

609 Sonne - Modellvorstellung

Schülerinnen und Schüler fragen nach dem Ablauf im Inneren der Sonne.

Typisches Schulbuchzitat: „Im Inneren der Sonne ist es so heiß, dass der Wasserstoff vollständig ionisiert ist und die Temperatur ist so groß, dass vier Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern verschmelzen. Bei dieser Kernreaktion wird Energie frei (Massendefekt) und diese Energie strahlt die Sonne – vorwiegend im sichtbaren Spektralbereich – ab. Durch die hohe Temperatur herrscht im Sonneninneren ein großer Druck der nach außen wirkt; nach Innen wirkt die Gravitationskraft. Noch weitere 4 Milliarden Jahre besteht zwischen dem „thermischen Druck“ und der „Gravitation“ ein Gleichgewicht ...“

Prof. Friedrich Herrmann u.a. in SD Astrophysik – S29 ff: „... Die Entwicklung des Lebens auf der Erde war möglich, dank der gleichmäßigen Einstrahlung von der Sonne über einen Zeitraum von mehreren Milliarden Jahren. Dieses Verhalten ist aus physikalischer Sicht keineswegs selbstverständlich. Der gesamte nukleare Brennstoff, d.h. der Wasserstoff, ist von Anfang an in der Sonne gespeichert ... Wer sorgt dafür, dass die Reaktionen in der Sonne so gleichmäßig ablaufen? Welcher Rückkopplungsmechanismus hindert die Sonne daran, wie eine gigantische Wasserstoffbombe zu explodieren? Die Erklärung hängt mit einer Eigenschaft der Sonne zusammen, die oft als ‚negative spezifische Wärme‘ bezeichnet wird ... Führt man einem System ... Energie und Entropie zu, so nimmt seine Temperatur unter normalen Umständen dabei zu. Ein System mit negativer spezifischer Wärme verhält sich genau umgekehrt: Bei Wärmezufuhr nimmt seine Temperatur ab ...“

... Ein Stern kann ... in zwei Teilsysteme zerlegt werden; eines ist die Sternmaterie bzw. das „Gas“, das andere das Gravitationsfeld. ... Die Fusionsenergie wird zunächst dem Gas zugeführt und man könnte nun erwarten, dass seine Temperatur steigt. Statt dessen geschieht aber etwas anderes. Wird dem Gas eines Sterns eine bestimmte Menge Energie zugeführt, so wird gleichzeitig eine größere Energiebetrag an das Gravitationsfeld weitergegeben und der Stern expandiert. Tatsächlich ist der an das Gravitationsfeld weitergegebene Energieanteil gerade doppelt so groß, wie der ursprünglich dem Gas zugeführte, wie mit dem Virial-Theorem gezeigt werden kann.“

Arbeitsauftrag - Fragen

- [01] Wasserstoffkerne sind doch eigentlich positiv geladene Protonen, die sich gegenseitig abstoßen. Wenn man sie zu einem Heliumkern „zusammenzwingt“, dann ist dazu doch eine gewaltige Energie notwendig. Wieso wird bei der Heliumkernfusion dann Energie frei?
- [02] Was versteht man unter dem Massendefekt?
- [03] Der Druck ist in einem Gas doch eine skalare Größe – d.h. der Druck hat keine Richtung und ist auch keine Kraft. Wie kann der Druck dann der Gravitationskraft das Gleichgewicht halten?
- [04] Was versteht man unter der spezifischen Wärme?
- [05] Was würde passieren, wenn man bei einem Feuer in einer Feuerschale im Garten, den gesamten Brennstoff, der am Abend normalerweise nach und nach aufgelegt wird, in die Feuerschale legt und das Holz an einer Stelle anzündet.
- [06] Vergleiche die Sonne mit einem irdischen Kernreaktor, in dem – wie bei der Sonne - der Brennstoffvorrat für eine lange Zeit im Reaktor vorhanden ist und - wenn man von Tschernobyl und Fukushima absieht – nicht explodiert.
- [07] Wie verhält sich ein System mit „negativer spezifischen Wärme“. Veranschauliche dieses Verhalten mit folgendem Modell (Gedankenversuch): Ein Tauchsieder steckt in einem Wassergefäß, das von einem Spiegel umgeben ist, der jeden Energieaustritt aus dem System verhindert. Der Tauchsieder kann ein und ausgeschaltet werden – der Spiegel kann montiert oder weggenommen werden. Diskutiere dieses Gedankenexperiment unter „normalen Umständen“ (positive spezifische Wärme) und unter der Annahme, das dieses Tauchsieder-Behälter-Spiegel-System eine „negativ spezifische Wärme“ hätte.
- [08] Diskutiere das Verhalten der Sonne mit Hilfe der Entropiebilanz.
- [09] Normalerweise erwartet man, wenn man einem System thermische Energie und Entropie zuführt, dass die Temperatur in dem System ansteigt. Beim Segelflug sind die Piloten auf die sogenannte Thermik angewiesen. Diskutiere diese Thermik bzgl. der zugeflossenen thermischen Energieeintrag, der Energie in einem Luftpaket, der Entropie, der Dichte und der Temperatur. Führt der Eintrag an thermischer Energie und Entropie in eine Luftpaket auch zu einer Zunahme der Temperatur im Luftpaket?
- [10] siehe auch Sendung 610 – ungewöhnliches System ☺

Entropiebilanz

Prof. Friedrich Herrmann u.a. in SD Astrophysik – S29 ff: „**Die Entropiebilanz** ...

Die Entropiebilanz ist einfacher als die Energiebilanz, da wir hier nur eine der beiden Teilsysteme betrachten müssen ... Wenn wir die Entropiebilanz des Gases diskutieren, müssen wir beachten, dass der Entropieinhalt von zwei Variablen abhängt: dem Volumen und der Temperatur des Gases. Je größer das Volumen und je höher die Temperatur des Gases sind, desto mehr Entropie enthält es ... Die Zunahme von Temperatur und Volumen entspricht jeweils einer Vergrößerung im Phasenraum. Wir müssen daher bei der Untersuchung der Entropiebilanz des Gases beide Faktoren berücksichtigen ... Im vorangegangenen Abschnitt haben wir gesehen, dass bei der Wärmezufuhr:

- *das Volumen des Gases zunimmt*
- *die Temperatur des Gases abnimmt*

Unter „normalen Bedingungen“, d.h. wenn das Volumen konstant gehalten wird, führt eine Entropieerhöhung zu einer Zunahme der Temperatur. Dass die Temperatur trotzdem abnimmt zeigt, dass die Volumenzunahme groß genug ist, den Einfluss der Entropieerhöhung auf die Temperatur mehr als kompensiert. Dies gilt ... in einem Stern. ... dies wird dadurch ermöglicht, dass eine Volumenzunahme um so leichter wird, je größer das Volumen bereits ist.