

# Thermodynamik schwarzer Löcher

13. Januar 2016

Tamara Szecsey

**Fakultät für Physik**



Universität Regensburg

## Gliederung

Was ist Informationsentropie?

Die drei Hauptsätze

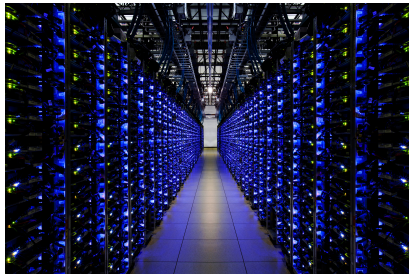
Verdampfung

Weitere Betrachtung

## Informationsentropie

Die Entropie zählt wieviele Mikrozustände eines Systems einen Makrozustand bilden.

Beispiel: Wurf von zwei W6 Würfeln.



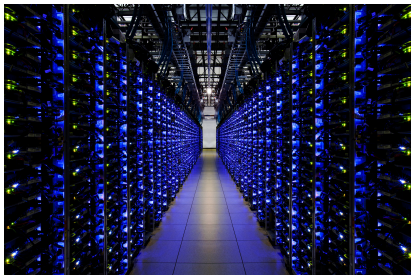
## Informationsentropie

Die Entropie zählt wieviele 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

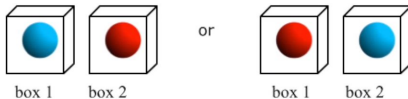


# Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

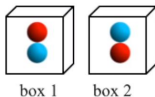
Entanglement



Classically: objects are in one arrangement or another.



Quantum mechanics allows for a  
superposition of both possibilities.



# Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

## Die Hawkingstrahlung



# Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

## Die Hawkingstrahlung



Nullter Hauptsatz besagt nun, dass genauso viel Temperatur 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

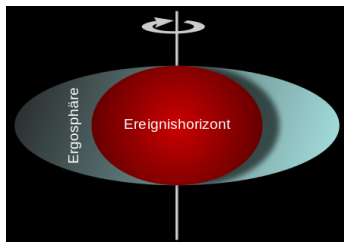
Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt Energieerhaltung:

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

Umgeschrieben:

$$dE = TdS + dW$$

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



# Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik

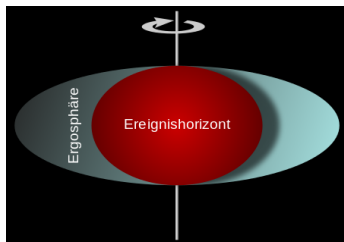
Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt Energieerhaltung:

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

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 mit Masse, elektrischer Ladung und Drehmoment.

## Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

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

Durch die Hawkingtemperatur und der 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 mit Masse, elektrischer Ladung und Drehmoment.

Durch die Hawkingtemperatur und der 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

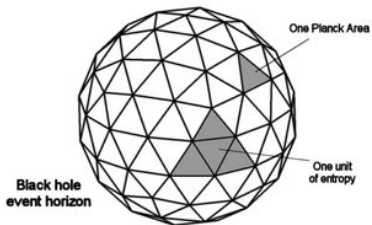
$$S_{BH} = \frac{c^3 A}{4G\hbar} = \frac{A}{4\ell_P^2}$$

# Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik



# Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

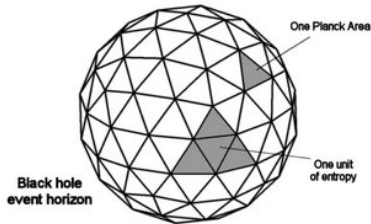
## Holographisches Prinzip





# Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

## Holographisches Prinzip

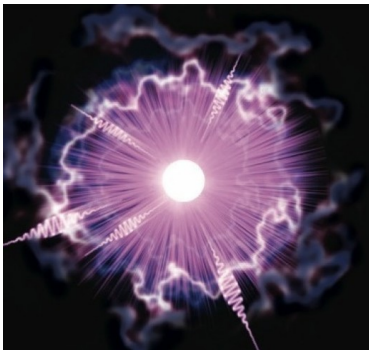


$$M_3 > M_2 + M_1$$



# Verdampfung/Evaporation

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



## 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

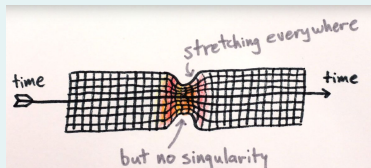
### Wirkungsintegrale

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!

