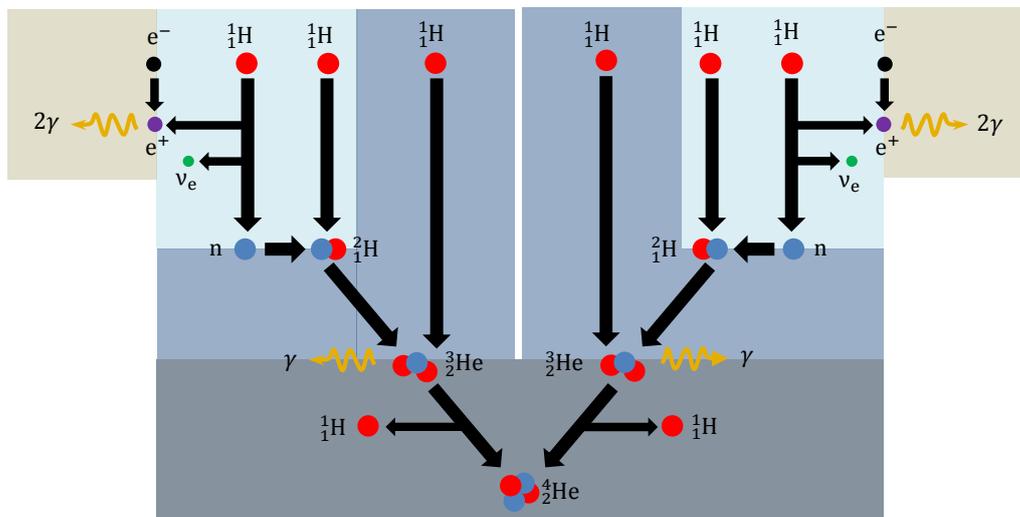


Übungsblatt 1 – Solare Energieerzeugung und Sonnenspektrum

Aufgabe 1: Fusionsprozess in der Sonne

Die von der Sonne emittierte Strahlung stammt im momentanen Sonnenalter primär aus der stellaren Verschmelzung von ${}^1\text{H}$ -Wasserstoffkernen zu ${}^4\text{He}$ -Heliumkernen (Proton-Proton-Reaktion I). Folgendes Diagramm zeigt die beteiligten Teilchen und Prozesse dieser Reaktion:



a.) Ordnen Sie folgende Prozesse entsprechend der farbigen Unterteilung dem obigen Diagramm zu:

- 1.) Deuteriumfusion: ${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} + e^+ + \nu_e + 0,42 \text{ MeV}$
- 2.) Anihilation: $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma + 1,02 \text{ MeV}$
- 3.) Heliumfusion: ${}^2_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma + 5,49 \text{ MeV}$
- 4.) Hauptfolgereaktion: ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + 12,86 \text{ MeV}$

b.) Wieviel Energie wird während der kompletten Reaktion frei? Wie kann ausgehend von obigem Reaktionsdiagramm die Endlichkeit der Proton-Proton-Reaktion und damit die der Energiequelle Sonne erklärt werden?

c.) Pro Sekunde verschmelzen eine Vielzahl an Wasserstoffkernen, so dass sich die freiwerdende Energie auf $2,39 \cdot 10^{45} \text{ eV}$ aufsummiert. Berechnen Sie den Masseverlust der Sonne pro Sekunde und Jahr, der mit der Proton-Proton-Reaktion einhergeht.

d.) Berechnen Sie die pro Fläche ($r_{\text{sun}} = 696.342 \text{ km}$) von der Sonnenoberfläche abgestrahlte Leistung, d.h. die spezifische Abstrahlung. Wie groß ist die spezifische Abstrahlung am äußeren Rand der Erdatmosphäre ($r_{\text{sun-earth}} = 149,6 \text{ Mio. km}$)?

e.) Wie lange müsste die ankommende Leistung auf der Erdoberfläche ($r_{\text{earth}} = 6.378 \text{ km}$) eingefangen werden, um den Weltprimärenergiebedarf von rund 142,3 PWh zu decken?

Aufgabe 2: Photonenstatistik

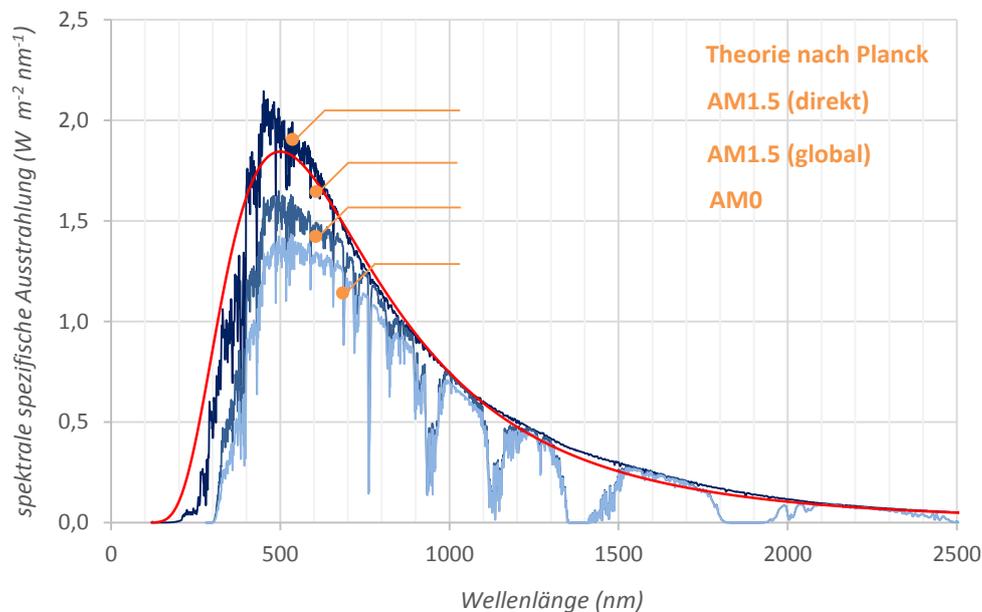
Die in der Sonne durch Fusionsprozesse erzeugte Energie erreicht die Erde in Form elektromagnetischer Strahlung. Ausgehend vom Welle-Teilchen-Dualismus des Lichtes lässt sich die elektromagnetische Strahlung sowohl als Welle als auch als Teilchen (Photonen) beschreiben. Statistische Betrachtungen zur energetischen Verteilung dieser Photonen führen auf das in der Vorlesung diskutierte Planck'sche Strahlungsgesetz, das in Frequenzdarstellung folgendermaßen geschrieben werden kann:

$$e_\gamma d\omega d\Omega = \frac{\hbar}{4\pi^3 c^3} \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}} - 1} d\omega d\Omega$$

- Leiten Sie durch Maximieren des Planck'schen Strahlungsgesetzes eine Formel für die Frequenz ω^{\max} mit der maximalen Energiedichte e_γ^{\max} im Spektrum des schwarzen Körpers ab. Der so gefundene Ausdruck ist unter dem Namen Wien'sches Verschiebungsgesetz bekannt.
- Bestimmen Sie mit Hilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes und Ihrem Ergebnis aus Aufgabe 1 nun die Temperatur der Sonnenoberfläche (Photosphäre). Verwenden Sie danach die oben abgeleitete Formel zur Bestimmung der Frequenz am Punkt der maximalen Energiedichte.
- Wie groß wäre der von der Sonne ausgehende Photonenfluss ϕ auf der Erde, wenn Sie annehmen, dass die komplette Strahlung der Sonne mit der in b) bestimmten Frequenz auf die Erde trifft?

Aufgabe 3: Solares Spektrum

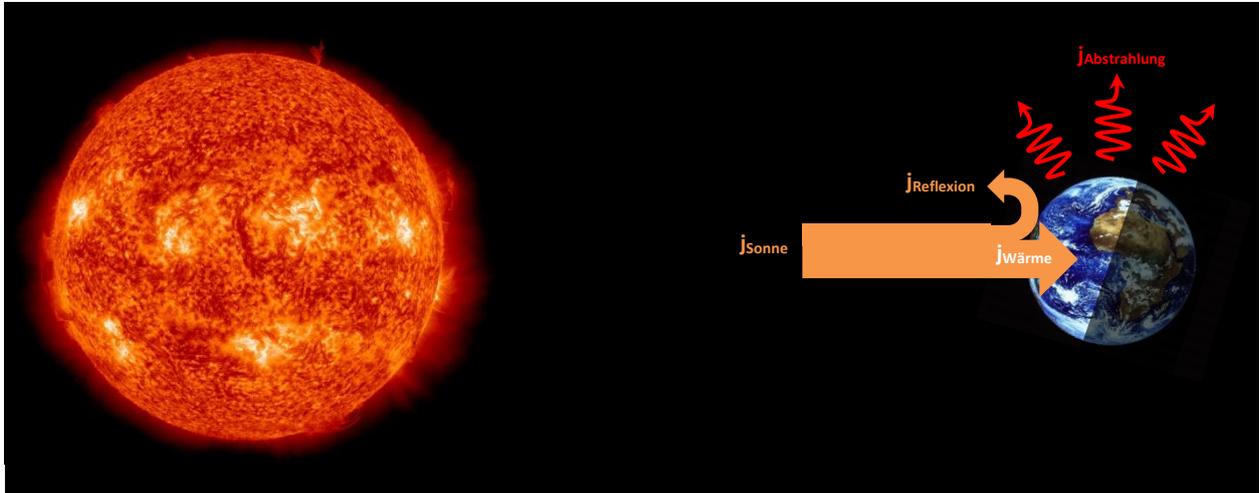
Untenstehendes Diagramm zeigt die spektrale Abstrahlung nach dem Planck'schen Gesetz für einen Schwarzen Körper mit einer Temperatur von 5.800 K, sowie die experimentell ermittelten solaren Spektren für verschiedene Luftmassen (engl. Air Mass, AM) und Strahlungsarten.



- Ordnen Sie den vier Verläufen in obigem Diagramm die zugehörigen Bezeichnungen zu und begründen Sie Ihre Wahl ausführlich. Nehmen Sie dabei insbesondere zur Definition der Luftmasse Stellung.
- Durch welche Effekte entstehen die Unterschiede zwischen den experimentellen Kurven und wie sind die charakteristischen Einbrüche im Spektrum nach Passieren der Atmosphäre zu erklären?

Aufgabe 4: Treibhauseffekt

Die Relevanz der photovoltaischen Energiewandlung liegt in erster Linie in der Reduzierung des Treibhausgasausstoßes und damit in einer Reduzierung des damit in Verbindung gebrachten Temperaturanstiegs auf der Erde. Im Folgenden soll der Einfluss der Atmosphäre und deren Zusammensetzung auf die mittlere Erdoberflächentemperatur diskutiert werden.



- a.) Berechnen Sie unter Annahme eines stationären Gleichgewichts zwischen der von der Erdoberfläche absorbierten und wieder emittierten Leistung die Temperatur der Erde in Abwesenheit einer Atmosphäre (Emissionsvermögen $\varepsilon = 1$). Berücksichtigen Sie hierbei, dass die solare Strahlung effektiv nur von der Querschnittsfläche der Erde absorbiert wird, die Abstrahlung hingegen von der kompletten Oberfläche erfolgt. Gehen Sie zudem von einem Reflexionsanteil an der Erdoberfläche von 30 % aus, der selbst nicht zur Erwärmung der Erde beiträgt. Die Abstrahlung wird über das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschrieben.
- b.) Diskutieren Sie die Abweichung der oben abgeschätzten Erdtemperatur von der tatsächlich gemessenen Durchschnittstemperatur von rund $+15\text{ °C}$. Wie lässt sich die obige Modellrechnung in dieser Hinsicht verbessern?
- c.) Erklären Sie ausgehend von der bisherigen Diskussion warum ein erhöhter Treibhausgasausstoß eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur auf der Erde zur Folge haben sollte. Recherchieren Sie welche Treibhausgase für das Weltklima besonders kritisch sind.

Bemerkungen:

- Die Übungsblätter werden jeweils eine Woche vor der Übung in der Vorlesung verteilt. Alternativ können die Aufgaben auch von der Internetseite des ZSW oder im ILIAS-Portal bezogen werden.
→ Link: www.zsw-bw.de/infoportal/vorlesungen.html
→ Link: <https://ilias.studium.kit.edu/>
- Zur Organisation der Vorlesungsteilnehmer ist ein Anmelden im ILIAS-Portal erforderlich. Loggen Sie sich hierzu bitte bis spätestens zum 13.05.16 im ILIAS-Kurs „Photovoltaik“ ein.
→ Link: <https://ilias.studium.kit.edu/>