

Thermodynamik schwarzer Löcher

20. Januar 2016

Tamara Szecsey

Fakultät für Physik



Universität Regensburg

Gliederung

Was ist Informationsentropie?

Die drei Hauptsätze

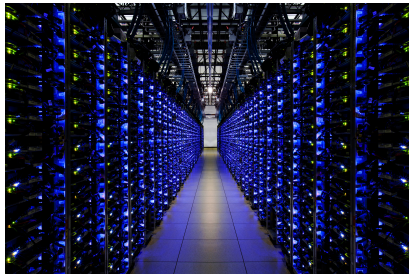
Verdampfung

Weitere Betrachtung

Informationsentropie

Die Entropie zählt wie viele Mikrozustände eines Systems einen Makrozustand bilden.

Beispiel: Wurf von zwei W6-Würfeln.



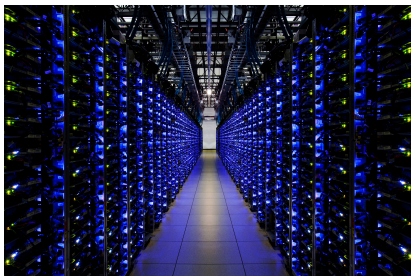
Informationsentropie

Die Entropie zählt wie viele Mikrozustände eines Systems einen Makrozustand bilden.

Beispiel: Wurf von zwei W6-Würfeln.

Wie viele Ja-Nein-Fragen muss man beantworten, um das Ergebnis zu bekommen? (Im Falle von genau zwei möglichen Ausgängen.)

Beispiel: Münzwurf hat die Informationsentropie von 1 Bit.



Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

Die Hawkingstrahlung

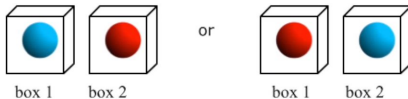


Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

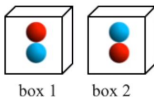
Entanglement



Classically: objects are in one arrangement or another.



Quantum mechanics allows for a
superposition of both possibilities.



Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

Die Hawkingstrahlung



Nullter Hauptsatz besagt nun, dass genauso viel Wärmestrahlung aufgenommen werden muss, wie abgestrahlt wird
⇒ Beschleunigung an der Oberfläche

Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt Energieerhaltung:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik

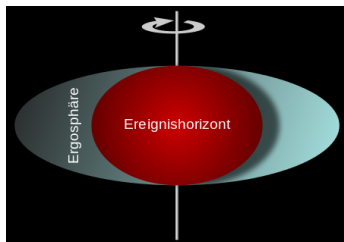
Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt Energieerhaltung:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Umgeschrieben:

$$dE = TdS + dW$$

Analogie zu schwarzen Löchern mit
Hilfe von Kerr-Neumann-Metrik und
geschickt gewählten Koordinaten



Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik

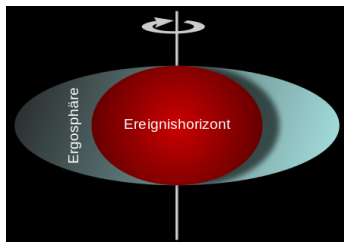
Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt Energieerhaltung:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Umgeschrieben:

$$dE = TdS + dW$$

Analogie zu schwarzen Löchern mit
Hilfe von Kerr-Neumann-Metrik und
geschickt gewählten Koordinaten



Ergebnis: $d(Mc^2) = \frac{\kappa}{8\pi G}dA + \Omega dJ - \Phi dq$

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Es gilt Proportionalität der Oberfläche des schwarzen Lochs zur Masse, elektrischer Ladung und Drehmoment.

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Es gilt Proportionalität der Oberfläche des schwarzen Lochs zur Masse, elektrischer Ladung und Drehmoment.

Durch die Hawkingtemperatur und die Definition von Temperatur in der Thermodynamik

$$\frac{dS}{dE} = \frac{1}{T}, \quad T_{\text{Hawking}} = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M}$$

und durch Ersetzen von $E = Mc^2$, erhalten wir

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Es gilt Proportionalität der Oberfläche des schwarzen Lochs zur Masse, elektrischer Ladung und Drehmoment.

Durch die Hawkingtemperatur und die Definition von Temperatur in der Thermodynamik

$$\frac{dS}{dE} = \frac{1}{T}, \quad T_{\text{Hawking}} = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M}$$

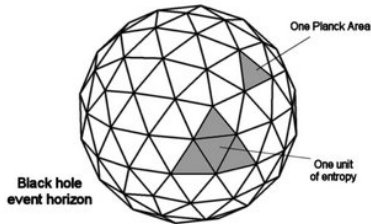
und durch Ersetzen von $E = Mc^2$, erhalten wir

$$S_{BH} = \frac{c^3 A}{4G\hbar} = \frac{A}{4\ell_P^2}$$

Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

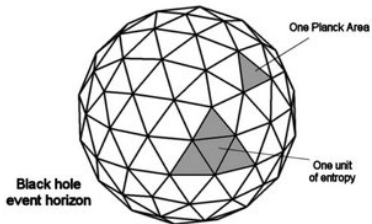
Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Holographisches Prinzip



Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Holographisches Prinzip



$$M_3 > M_2 + M_1$$



Verdampfung/Evaporation

Man findet: $\frac{dE}{dt} \approx \frac{C}{r_s^2} \Rightarrow$ Analogie zum Stefan-Boltzmann Gesetz:

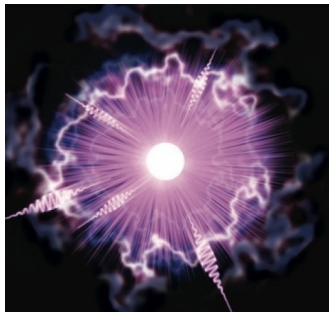
$$\frac{dE}{dAdt} = \sigma T^4$$

Für die Masse:

$$\frac{dM}{dt} = -\frac{C}{(GM)^2}$$

Daraus ergibt sich:

$$t_{\text{evap}} \sim G^2 M^3$$



Weitere Betrachtung

Wirkungsintegrale

Die Zustandssumme:

$$Z = \int d[\Phi] \exp \left(-\frac{I_E}{\hbar} \right) \simeq \exp \left(-\frac{I_{E,B}}{\hbar} \right)$$

Weitere Betrachtung

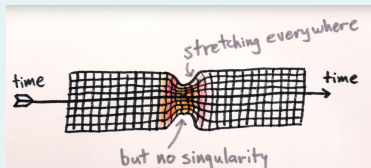
Wirkungsintegrale

Die Zustandssumme:

$$Z = \int d[\Phi] \exp \left(-\frac{I_E}{\hbar} \right) \simeq \exp \left(-\frac{I_{E,B}}{\hbar} \right)$$

Loop Quantum Gravity

Es existieren schwarze und weiße Löcher, aber keine Singularität.



Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit!

