ATP Übungsblatt 1

Tobias Rücker
tobias.ruecker@tu-dortmund.de

Paul Störbrock
paul.stoerbrock@tu-dortmund.de

4. Mai 2020

Abgabegruppe: **Mittw. 10-12 Uhr**

Inhaltsverzeichnis

1 Aufagabe 1

Aufgabe 1: *Avocadostrahlung* **5 P.**

Bilder der Sonne können in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen aufgenommen werden und neben der elektromagnetischen Strahlung auch mit anderen Botenteilchen, zum Beispiel mit Neutronen erstellt werden.

a) Wieso können solare Neutronen, die im ungebundenen Zustand eine mittlere Lebensdauer von 879,4 s besitzen, an der Erde detektiert werden?

b) Die Neutronenastronomie wird nicht nur mit der Sonne betrieben. Es wird auch versucht galaktische Quellen zu untersuchen. Wie hochenergetisch müssen Neutronen sein damit sie vom Zentrum der Milchstraße aus detektiert werden können?

Hinweis: Die Distanz zwischen der Sonne und dem Zentrum der Milchstraße beträgt 8,178 kpc.

c) Geben Sie eine einfache Faustformel zwischen Reichweite in Parsec und Neutronenenergie in PeV an.

d) In der Vorlesung wurde bei dem Neutronenbild der Sonne auch der Vorschlag gemacht, es könnte sich um Myonen handeln. Kann ein Bild der Sonne auch mit Myonen als Botenteilchen erstellt werden?

1.1 a)

Das Neutron hat eine finite Lebensdauer von ca. 879,4 s. Mit der Formel

$$v = \frac{d}{t} \Leftrightarrow v \cdot t = d \tag{1}$$

lässt sich die zurückgelegte Distanz bestimmen. Da das Neutron mit annähernder Lichtgeschwindigkeit propagiert ($v \sim c$), kann man als Reisedauer des Neutrons die Lebensdauer für t einsetzen. Da sich das Neutron mit ungefährer Lichtgeschwindigkeit fortbewegt, muss die Distanz relativistisch, also mit der Formel

$$\gamma \cdot v \cdot t = d \qquad \text{mit } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{2}$$

bestimmt werden. Da v hier gegen die Lichtgeschwindigkeit c konvergeiert, kürtzt sich γ weg, und es bleibt Formel (1) stehen. Somit ergibt sich für die maximale Distanz, die ein Neutron während dessen Lebensdauer zurücklegen kann:

3.1

$$3 \cdot 10^8 \, ^{m}/_{s} \cdot 879{,}4\,\text{s} = 263\,637\,487\,565{,}20\,\text{m} \;\Leftrightarrow 1{,}76\,\text{au} \tag{3}$$

Demnach könnte ein Neutron bei annähernder Lichtgeschwindigkeit 176 % der Stecke zwischen Erde und Sonne zurücklegen, was uns erlaubt Neutronen auf der Erde zu beobachten.

3.2

1.2 b)

Die relativistische Gesamtenergie R_{ges} wird mit der Ruheenergie R_0, der Ruhemasse m_0

3.3

und der kinetischen Energie $E_{kin} = c^2 \cdot p^2$ bestimmt:

$$E_{ges}^2 = E_0^2 + c^2 \cdot p^2 \qquad \text{mit } p = m_0 \cdot v \tag{4}$$

4.1

$$E_{ges}^2 \overset{relativistisch}{=} E_0^2 + \frac{c^2 \cdot m_0^2 \cdot v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \tag{5}$$

Wird Formel (2) nach v umgestellt und in (5) eingesetzt, kürtzt sich das γ raus und es folgt:

$$E_{ges}^2 = d^2 t^2 \cdot c^2 m_0^2 - m_0^2 c^2 \tag{6}$$

4.2

1.3 c)

1.4 d)

Ein Myon hat eine Halbwertszeit von 1,52 µs. Um die Erde mit relativistischer Geschwindigkeit zu erreichen, bräuchte ein Teilchen ~499 s. Demnach würde das Myon auf dem Weg zerfallen und kann deswegen nicht von der Erde aus beobachtet werden. 4.3

2 Aufgabe 2

4.4

Aufgabe 2: *Sonnenstrahlung* **5 P.**

Für eine erste Abschätzung der Oberflächentemperatur der Erde können die Sonne und die Erde als Schwarzer Körper genähert werden. Der Strahlungshaushalt ist dabei durch die einkommende Strahlungsleistung der Sonne und der abgestrahlten Leistung der Erde definiert.

Dabei sei die Oberflächentemperatur der Sonne $T_\odot = 5780\,\mathrm{K}$, der Radius der Sonne $R_\odot = 6{,}96 \cdot 10^8\,\mathrm{m}$ und der Radius der Erde $R_{\mathrm{Erde}} = 6360\,\mathrm{km}$.

a) Bestimmen Sie zunächst mit dem Stefan-Boltzman-Gesetz die Luminosität der Sonne und berechnen Sie daraus den Fluss in einer Distanz von 1 au.

b) Circa 30 % der eintreffenden Strahlung wird reflektiert (Albedo). Wie hoch ist die Gesamtenergie, die von der Erde absorbiert wird.

c) Nehmen Sie nun an, dass auch die Erde ein Schwarzer Körper ist. Zeigen Sie mit der absorbierten Energie und der Luminosität der Erde, dass sich die Gleichgewichtstemperatur von

$$T_{\mathrm{eq}} = T_\odot \sqrt[4]{\frac{1 - \mathrm{Albedo}}{4} \left(\frac{R_\odot}{1\,\mathrm{au}}\right)^2} \approx 255\,\mathrm{K} \tag{1}$$

ergibt.

d) Welche weiteren Effekte gibt es, sodass die Oberflächentemperatur der Erde von etwa 288 K über der ermittelten Gleichgewichtstemperatur liegt?

2.1 a)

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz lautet $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$, wobei P die Luminosität der Schwarzkörpers ist.

$$A = 4\pi R_{Sonne}^2 \tag{7}$$

T_{Sonne}	5780 K
R_{Sonne}	696 000 km
R_{Erde}	6360 km

Tabelle 1: Messwerte

Die Luminosität der Sonne beträgt:

$$P_{Sonne} = 3{,}85 \cdot 10^{26}\,\text{W} \tag{8}$$

Die Flussdichte der Sonne in Distanz von 1au

$$f = \frac{P_{\text{Sonne}}}{4\pi R^2} = \frac{4\pi R_{\text{Sonne}}^2 \sigma T^4}{4\pi R^2} = \frac{R_{\text{Sonne}}^2 \sigma T^4}{R^2} = 1368{,}95\,\text{W}\,\text{m}^{-2} \tag{9}$$

2.2 b)

Der Absoptionsfaktor für die Erdatmosphäre ist 0,7. Die Energieaufnahme beträgt dann

$$L = 0,7 \cdot f_{1au} \cdot A_{\text{Erde}} = 0,7 \cdot 1368{,}95\,\text{W}\,\text{m}^{-2} \pi 6360 \cdot 10^3\,\text{m} = 173\,\text{PW} \tag{10}$$

2.3 c)

$$P_{eq} = P_{ein} - P_{aus} \tag{11}$$

$$4\sigma\pi R^2 T_{eq}^4 = \pi R^2 f - Albedo\,\pi R^2 f \tag{12}$$

$$4\sigma T_{eq}^4 = (1 - Albedo) f \tag{13}$$

$$4\sigma T_{eq}^4 = (1 - Albedo) \frac{R_{\text{Sonne}}^2 \sigma T^4}{R^2} \tag{14}$$

$$T_{eq} = T_{\text{Sonne}} \sqrt{\frac{[}{4}]1 - Albedo4 \left(\frac{R_{\text{Sonne}}}{R}\right)^2} \tag{15}$$

$$T_{eq} = T_{\text{Sonne}} \sqrt{\frac{[}{4}]1 - Albedo4 \left(\frac{R_{\text{Sonne}}}{1au}\right)^2} \approx 255\,\text{K} \tag{16}$$

$$\tag{17}$$

2.4 d)

Ein Teil der Strahlung, welche von der Erde reflektiert wird, gelangt in die Atmosphäre und regt Schwingungen bei Treibhausgasen an. Diese emittieren die Strahlung zurück auf die Erde, wovon wiederum ein Teil absorbiert wird. Ein anderer Teil der Erdwärme entsteht wiederum durch vulkanische Aktivitäten und ähnliches.

3 Aufgabe 3

Aufgabe 3 **5 P.**

a) Erklären Sie die physikalische Entstehung der Wasserstofflinie bei einer Wellenlänge von $\lambda \approx 21{,}1\,\text{cm}$.

b) Berechnen Sie aus λ, welcher Frequenz und welcher Energie (in eV) dieser Übergang entspricht.

c) Die Emission der Wasserstofflinie ist diskret, entspricht also einer festen Wellenlänge. Aus welchen Gründen können trotzdem Wellenlängen beobachtet werden, welche sich vom genauen Wert von λ unterscheiden?

d) Nennen und erläutern Sie mindestens zwei Anwendungen der Wasserstofflinie in der Astronomie oder Kosmologie. Was sind hierbei besondere Vorteile der Wasserstofflinie?

3.1 a)

Die Wasserstofflinie der Wellenlänge $\lambda = 21\,\text{cm}$ ensteht durch den Hyperfeinstrukturübergang des Wasserstoffatoms. Bei einem Wasserstoff können die Spins entweder parallel oder entgegen gesetzt zueinander ausgerichtet sein. Dabei ist die parallele Ausrichtung der enretisch höhere Zustand. Bei einem Übergang von dem parallelen zum entgegengesetzten Zustand dem SSpin-Flip"wird die H1 Linie ausgesendet.

3.2 b)

Die Frequenz der H1-Wellenlänge beträgt:

$$f_{H1} = 1{,}42\,\text{GHz}$$

und die Energie zur Wellenlänge $\lambda = 21\,\text{cm}$ beträgt

$$E_{H1} = 0{,}00\,\text{eV} \tag{18}$$

3.3 c)

Die Wellenlängen der Wasserstofflinie mögen fest sein, allerdings bewegen sich die Quellen, wodurch der Dopplereffekt auftritt. Lichtwellen vom z.B. sichbaren Spektrum deren Quellen sich vom Beobachter entfernen werden ins rote verschoben, während Quellen, die sich auf den Beobachter zubewegen ins blaue verschoben werden. Dadurch werden auch andere Wellenlängen beobachtet.

3.4 d)

Die Wasserstofflinie wird in der Astrologie benutzt, um die Geschwindigkeiten interstellarer Gaswolken relativ zu Erde zu bestimmen. Über de auftretenden Dopplereffekt wurde die Rotationsgeschwindigkeit der Milchstraße gemessen. Zudem konnte damit die Verteilung des Wasserstoffs im Universum bestimmt werden. Der Vorteil der 21-cm Linie liegt darin, dass sie aufgrund ihrer großen Wellenlänge kaum gedämpft wird. Zudem ist Wasserstoff das am häufigsten vorkommende Element, wodurch sie an vielen Objekten im Universum gemessen werden kann.

Index der Kommentare

1.1 Schön, dass ihr dass sogar getexed habt! :D Muss aber auch nicht sein, wenns zu aufwendig ist.

1.2 Insgesamt: 11.5/15
Gute Abgabe, und sehr übersichtlich durch LaTeX, aber es haben sich leider ein paar Rechenfehler eingeschlichen.

3.1 Gamma kürzt sich nicht weg, sondern ist für v=c nicht definiert (Singularität). Eben die Konvergenz gegen unendlich äußert sich in Zeitdilatation/ Längenkontraktion. Ihr rechnet einfach klassisch.

3.2 Zeitdilatation verstärkt die Neutronenintensität weiter.

3.3 Meintet ihr E statt R?

4.1 Hier fehlt ein Gamma, aber unten steht das zum Glück wieder

4.2 Das d^2 müsste im Nenner stehen, "-" -> "+" und Werte einsetzen wäre gut.

4.3 Das stimmt zum Teil. Mit genügend Energie erreichen auch Myonen die Erde, aber das sind für die Sonne viel zu hohe Energien.

4.4 A1: 2.5/5 P.

5.1 Hier fehlt nen ^2 und ich glaube, ihr habt beim Einsetzen die 0.7 vergessen

5.2 Schöner Flashback zur Kurzfrage aus Physik 3 :D

5.3 A3: 4.5/5P.

6.1 Tex-Fehler, evtl. durch Rundung?

6.2 Gitbt noch andere Effekte -> s. Übung

7.1 A3: 4.5/5P.