorentz-Einheiten ($\epsilon_0 = \mu_0 = 1$ und $\hbar = c = 1$) verwendet, in denen alle Größen der Physik in Einheiten in Potenzen der Energie GeV^k gemessen werden können. Wenn man Zahlenwerte zwischen natürlichen HL-Einheiten und SI-Einheiten umrechnen möchte, muss man systematisch der Reihe nach durch Multiplikation oder Division.

1. mit Hilfe von $\frac{1,6 \times 10^{-19} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}}{10^{-9} \text{ GeV}} = 1$ die Potenz von kg anpassen,
2. mit Hilfe von $\frac{3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{c} = 1$ die Potenz von s anpassen,
3. mit Hilfe von $\frac{0,2 \text{ GeV fm}}{\hbar c} = 1$ die Potenz von m anpassen,

wobei beim Rechnen die HL-Werte $\hbar = c = 1$ beibehalten werden, und damit also wegfallen. Meist sieht man jedoch mit etwas Übung sofort, welche Faktoren fehlen, ohne Schritt für Schritt nach der obigen Regel vorgehen zu müssen.

- Die Lebensdauer des Higgs-Teilchens wird üblicherweise über seine so genannte Zerfallsbreite $\Gamma = 4,2 \text{ MeV}$ angegeben, aus der sich eine Lebensdauer $\tau = 1/\Gamma = 240 \text{ GeV}^{-1}$ ergibt. In diesem Fall kann man mit etwas Übung "durch Anschauen" erkennen, welche Faktoren fehlen, um τ in Sekunden auszudrücken. Überzeugen Sie sich, dass die schrittweise Lösung 1)-3) dasselbe Ergebnis liefert.
- Gehen Sie nun den umgekehrten Weg (aber mit derselben Reihenfolge 1, 2, 3) von $G = 7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg s}^2)$ in SI Einheiten zu $G = 0,7 \times 10^{-38} \text{ GeV}^{-2}$. Überzeugen Sie sich, dass $G = 1/M_{\text{Planck}}^2$ und versuchen Sie, durch Einsetzen ins Gravitationsgesetz zu verstehen, warum die Gravitation zwischen Elementarteilchen im Vergleich zu den anderen Wechselwirkungen extrem schwach ist.