

UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik Sek. II



Schwarzes Loch

Fluchtgeschwindigkeit, Kompaktheit, Dichte – Übung

VORANSICHT

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

Ausgabe 5/2018

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Für jedes Material wurden Fremdrechte recherchiert und angefragt. Sollten dennoch an einzelnen Materialien weitere Rechte bestehen, bitten wir um Benachrichtigung.

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH
Ein Unternehmen der Klett Gruppe
Rotebühlstraße 77
70178 Stuttgart
Telefon +49 711 62900-0
Fax +49 711 62900-60
schule@raabe.de
www.raabe.de

Redaktion: Julia Klimme
Satz: Rösner MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Illustrationen:
Bildnachweis: Titel: vchal / iStock / Getty Images Plus

Schwarzes Loch

Ein kugelförmiger Körper mit der Masse M und dem Radius R erzeugt ein radialsymmetrisches Gravitationsfeld. Die Fluchtgeschwindigkeit v_{Fl} an seiner Oberfläche beträgt:

$$v_{\text{Fl}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}} \quad (1)$$

1. Leiten Sie die Gleichung (1) her.
2. An Gleichung (1) beobachtet man, dass die Fluchtgeschwindigkeit v_{Fl} für alle Kugeln gleicher Masse mit kleiner werdendem Radius zunimmt. Man kann die Frage stellen, bei welchem Radius die Fluchtgeschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit c wird.

Die Antwort lautet nach Gleichung (1): Der Radius muss die Größe

$$R_s = 2 \frac{G \cdot M}{c^2} \quad (2)$$

annehmen. R_s wird der Schwarzschildradius¹ des Körpers mit der Masse M genannt.

J. Michell (1784) und P. S. Laplace (1796) beantworteten die Frage so: „Ein leuchtender Körper, der die gleiche Dichte wie die Erde hat und dessen Durchmesser 250-mal größer als der der Sonne ist, kann durch seine Anziehungskraft Lichtstrahlen daran hindern, uns zu erreichen. Folglich könnten die größten leuchtenden Körper im Universum für uns unsichtbar bleiben.“²

Wir nennen diesen seltsamen Körper ein Schwarzes Loch (*black hole*). Da nach Einsteins Spezieller Relativitätstheorie c zugleich die größte mögliche „Signalgeschwindigkeit“ ist, kann sich ein Schwarzes Loch überhaupt durch keinelei Signale bemerkbar machen; es bleibt demnach für uns nur schwer erfahrbare. Wir können nun jedem Körper mit Radius R den virtuellen Radius R_s zuordnen.

¹ Karl Schwarzschild (1873–1916), deutscher Astronom und Physiker

² Laplace, P. S.: Exposition du Système du Monde, Tome Second (1796), p. 305

Gilt nun für seine „Kompaktheit“

$$C := \frac{R_s}{R} > 1 \quad (3)$$

so ist er offenbar genau dann ein Schwarzes Loch.

Zeigen Sie, dass ein kugelförmiger Körper mit derselben Dichte wie die Sonne, aber dem 500-fachen Radius der Sonne ein Schwarzes Loch wäre. (Der Sonnenradius beträgt $R_{s_0} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$.)

3. Berechnen Sie auch die Dichte ρ , welche die Sonne (mit gleichem Radius R_{s_0}) mindestens haben müsste, damit sie ein Schwarzes Loch wäre. Vergleichen Sie diese Dichte auch mit der Dichte von Atomkernen.
4. Berechnen Sie auch den maximalen Radius, den die Erde haben dürfte, damit sie ein Schwarzes Loch wäre.