

Physikaufgabe 183

[Home](#) | [Startseite](#) | [Impressum](#) | [Kontakt](#) | [Gästebuch](#)

Aufgabe: Beweisen Sie, daß die Ursache der beschleunigten Ausdehnung des Weltalls nicht die dunkle Energie, sondern die Gravitation selbst ist.

Beweis: Wir müssen zur Lösung dieser Aufgabe drei Postulate voraussetzen:

1. Das Weltall besitzt Masse, Ladung und Drehimpuls und erfüllt aufgrund seiner kritischen Dichte die Voraussetzungen für ein Schwarzes Loch.
2. Die Summe der Quadrate von Radial- und Lateralgeschwindigkeit ist gleich dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit c .
3. Das All breitet sich unter dem Einfluß der Gravitation beschleunigt aus, bis es den Schwarzschildradius R_s erreicht hat.

In dieser Aufgabenstellung verwenden wir für das Universum das in Abb. 1 dargestellte kosmische Modell. Hier ist der Raum auf einer Kugeloberfläche senkrecht zum Zeitradius aufgetragen.¹ Da der Kugelradius selbst eine Dimension darstellt, sprechen wir von einer Hyperfläche im 4-dimensionalen Raum.

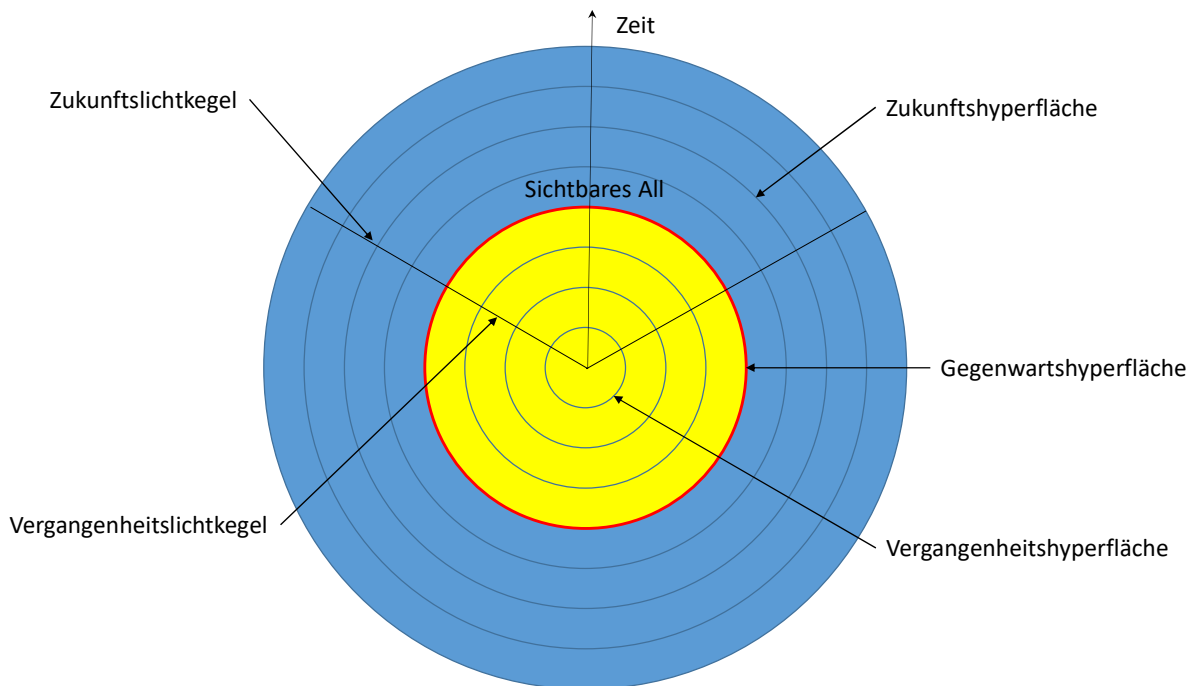


Abbildung 1. Vergangenheits- und Zukunftshyperflächen schneiden den Vergangenheits- und Zukunftslichtkegel senkrecht

Das sichtbare All ist die fette rote Kreislinie, die wir uns als Sphäre vorstellen müssen. Alles, was in der Zukunft liegt, ist blau eingefärbt, das in der Vergangenheit Liegende gelb. Die Sphäre wird zusätzlich vom Lichtkegel geschnitten, den wir mit zwei schwarzen Linien nur angedeutet haben. Er erstreckt sich von der Zeitachse in jede Raumrichtung auf einem Bogen von ca. 60° . Der Lichtkegel wird von der sogenannten Gegenwartshyperfläche in einen Zukunfts- und Vergangenheitskegel geteilt. Was außerhalb des Lichtkegels liegt, ist in unserem Universum für einen Beobachter auf der Achse nicht zu sehen. Der maximal mögliche

¹ Der Raum kann nur zweidimensional dargestellt werden, weil unser euklidischer Raum bereits drei Dimensionen besitzt und eine Raumrichtung für die Zeit reserviert ist. Die Zeit multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit ergibt ebenfalls eine räumliche Koordinate, den Radius der Sphäre.

Physikaufgabe 183

Kugelradius ist der Schwarzschildradius, den kein Signal nach außen durchdringen kann. Wir verteilen nun die gesamte Masse des Alls gedanklich über irgendeine dieser Kugeloberflächen mit Radius r . Wenn sich das All ausdehnt, nimmt die Kugeloberfläche zu und die Dichte der Massenbelegung bei konstanter Gesamtmasse kontinuierlich ab. Das Licht breitet sich dabei nicht nur in radialer Richtung, sondern auch senkrecht dazu längs eines Großkreises aus.² Da das Gravitationspotential im Innern der massebelegten Hohlkugel konstant ist, herrscht dort auch keine Gravitationskraft, während letztere auf dem Radius jener einer Punktmasse in der Singularität gleicht.³ In azimuthaler Richtung erfolgt die Ausbreitung des Lichts senkrecht zum Radius, auf der sogenannten Gegenwartshyperfläche. Weil sich das All in azimuthaler Richtung ausdehnt, muß der Radius der Sphäre ebenfalls zunehmen. Auch die Laufzeit zwischen zwei gegenüberliegenden Rändern des Zukunftslichtkegels nimmt zu. Die vom Licht zurückgelegte Strecke auf dem Großkreis entspricht der Länge eines Bogenelements, und dieses wiederum der Länge des Radius.

Die Frage, die es nun zu klären gilt, lautet: Wie kommt das Weltall in Gang? In der Regel kann das nur durch eine Kraft geschehen, und die einzige Kraftwirkung, die wir im Universum kennen, ist die Gravitationskraft. Diese ist aufgrund der Raumkrümmung im Zentrum des Weltalls, d.h. in der Singularität, besonders groß. Wenn Sie einen Balken biegen, bis er fast bricht, so wird dieser immer versuchen, solange noch elastische Kräfte in ihm wirken, wieder seine kräftefreie waagrechte Form einzunehmen. Nicht anders ist das beim Weltall. Die Krümmung will sich zurück ins Flache ausbiegen, und das tut sie wie ein Katapult. Wenn der Raum sich ausdehnt, nimmt die Krümmung ab und der Raum wird flach. Das ist die naturgegebene Richtung ins Potentialminimum. Wir müssen umgekehrt auch fragen, wie es zu dieser Krümmung überhaupt kam. Welche Kraft verursacht, daß sich der Raum unendlich krümmt? Die Antwort gibt die Relativitätstheorie. Wir werden zeigen, daß eine relativistische Kraft stets auch eine Komponente senkrecht zur Beschleunigung besitzt. Wenn die Gravitationskraft am größten ist, ist folglich auch die Frequenz der Kreisbewegung am größten. Aus der Kreisbewegung resultiert eine gleich große Zentrifugalkraft, die das All beschleunigt und expandieren läßt. Geht die Zentrifugalkraft gegen Null, weil die Gravitation gegen Null geht, endet die Expansion im Schwarzschildradius, und damit hat das All in lateraler Ausbreitungsrichtung keine kinetische Energie mehr. Seine Rotationsenergie ist null. Damit verschwindet auch die Zentrifugalkraft. Was macht ein hochgeworfener Ball, der den Umkehrpunkt erreicht hat? Ja, er fällt auf die Erde zurück. Die Gravitation ist nämlich immer noch wirksam. Das nunmehr flache Universum fängt nun an, sich wieder zusammenzuziehen, bis am Ende die Singularität erreicht ist. Tragen wir die Kugeloberfläche als Kreisfläche auf,

$$4\pi R_s^2 = \pi R_0^2,$$

wobei $R_0 = 2R_s$ der Radius des flachen Universums ist, dann hat das flache Universum einen doppelt so großen Schwarzschildradius wie das gekrümmte. Die Beschleunigung zeigt nun in Richtung des Azimuts. Folglich erfolgt die nun einsetzende Drehbewegung orthogonal in Richtung des alten Radius. Damit ist klar, daß auf dem Schwarzschildradius des alten Universums die Singularität des neuen entsteht, eine sogenannte Randsingularität. Es muß noch die Frage geklärt werden, an welcher Stelle der Kugeloberfläche die neue Singularität entsteht. Sie sollte

² Allein in die Vergangenheit kann das Licht nicht reisen, da es ja aus der Vergangenheit kommt.

³ Das stellt einen erheblichen Unterschied dar zu einem Weltall, dessen gesamte Masse punktförmig im Zentrum einer Kugel mit Ereignishorizont konzentriert ist.

Physikaufgabe 183

in jedem Fall an dem von der Drehachse fernsten Punkt, dem Äquator, liegen, und zwar dort, wo auch die Gravitation ihr absolutes Minimum erreicht, denn sie hat ja auf dem Äquator nicht überall den gleichen Wert. Eine Antwort darauf kann nur die Theorie des reziproken Raums liefern. Es ist wegen der Orthogonalität von neuem und altem Universum auch nicht so wichtig, wo dieser Punkt genau liegt, da von jedem Punkt der Oberfläche die Richtung in den alten Ursprung vorgegeben ist. Man muß für diesen Beweis nicht einmal die Allgemeine Relativitätstheorie heranziehen, es reicht vollkommen aus, die Spezielle zu bemühen.

In einem beschleunigten Bezugssystem wie dem Weltall treten Scheinkräfte auf, und die Summe aller Kräfte einschließlich der Scheinkräfte ist null. In Aufgabe [181] haben wir nachgewiesen, daß sich Fliehkraft und Gravitationskraft die Waage halten, und dies zu jedem Zeitpunkt der beschleunigten Ausdehnung des Weltalls. Nur dadurch kommt ein flaches Universum zustande, weil sich nämlich auf einer stabilen Kreisbahn die Summe aller Kräfte aufhebt. Dieses Kräftegleichgewicht gilt nicht nur auf dem Schwarzschildradius, sondern auch in der Singularität: Unendlich minus unendlich ist gleich null. Am Beispiel einer beschleunigt sich von uns entfernenden Galaxie haben wir gezeigt, daß das Weltall ein rotierendes Schwarzes Loch ist, in dessen Innerem Kräftefreiheit herrscht. Lassen Sie uns mit der Herleitung der Energie gemäß Aufgabe [182] beginnen. Gemäß dieser Herleitung muß für das Weltall die Energie-Impuls-Beziehung gelten:

$$E^2 = m^2 c^4 = \frac{m_0^2 c^4 \left(1 - \frac{u_r^2}{c^2}\right) + m_0^2 u_r^2 c^2}{\sqrt{1 - \frac{u_r^2}{c^2}}} = m^2 c^2 \left(c^2 \left(1 - \frac{u_r^2}{c^2}\right) + u_r^2 \right) = m^2 c^2 (u_\phi^2 + u_r^2).$$

Mögliche Lösungen sind gegeben durch

$$u_r = \dot{r} = \frac{|g|t}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} \quad \text{und} \quad u_\phi = r\dot{\phi} = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}},$$

womit sich das All mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, denn nur dann kann die Gleichung $u^2 = u_r^2 + u_\phi^2 = c^2$ die Energie-Masse-Äquivalenz erfüllen. Ferner konnten wir mit Hilfe der Speziellen Relativitätstheorie zeigen, daß im All keine Kraftwirkung auftritt,

$$\mathbf{F} = m_0 \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \left[(\dot{u}_r - u_\phi \dot{\phi}) \mathbf{e}_r + (\dot{u}_\phi + u_r \dot{\phi}) \mathbf{e}_\phi \right] = 0.$$

Mit den Ableitungen

$$\dot{u}_r = \frac{|g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^3} \quad \text{und} \quad \dot{u}_\phi = -\frac{|g|t}{c} \frac{|g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^3}$$

ergibt sich

Physikaufgabe 183

$$\dot{\phi} = \frac{\dot{u}_r}{u_\phi} = \frac{|g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} \frac{1}{c} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \frac{|g|}{c} \frac{1}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}$$

bzw.

$$\dot{\phi} = -\frac{\dot{u}_\phi}{u_r} = \frac{|g|t}{c} \frac{|g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} \frac{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}}{|g|t} = \frac{|g|}{c} \frac{1}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}},$$

wobei die Winkelbeschleunigung

$$\ddot{\phi} = -2 \frac{|g|t}{c} \frac{g^2}{c^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}\right)^2} = -2 \frac{|g|t}{c} \dot{\phi}^2$$

der Winkelgeschwindigkeit entgegenwirkt und diese abbremst. Setzen wir die Ableitungen $\dot{u}_r = \ddot{r}$ und $\dot{u}_\phi = r\dot{\phi} + \dot{r}\phi$ in die Kraftgleichung ein, lässt sich diese auch wie folgt schreiben:

$$\mathbf{F} = m_0 \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \left[(\ddot{r} - r\dot{\phi}^2) \mathbf{e}_r + (r\ddot{\phi} + 2\dot{r}\dot{\phi}) \mathbf{e}_\phi \right] = 0,$$

d.h. aus

$$\ddot{r} - r\dot{\phi}^2 = 0 \quad \text{bzw.} \quad r\ddot{\phi} + 2\dot{r}\dot{\phi} = 0$$

folgen die Bestimmungsgleichungen für den Abstand von der Singularität, und zwar entweder aus der Bedingung

$$r = \frac{\ddot{r}}{\dot{\phi}^2} = \frac{|g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} \frac{c^2}{|g|^2} \left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}\right)^2 = \frac{c^2}{|g|} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}$$

oder alternativ durch Auflösung des zweiten Ausdrucks nach dem Radius:

$$r = -\frac{2\dot{r}\dot{\phi}}{\ddot{\phi}} = \frac{2|g|t}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} \frac{|g|}{c} \frac{1}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \frac{c^3}{2g^2 |g|t} \left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}\right)^2 = \frac{c^2}{|g|} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}.$$

Damit verschwindet auch der Kraftbeitrag im Azimut, denn aus

Physikaufgabe 183

$$\begin{aligned}
 r\ddot{\phi} + \dot{r}\dot{\phi} &= -\frac{2|g|^3 t c^2}{c^3 |g|} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \frac{1}{\left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}\right)^2} + \frac{|g|t}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} \frac{|g|}{c} \frac{1}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \\
 &= -\frac{2g^2 t}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^3} + \frac{g^2 t}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^3} = -\frac{g^2 t}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^3}
 \end{aligned}$$

folgt

$$r\ddot{\phi} + 2\dot{r}\dot{\phi} = -\frac{g^2 t}{c} \left[\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^{-3} - \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}^{-3} \right] = 0.$$

Im Innern eines Schwarzen Lochs herrscht nämlich keine Kraft, so daß das Potential dort konstant ist. Diese Aussage steht aber nur scheinbar im Widerspruch zu

$$\begin{aligned}
 r &= \int_0^t \frac{|g| t dt}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} = c \int_0^t \frac{t dt}{\sqrt{\frac{c^2}{g^2} + t^2}} = \frac{c^2}{|g|} \frac{|g|}{c} \left[\sqrt{\frac{c^2}{g^2} + t^2} \right]_0^t = \frac{c^2}{|g|} \left[\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \right]_0^t \\
 &= \frac{c^2}{|g|} \left[\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} - 1 \right].
 \end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß auf dem Schwarzschildradius einer Singularität die Eigenzeit $\tau = T_s$ herrscht, integrieren wir die Radialkomponente von der Hyperfläche r bis zum Schwarzschildradius R_s ,

$$r(T_s) - r(t) = \int_{r(t)}^{r(T_s)} dr = \int_t^{T_s} \frac{g t dt}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} = \frac{c^2}{|g|} \left[\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \right]_t^{T_s} = \frac{c^2}{|g|} \left[\sqrt{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}} - \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \right].$$

Da zur Eigenzeit $t = T_s$ der Radius gleich dem Schwarzschildradius sein muß,

$$r(T_s) = \frac{c^2}{|g|} \sqrt{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}} = R_s,$$

können wir auf beiden Seiten kürzen und erhalten den gewünschten Ausdruck

$$r = \frac{c^2}{|g|} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \frac{R_s}{\sqrt{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}.$$

Wir verlegen damit $r(0)$ in die Singularität, in der die Gravitation nahezu unendlich groß ist,

Physikaufgabe 183

$$r(0) = \frac{R_s}{\sqrt{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}} \approx \frac{R_s}{\sqrt{\frac{g^2 T_s^2}{c^2}}} = \frac{c R_s}{|g| T_s} = \frac{c^2 R_s}{|g| R_s} = \frac{c^2}{|g|} \rightarrow 0.$$

Das entspricht einer lichtschnellen Kreisbewegung des Universums um die Singularität mit der Beschleunigung $|g(0)| = c^2/r(0)$. Ersetzen wir umgekehrt die Beschleunigung durch den Radius der Singularität, ergibt sich das bekannte Weg-Zeit-Gesetz für kleine Geschwindigkeiten,

$$r(t) = \frac{c^2}{|g|} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = r(0) \sqrt{1 + \frac{|g| t^2}{r(0)}} \approx r(0) \left(1 + \frac{1}{2} \frac{|g| t^2}{r(0)} \right) = r(0) + \frac{1}{2} |g| t^2 \approx \frac{1}{2} |g| t^2,$$

Die Gravitationsbeschleunigung g kann positiv oder negativ sein, auf jeden Fall führt sie zu einer Zunahme des Radius. Dieser Beschleunigung wirkt die Zentrifugalkraft entgegen, wobei sich Gravitationskraft und Zentrifugalkraft gegenseitig kompensieren.

Zur Zeit $t = 0$ dreht sich das Weltall mit der Kreisfrequenz

$$\dot{\phi}(0) = \frac{|g|}{c},$$

die sehr hoch sein muß. Zur Zeit $t = T_s$ hat die Drehbewegung fast aufgehört,

$$\dot{\phi}(T_s) = \frac{|g|}{c} \frac{1}{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}} = \frac{|g|}{c} \frac{c^2}{|g|^2 T_s^2} = \frac{c}{|g| T_s^2} = \frac{c}{|g|} \frac{c^2}{R_s^2} \approx 0.$$

Das ist jedoch kein Widerspruch zur Drehimpulserhaltung

$$L = m_0 r^2(0) \dot{\phi}(0) = m_0 r^2(T_s) \dot{\phi}(T_s) = m_0 \frac{c^3}{|g|} = \frac{m_0 c^2}{\dot{\phi}(0)}$$

bzw. $L\dot{\phi}(0) = m_0 c^2$, d.h. der Drehimpuls ist konstant. Setzen wir alle Größen in die Kraftgleichung ein, ergibt sich mit

$$\dot{\phi}(t) = \frac{|g|}{c} \frac{1}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \frac{\dot{\phi}(0)}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}$$

die Kraft

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= m_0 \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \left[(\dot{u}_r - u_\phi \dot{\phi}) \mathbf{e}_r + (\dot{u}_\phi + u_r \dot{\phi}) \mathbf{e}_\phi \right] \\ &= \frac{m_0 (|g| - c \dot{\phi}(0))}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \mathbf{e}_r + \frac{|g| t m_0 (c \dot{\phi}(0) - |g|)}{c \left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2} \right)} \mathbf{e}_\phi. \end{aligned}$$

Sie hat die beiden Komponenten

Physikaufgabe 183

$$\mathbf{F}_r = \frac{m_0(|g| - c\dot{\phi}(0))}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \mathbf{e}_r \quad \text{und} \quad \mathbf{F}_\phi = -\frac{|g|t}{c} \frac{m_0(|g| - c\dot{\phi}(0))}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \mathbf{e}_\phi = -\frac{|g|t}{c} |\mathbf{F}_r| \mathbf{e}_\phi.$$

Wenn wir die Scheinkraft abziehen und nur die Gravitation berücksichtigen, lautet das relativistische Gravitationsgesetz

$$\mathbf{F}_r = -\frac{m_0 c \dot{\phi}(0)}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \mathbf{e}_r, \quad \mathbf{F}_\phi = \frac{m_0 c \dot{\phi}(0)}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \frac{|g|t}{c} \mathbf{e}_\phi.$$

Wegen der Identität $|g| = c\dot{\phi}(0)$ können wir auch schreiben:

$$\mathbf{F}_r = -\frac{m_0 |g|}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \mathbf{e}_r, \quad \mathbf{F}_\phi = \frac{m_0 |g|}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \frac{|g|t}{c} \mathbf{e}_\phi.$$

Dies entspricht bis auf das Vorzeichen einer Proportionalität zwischen $|\mathbf{F}_r|$ und $|\mathbf{F}_\phi|$:

$$\frac{|\mathbf{F}_r|}{|\mathbf{F}_\phi|} = \frac{u_r u_\phi}{c^2 - u_r^2} = \frac{u_r u_\phi}{u_\phi^2} = \frac{u_r}{u_\phi} = \frac{|g|t}{c}.$$

Die beiden Komponenten haben also entgegengesetztes Vorzeichen. Wenn die Gravitation in radialer Richtung abnimmt, nimmt sie in lateraler Richtung zu. Das bewirkt eine Beschleunigung entfernter Galaxien. Da wir in die radiale Richtung nicht schauen können, kommt alles, was wir sehen, aus der lateralen Richtung. Die negative Radialkomponente fällt rasch auf Null an. Die positive Lateralkomponente steigt zunächst ebenfalls an, um danach ebenfalls abzufallen. Die beiden Komponenten der Gravitationskraft, normiert auf die Masse und die Gravitationsbeschleunigung, sind zusammen mit dem Betrag in Abb. 2 dargestellt. Im beschleunigten Bezugssystem unserer Galaxis sehen wir nur die abstoßende Gravitationskraft im Azimut. Man erkennt, daß Galaxien, die weiter weg sind, weil sie früher entstanden sind, eine größere Beschleunigung erfahren.

Im Unterschied zum klassischen Fall hat die Schwerkraft in der Relativitätstheorie zwei Komponenten, deren Betrag mit der Zeit abnimmt,

$$|\mathbf{F}| = \sqrt{\mathbf{F}_r^2 + \mathbf{F}_\phi^2} = \frac{m_0 |g|}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} \sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \frac{m_0 |g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}} = m_0 |g| \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Zum Zeitpunkt $t=0$ entspricht die Kraft der Ruhemasse, $|\mathbf{F}| = m_0 |g|$, zur Zeit $t=T_s$ verschwindet sie aufgrund der Größe des Schwarzschildradius, aber sie wird nicht gleich null,

$$|\mathbf{F}| = \frac{m_0 |g|}{\sqrt{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}} = \frac{m_0 c}{T_s} = \frac{m_0 c^2}{R_s}.$$

Physikaufgabe 183

Kraft ist Ruheimpuls pro Eigenzeit oder Ruheenergie pro Schwarzschildradius, was nicht unvernünftig klingt. Die Gravitationskraft wird wie gesagt zu jedem Zeitpunkt durch die Zentrifugalkraft kompensiert, siehe Abb. 3, und zwar in beiden Raumrichtungen. Wir sehen deutlich, daß die Schwerkraft mit Erreichen der Lichtgeschwindigkeit nicht ausgelöscht wird. Zu diesem Zeitpunkt kann es allerdings keine Materie mehr geben, da sie vollständig zerstrahlt ist. Folglich entsteht die Materie durch Stöße hochenergetischer Photonen neu.

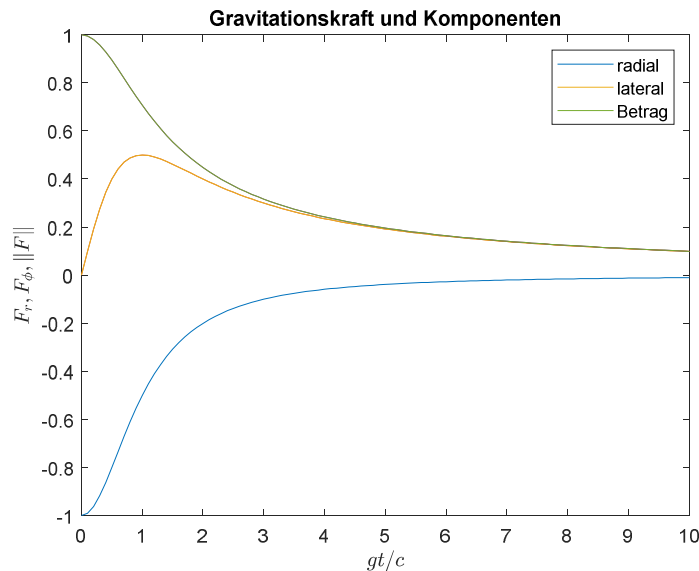


Abbildung 2. Gravitationskraft im Universum mit anziehender Radial- und abstoßender Lateralkomponente

In einem Schwarzen Loch befindet sich jegliche Masse auf einer Sphäre mit einer Oberflächendichte σ und dem Radius r , der nicht notwendig gleich dem Schwarzschildradius sein muß, aber auf jeden Fall kleiner ist als dieser. In seinem Innern herrscht keine Gravitationskraft. Auf der Erde sind wir es gewohnt, daß alles zum Erdmittelpunkt hin angezogen wird, im All ist das nicht so. Auf der Oberfläche einer Gegenwartshyperfläche halten sich Gravitation und Zentrifugalkraft die Waage. Im tiefen Inneren eines expandierenden Weltalls herrscht Vergangenheit, d.h. die Vergangenheitshyperflächen existieren nicht mehr, wenn wir ihrer ansichtig werden, genausowenig wie die Zukunftshyperflächen bereits existieren, wenn wir uns noch in der Gegenwart befinden. Die Ausdehnung des Alls hat man sich als kontinuierliche Abfolge von Gegenwartshyperflächen vorzustellen, d.h. alles, was innerhalb der Gegenwartshyperfläche auf den Vergangenheitshyperflächen passiert ist, ist nicht verschwunden, weil diese Informationen auf der lateralen Raumachse, jedenfalls innerhalb des Ereignishorizonts, jederzeit nachvollziehbar sind. Diese Informationen sind daher nicht verloren, sondern bleiben uns in ihrer Gesamtheit erhalten.⁴ Zukünftige Informationen sind uns insofern zugänglich, als wir auf der Gegenwartshyperfläche fast mit Lichtgeschwindigkeit durchs All reisen können und das All sich während unserer Reise weiter ausdehnt, womit wir automatisch auf einer Zukunftshyperfläche landen.⁵

Zukunft und Vergangenheit können also von einem Beobachter jederzeit rekonstruiert werden, sind also exakt rechnerisch faßbar, das Problem liegt nur an der praktischen Durchführbarkeit.

⁴ Damit haben wir eine ungefähre Vorstellung, wie die „neuronalen Netzwerke“ der unbelebten Natur funktionieren.

⁵ Was wir nicht tun, wenn wir daheim bleiben

Physikaufgabe 183

Da die Masse eines Schwarzen Lochs komplett die Gegenwartshyperfläche belegt, steuert die sichtbare Materie unter dem Einfluß der Gravitation auf den Schwarzschildradius und das (vorläufige) Ende der Welt zu. So erklärt sich die beschleunigte Ausdehnung des Alls.

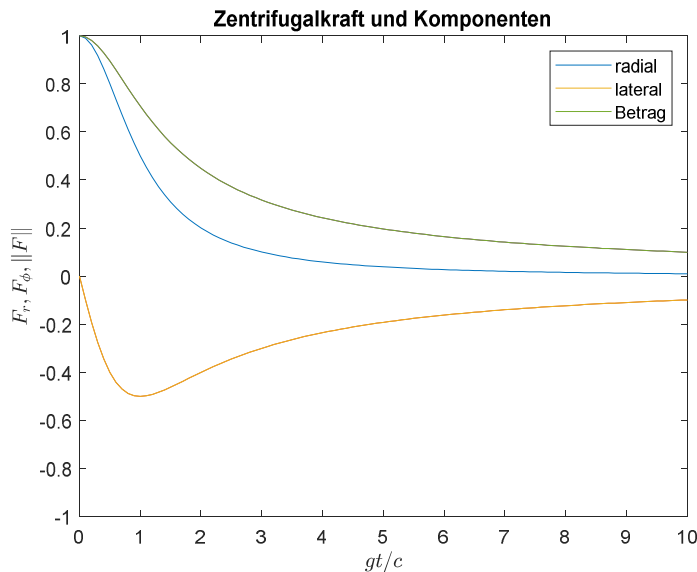


Abbildung 3. Die Zentrifugalkraft zeigt die gespiegelten Werte der Gravitationskraft, nur der Betrag bleibt gleich

Die Frage, ob das Weltall ein Schwarzes Loch ist, entscheidet sich an der kritischen Dichte. Der Schwarzschildradius des rotierenden Weltalls ist gegeben durch seine Masse M , wobei G die Gravitationskonstante ist,

$$R_S = \frac{GM}{c^2}.$$

Damit beträgt das Schwarzschildvolumen

$$V_S = \frac{4\pi}{3} R_S^3 = \frac{4\pi G^3 M^3}{3 c^6},$$

und die Schwarzschild-Dichte ist

$$\rho_S = \frac{M}{V_S} = \frac{3c^6}{4\pi G^3 M^2}.$$

Sobald das All diese Dichte überschreitet, entsteht ein Schwarzes Loch. Dazu muß gelten:

$$\rho > \rho_S \Leftrightarrow \frac{M}{V} > \frac{M}{V_S} \Leftrightarrow \frac{M}{r^3} > \frac{M}{R_S^3} \Leftrightarrow R_S^3 > r^3.$$

Dies wird durch die Relativitätstheorie für $t \leq T_S$ perfekt gewährleistet:

$$r = \frac{R_S}{\sqrt{1 + \frac{g^2 T_S^2}{c^2}}} < R_S.$$

Physikaufgabe 183

Wir können das auch noch einmal an der Oberflächendichte σ festmachen. Wenn wir den Radius r in die Masse M einsetzen,

$$M = \frac{R_s c^2}{G} = 4\pi\sigma r^2 = 4\pi\sigma \frac{R_s^2}{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}} \left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}\right),$$

folgt nach Umformung

$$\sigma(t) = \frac{R_s c^2}{4\pi R_s^2 G} \frac{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \frac{M}{4\pi R_s^2} \frac{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \sigma(T_s) \frac{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} = \frac{\sigma(0)}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}}$$

bzw.

$$\sigma = \sigma_s \frac{1 + \frac{g^2 T_s^2}{c^2}}{1 + \frac{g^2 t^2}{c^2}} > \sigma_s.$$

Die Dichte ist also in der Singularität am größten und auf dem Schwarzschildradius am kleinsten. Damit ist auch allen Theorien, die das Weltall sogleich zu voller Größe aufspannen wollen, eine Absage zu erteilen, denn das All ist wie eine Feder, die sich immer wieder selbst aufzieht. Eine unendliche Abfolge von Universen ist die Konsequenz.⁶ Auch die Frage, wann der Prozeß begonnen hat, stellt sich damit nicht, da Raum und Zeit bei jedem Neustart immer wieder neu beginnen, obwohl sie schon einmal da waren: ein Kreisprozeß, der keinen Anfang hat und kein Ende und damit zeitlos ist, wie es die Wheeler-DeWitt-Gleichung

$$\hat{H}|\psi\rangle = 0$$

vorhersagt.

Anhang

```
% Programm gravitation
% Dieses Programm berechnet die Gravitationskräfte auf eine Galaxie im
% Universum in Abhängigkeit von der Zeit bis zur 10fachen
% Lichtgeschwindigkeit
clear all

% Normierte Ausbreitungsgeschwindigkeit
v = 10;
% Gravitationsbeschleunigung
g = -1;

for i = 1:201
    x(i) = (i-1)*v/100;
```

⁶ Es trifft daher nicht zu, wie Roger Penrose und Stephen Hawking 1970 meinten, daß unter sehr allgemeinen Annahmen Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie unvollständig sei, weil sie den Anfang des Universums aufgrund von Singularitätsproblemen nicht beschreiben könne. Die Gravitation entsteht und verschwindet nämlich nicht wirklich. Mindestens ein Quant überlebt.

Physikaufgabe 183

```
F_r(i) = abs(g)/(1+x(i)^2);
F_phi(i) = -abs(g)*x(i)/(1+x(i)^2);
F(i) = abs(g)/sqrt((1+x(i)^2));
G_r(i) = -F_r(i);
G_phi(i) = -F_phi(i);
G(i) = F(i);
end

figure(1)
plot(x,F_r)
p1 = plot(x,F_r)
title('Zentrifugalkraft und Komponenten')
xlabel('$gt/c$', 'interpreter', 'latex')
ylabel('$F_r, F_\phi, \|F\|$', 'interpreter', 'latex')
xlim([0 10])
ylim([-1 1])
hold on
plot(x,F_phi)
p2 = plot(x,F_phi)
hold on
plot(x,F)
p3 = plot(x,F)
hold off
legend([p1 p2 p3], {'radial', 'lateral', 'Betrag'})

figure(2)
plot(x,G_r)
p1 = plot(x,G_r)
title('Gravitationskraft und Komponenten')
xlabel('$gt/c$', 'interpreter', 'latex')
ylabel('$G_r, G_\phi, \|G\|$', 'interpreter', 'latex')
xlim([0 10])
ylim([-1 1])
hold on
plot(x,G_phi)
p2 = plot(x,G_phi)
hold on
plot(x,G)
p3 = plot(x,G)
hold off
legend([p1 p2 p3], {'radial', 'lateral', 'Betrag'})
```