

SUPERNOVA - Vom Roten Überriesen zum Neutronenstern

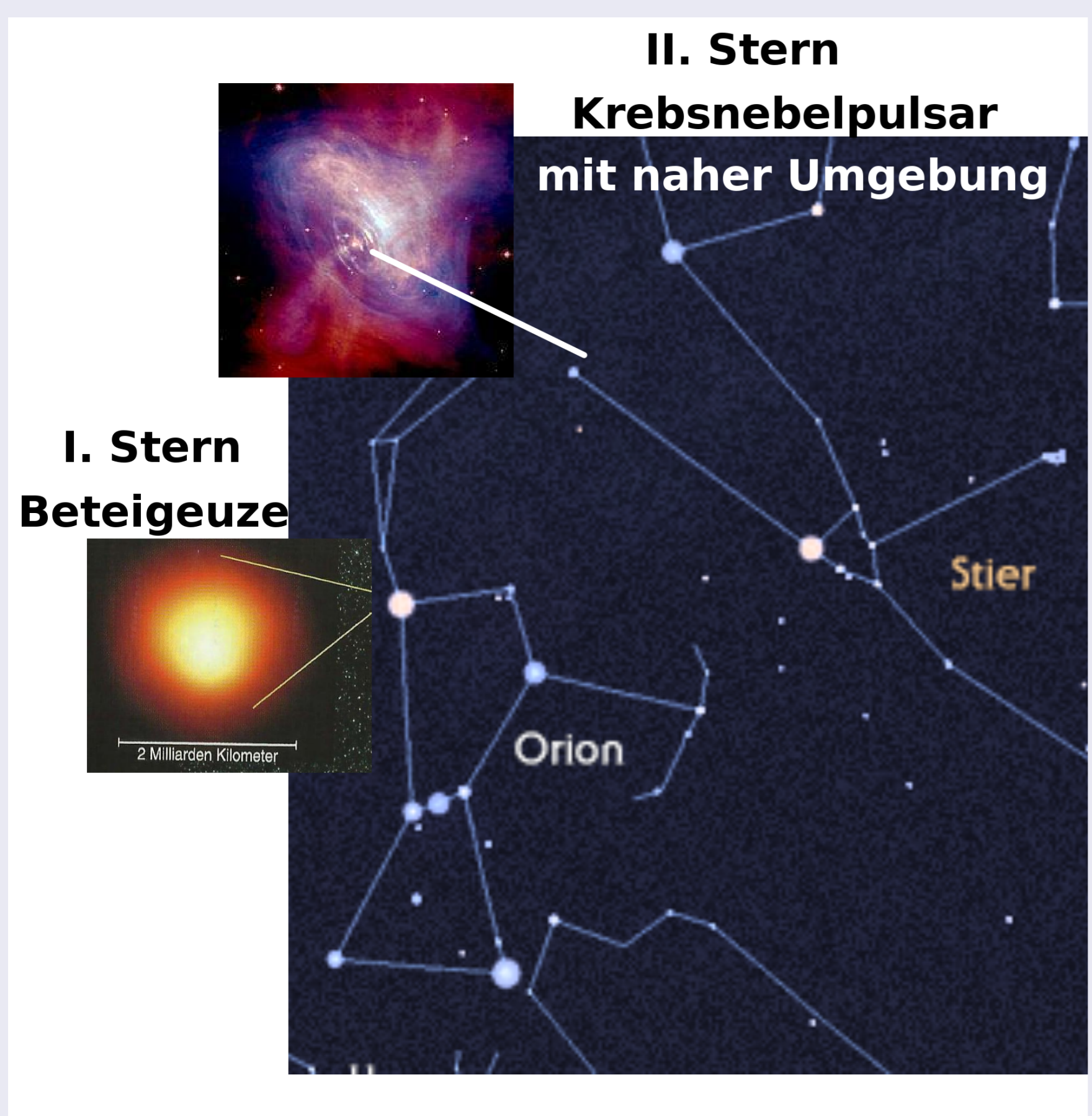


Figure : I. Betelgeuze im Sternbild Orion und II. Krebsnebel pulsar im Sternbild Stier.[1]

Steckbriefe:

I. Beteigeuze:

- Stadium:** Roter Überriesen im Spätstadium seines Lebens
 - Masse:** 20 fache Sonnenmasse
 - Größe:** 1000 fache Größe der Sonne
 - Zukunft:** Supernovaexplosion in den nächsten 100000 Jahren, Ende als Neutronenstern
- ### II. Krebsnebel pulsar:
- Stadium:** Neutronenstern beobachtbar als Radiopulsar
 - Masse:** 1-2 Sonnenmassen
 - Größe:** 20-30 km
 - Vergangenheit:** Roter Überriesen von ca. 15 Sonnenmassen, Supernovaexplosion im Jahre 1054 (taghelles Himmelsereignis)

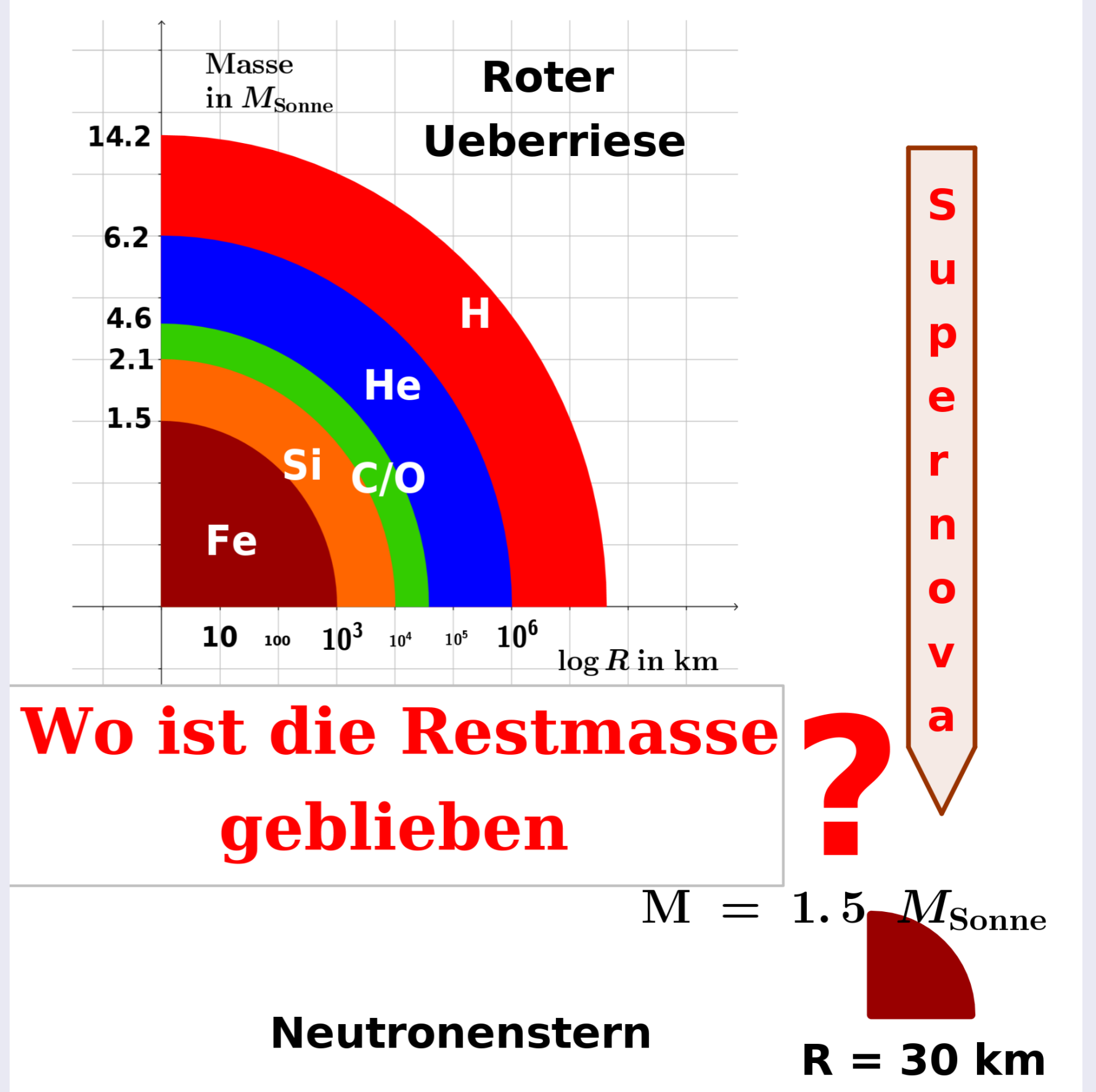


Figure : Schematische Struktur des chemischen Aufbaus eines massereichen Sterns von 15 Sonnenmassen, Supernovaexplosion am Ende aller nuklearer Brennphasen im Zentrum.[2]

Gleichungen: Fallbeschleunigung, Impuls- und Energieerhaltung

Gravitation und Fallbeschleunigung:

Gravitationskonstante $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$
 Masse der Sonne $M_{\text{Sonne}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

$$g = G \cdot \frac{M}{r^2} \quad (1)$$

Impulserhaltung und Energieerhaltung:

vor dem Stoß nach dem Stoß

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{u}_1 + m_2 \cdot \vec{u}_2$$

$$\frac{m_1}{2} \cdot \vec{v}_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot \vec{v}_2^2 = \frac{m_1}{2} \cdot \vec{u}_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot \vec{u}_2^2$$

Näherungen in unserem Modell:

- Es werden nur **elastische Stöße** betrachtet, d.h. neben der Impulserhaltung gilt die Energieerhaltung.
- Stoßpartner sind gleich große "**Klumpen**"[1] aus unterschiedlichen Schichten. Da die Dichte nach außen stark abnimmt, gilt $m_{\text{Fe}} \gg m_{\text{Si}} \gg m_{\text{C}}$.

Ergebnis der Endgeschwindigkeit u_2 der leichteren Masse m_2 : [3]

$$\vec{u}_2 \approx 2 \cdot \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \quad (2)$$

Freier Fall

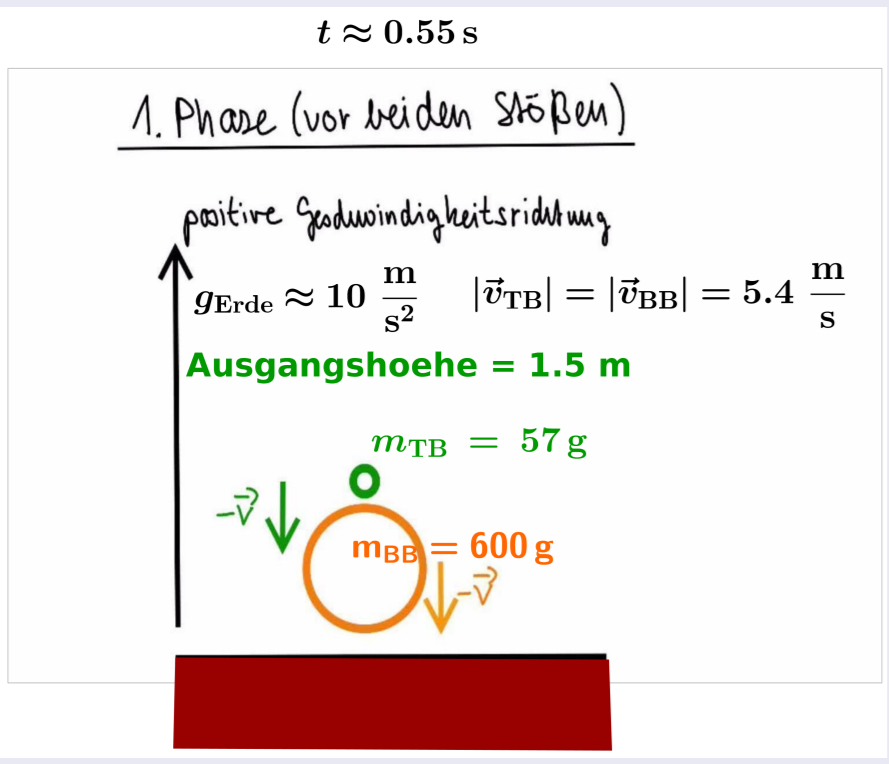


Figure : freier Fall

Gravitationskollaps und Supernovaexplosion

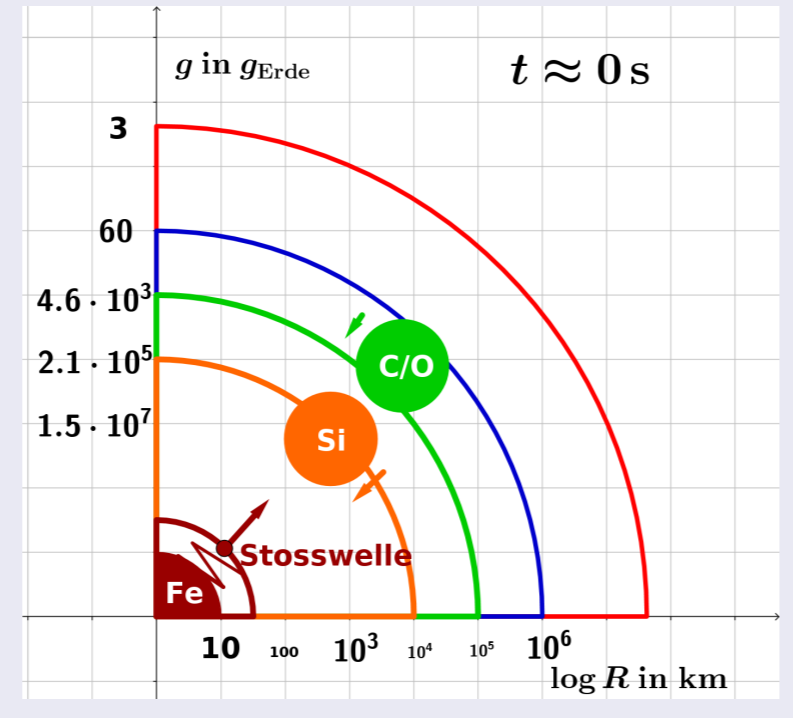


Figure : Supernovaexplosion

Die **Energie** kommt aus dem freien Fall des Fe-Kerns.
Beschreibung auf rein energetischer Ebene: Der Fe-Kern wirkt als zusammengedrückte "**Spiralfeder**" [1], in welcher ein kleiner Bruchteil dieser Energie gespeichert wird. Beim Entspannen der Feder entsteht eine "**Stoßwelle**" [1], welche sich mit einer **Anfangsgeschwindigkeit** von weit mehr als 10000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$ nach außen ausbreitet.
Aufgabe: Schätzt die Energie des frei fallenden Fe-Kerns mittels $E = m \cdot g \cdot h$ ab! Die Werte betragen $m = 1 \cdot M_{\text{Sonne}}$, $g = 10^9 \cdot g_{\text{Erde}}$ und $h = 1000 \text{ km}$.

Erster Stoß

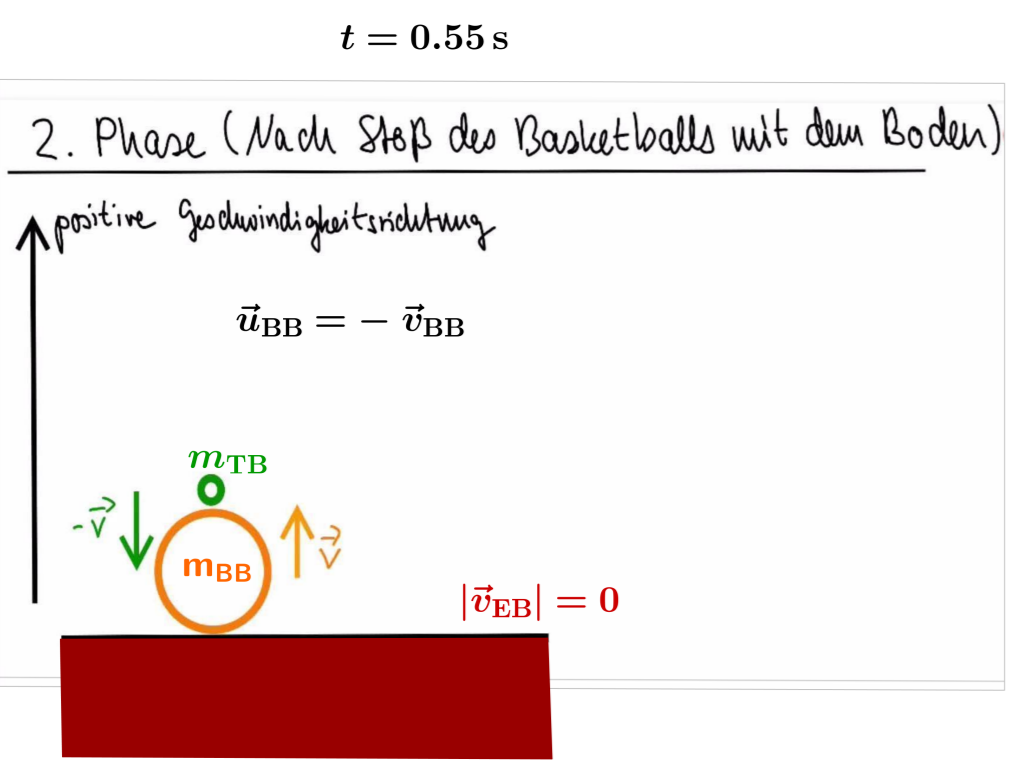


Figure : Stoß mit dem Boden

Stoßprozess mit der Stoßwelle

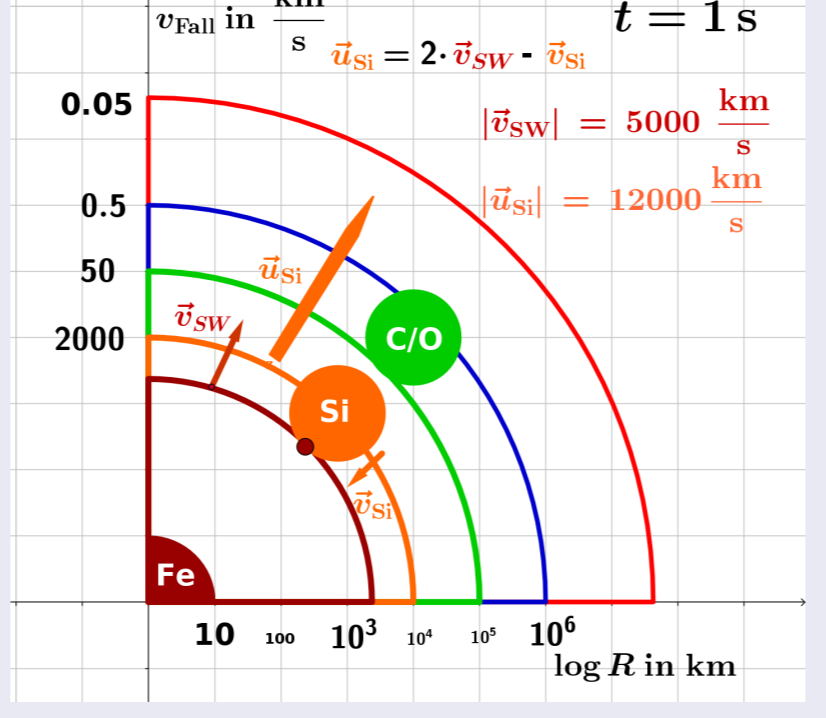


Figure : Rückprall eines "Si-Klumpens" von der "Stoßwelle"

Frei fallende "Klumpen" des nachfallenden Materials treffen auf diese sich ausdehnenden "**Stoßwelle**". Dabei kommt es zu **Stoßprozessen mit der "Stoßwelle"** und **Stößen von "Klumpen"** aus unterschiedlichen Schichten.
Im Experiment mit Bällen würde das bedeuten, dass der Erdboden den fallenden Bällen sehr schnell entgegenkommt.
Aufgabe: Wie groß ist die Endgeschwindigkeit der "**Stoßwelle**" bei einem $g = 2 \cdot 10^6 g_{\text{Erde}}$ und einer Anfangsgeschwindigkeit $v = 25000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ bei einem $\Delta t = 1 \text{ s}$ beim Anlaufen gegen die Gravitation?

Zweiter Stoß

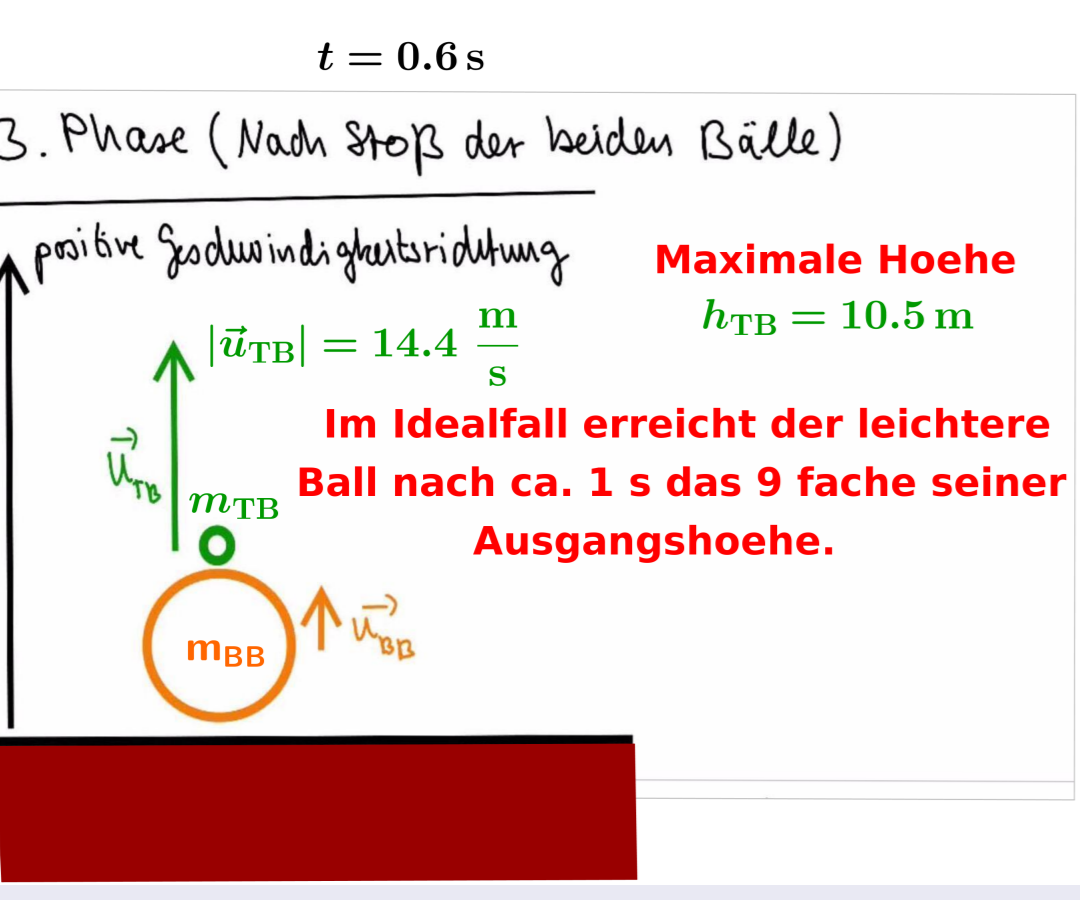


Figure : Stoß der beiden Bälle

Stoß zweier Klumpen aus unterschiedlichen Schichten

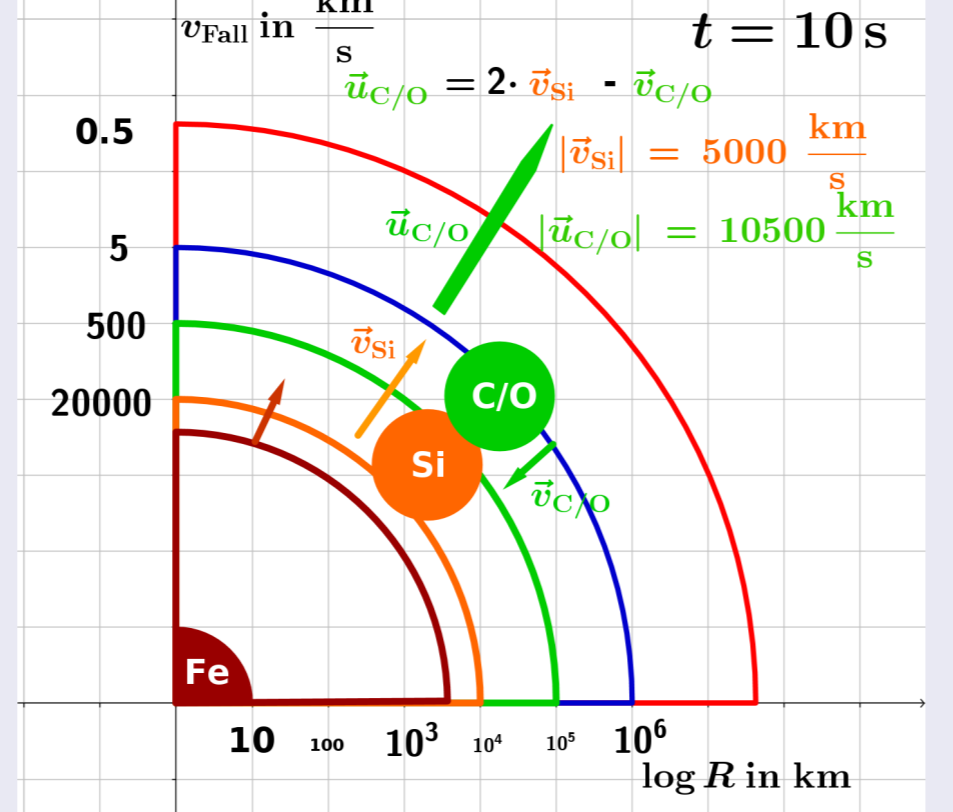


Figure : Stöße eines "Si-Klumpens" und eines "C-Klumpens"

Steckbrief Krebsnebel:
 Masse: 10 - 15 M_{Sonne}
 Ausdehnungsgeschwindigkeit: 1500 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$
 t ≈ 1000 Jahre

Die Supernovaexplosion des Krebsnebel pulsars ist die Ursache des Krebsnebels etwa 1000 Jahre spaeter.

Während 1-2 Sonnenmassen des roten Überriesen im Neutronenstern lokalisiert bleiben, verteilt sich die Restmasse von 10-15 Sonnenmassen mehrere Lichtjahre im Raum. Dort dehnt sich die Materie mit einer Geschwindigkeit von über 1000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$ weiter aus.

Der **Krebsnebel** ist der gasförmige Überrest des **Krebsnebel pulsars**, von dessen Supernovaexplosion das Licht die Erde im Jahr 1054 erreichte.[1]
 Die äußeren Filamente enthalten **vor allem Wasserstoff und Helium** des bei der Explosion zerstörten roten Überriesen.[1]