Aufgabe: Erläutern Sie, warum unser Universum nicht nur aus einer Singularität bestehen kann und warum man in den Ereignishorizont wie in einen Spiegel blickt. Bestätigen Sie die Steady-State-Theorie Albert Einsteins.

Lösung: Noch immer glauben viele Wissenschaftler, daß sich das All unbegrenzt ausdehnt [1]. Obwohl sie sehen, was bei der Kollision zweier Galaxien, bei denen auch die Schwarzen Löcher im Zentrum kollidieren, passiert, denken sie immer noch, daß sich das Weltall abkühlen müsse. Bei der Kollision der Schwarzen Löcher [2] entsteht ein einzelnes Schwarzes Loch, jedoch verliert dieses in der Größenordnung von etwa 5 % seiner Masse thermische Strahlung durch Gravitationswellen [3], die ins umgebende Weltall ausgesandt werden. Obwohl Stephen Hawking gezeigt hat, daß die Entropie eines Schwarzen Lochs mit seiner Größe zunimmt, folgerten einige Physiker daraus, daß die Entropie auch im umgebenden Raum zunehmen müsse [4]. Das All ist allerdings kein offenes System, denn der Raum ist gekrümmt und besitzt eine endliche Masse. Mithin hat das All aufgrund seiner Größe selbst einen Schwarzschildradius, sonst würde seine Energie ins Nichts entweichen, aber da es das Nichts nicht gibt, muß alle am Ereignishorizont reflektierte Energie ins Weltall zurückkehren. Nichts kann nach außen dringen. Wohin sollte die Strahlung auch entweichen, wo doch der Raum nicht weiter expandieren kann? Bei einer unendlichen Ausdehnung des Alls würde der Krümmungskreis immer größer, die Krümmung würde verschwinden, aber das widerspräche in gewisser Weise der Tatsache, daß es eine anziehende Kraftwirkung von außen geben muß, welche auf die Galaxien im Raum wirkt. Niemanden scheint es offenbar zu verwundern, daß sämtliche Galaxien von uns wegfliegen, und das nicht nur mit konstanter Geschwindigkeit, sondern auch noch beschleunigt. Abstoßende Kräfte von innen widersprechen allerdings einer beschleunigten Ausdehnung, da auch sie mit dem Entfernungsquadrat nachlassen. Irgendwo muß es also eine Kraft da draußen geben, welche die Galaxien von uns wegzieht, und zwar um so stärker, je weiter sie von uns weg sind. Jedoch gehen derzeit alle von dieser seltsam abstoßenden Kraft aus, die ihren Ursprung in der dunklen Energie haben soll, ohne an das naheliegendste, die Massenanziehung, zu denken.[1] Unser Weltbild wir dadurch verzerrt, weil wir uns eine Singularität schier unendlicher Ausdehnung anschaulich nicht vorstellen können. Daß die komplette Masse innerhalb einer Kugel jedoch auf die Kugeloberfläche einer Hohlkugel projiziert werden kann, ohne daß dadurch auch nur ein Naturgesetz Schaden nimmt, daran mag wohl niemand gedacht haben.[2] Der reziproke Raum ist allerdings ganz leicht zu begreifen: Wenn 0 die Größe einer Singularität angibt, dann entspricht $1/0 = \infty$ der Größe derselben Singularität im reziproken Raum. Ob nun die Masse in einem Punkt konzentriert ist oder gleichmäßig über die Oberfläche einer Hohlsphäre verteilt, spielt für die weiteren Betrachtungen nur insofern eine Rolle, als die Punktsingularität stets in der Vergangenheit liegt, die Randsingularität immer in der Zukunft. Die Galaxien fliegen allerdings in die Zukunft, also in die Randsingularität hinein. Wenn wir in einen Spiegel blicken, sehen wir darin, wenn wir hinter uns einen Umkehrspiegel aufstellen, unseren Rücken. Das Licht hat uns damit eingeholt. Das gleiche gilt fürs Weltall, auch dieses hat einen Spiegel, und diesen stellt die Zeitverschiebung des Urknalls dar. Da es nicht nur eine Singularität geben kann, wie wir nachfolgend beweisen werden, werden wir nach Ablauf des Weltalters wieder in die ursprüngliche Singularität, der wir entsprungen sind, zurückkehren.[3] Die Zeit schließt sich

[1] Nur zur Erinnerung: Die Naturgesetze sind universell, sie gelten daher auch im All.

[2] Das haben wir in Physikaufgabe [132] nachgewiesen.

[3] Denn Staub bist du, und zum Staube wirst du zurückkehren! 1 Mose 3:19

nämlich wie ein Kreis, der keinen Anfang und kein Ende hat, aber immer ein Kreis bleibt, wie in drei Dimensionen übrigens auch eine Kugeloberfläche etwas völlig in sich Geschlossenes darstellt. Insofern hat unser Universum einen durchaus flachen Charakter.

Betrachten wir nun zwei Schwarze Löcher im Universum, das eine mit konvexer Oberfläche und einem Massenmittelpunkt im Innern der umgebenden Sphäre, das andere mit konkaver Krümmung und einem Massenmittelpunkt, der mit dem der Punktsingularität zusammenfällt. Unser Universum unterliegt also unmittelbar nach seiner Entstehung dem Einfluß der Randsingularität, in die wir beschleunigt hineingezogen werden. Da das Universum aber noch relativ jung ist, verläuft diese Beschleunigung sehr moderat, so daß wir sie im echten Leben auch mit Meßgeräten kaum wahrnehmen, vor allem, solange der Ereignishorizont der Randsingularität derart gewaltig groß ist wie derzeit. Der Schwarzschildradius des konvexen Schwarzen Lochs sei also R_0, der des konkaven R_∞. Das Universum selbst habe den Schwarzschildradius R_S. Solange sich die beiden Schwarzschildradien nicht berühren, gibt jedes Schwarze Loch seine Energie in Form von Hawking-Strahlung [5] an den Zwischenraum zwischen den beiden Schwarzen Löchern ab. Die beiden Singularitäten[4] können also nur einmal den gleichen Schwarzschildradius $R_0 = R_\infty$ haben, und zwar, wenn das Universum seine größte Ausdehnung hat. Somit ist deren Summe stets kleiner als der Schwarzschildradius des Alls, außer beim Urknall. Sei nun M die Masse des Universums, M_0 die Masse des konvexen Schwarzen Lochs und M_∞ die Masse des konkaven, dessen Schwarzschildradius innerhalb des Universums liegt, dann gilt für die beiden Massen, wenn die Singularitäten sich gerade berühren, die Bilanzgleichung $M = M_0 + M_\infty$. In lichtartigen Universen gelten nämlich wegen

$$s^2 = c^2 t^2 - \mathbf{R}^2 = 0$$

für den Radius $R = ct$ mit $t = (1/3)\Lambda^{-1} M^3$ die Relationen

$$R_0 = \frac{c}{3\Lambda} M_0^3 = \frac{c}{3\Lambda}\left(M - M_\infty\right)^3 \quad \text{bzw.} \quad R_\infty = \frac{c}{3\Lambda} M_\infty^3 = \frac{c}{3\Lambda}\left(M - M_0\right)^3,$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit und $\Lambda = 4 \cdot 10^{15}\ \text{kg}^3/\text{s}$ eine Konstante ist. Man beachte, daß

$$R_0 + R_\infty = \frac{c}{3\Lambda}\left(M_0^3 + \left(M - M_0\right)^3\right) < \frac{c}{3\Lambda} M^3 = R_S.$$

Das kann man mit Hilfe der Parametrisierung $M_0 = \gamma M$ mit $0 \le \gamma \le 1$ leicht beweisen, denn es gilt:

$$\gamma^3 + \left(1-\gamma\right)^3 = 1 - 3\gamma + 3\gamma^2 \le 1.$$

Diese Ungleichung ergibt für $\gamma = 0$ und $\gamma = 1$, also nur während der kurzen Zeit des Urknalls, das Gleichheitszeichen, für Werte, die dazwischen liegen, gilt stets das Kleinerzeichen. Die Funktion

$$f(\gamma) = 1 - 3\gamma + 3\gamma^2$$

[4] Von denen die eine in der Zukunft liegt, die andere in der Vergangenheit

hat die Ableitung $f'(\gamma) = -3 + 6\gamma$, die für $\gamma = 1/2$ ein relatives Minimum aufweist. Im Minimum gilt

$$R_0 + R_\infty = \frac{c}{3\Lambda}\left(1 - \frac{3}{2} + \frac{3}{4}\right)M^3 = \frac{1}{4}\frac{c}{3\Lambda}M^3 < R_S,$$

d.h. der Radius des sichtbaren Raums beansprucht drei Viertel des Schwarzschildradius, wenn sowohl die Masse der Punktsingularität als auch die Masse der Randsingularität auf jeweils die Hälfte der Masse des Universums angewachsen bzw. abgefallen sind. In diesem Zustand nimmt jedes der beiden Schwarzen Löcher genausoviel Strahlung vom sichtbaren Universum auf, wie es selbst an dieses abgibt. Dieser Zustand scheint aber noch nicht stabil zu sein, denn die beiden Schwarzen Löcher ziehen sich gegenseitig an. Da das Licht sich vom Zentrum des Universums als auch von seinem Rand gleich schnell ausbreitet, treffen sich die beiden Schwarzen Löcher im Abstand $R_0 + R_\infty = R_S$, wobei für die beiden Volumina bei gleicher Dichte gilt:

$$\frac{4\pi}{3}R_0^3 + \frac{4\pi}{3}\left(R_S^3 - R_\infty^3\right) = V_S,$$

woraus sofort $R_0 = R_S$ folgt. Das sind aber genau die Bedingungen, unter denen die beiden Schwarzen Löcher verschmelzen und den Urknall auslösen. Die dabei entstehenden Gravitationswellen reißen das All auseinander, so daß die Masse des einen voll in die Masse des anderen stürzt. Die Relation

$$R_0 = R_\infty = \frac{1}{\sqrt[3]{2}}R_S$$

ist zwar formal eine Lösung der obigen Gleichung, aber sie läuft den Aussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie zuwider. Die Massen wären dann ebenfalls gleich der halben Gesamtmasse, und ein sichtbares Universum könnte dann nicht existieren:

$$M_0 = \frac{4\pi}{3}R_0^3 = \frac{4\pi}{3}\frac{1}{2}R_S^3 = M_\infty = \frac{M}{2}.$$

Da ein Nettomassenaustausch mit dem Universum nicht stattfinden kann, würden diese beiden Schwarzen Löcher ebenfalls zur Singularität des Universums verschmelzen. Anders sieht es aus, wenn die Randsingularität zu Beginn die gesamte Masse besitzt und die Punktsingularität keine. Dann folgt für $R_0 = 0$ aus

$$\frac{4\pi}{3}R_0^3 = \frac{4\pi}{3}\left(R_S^3 - R_\infty^3\right)$$

der Radius $R_\infty = R_S$. Auf dem Rand zerstrahle nun die Masse

$$\Delta M = \frac{4\pi}{3}\rho\left(R_S^3 - R_0^3\right) = \frac{4\pi}{3}\rho R_0^3,$$

die sich in der Masse des Raums wiederfindet. Der Vorgang wiederholt sich, bis schließlich $R_0 = R_S$ und $R_\infty = 0$. Falls die Masse zunächst voll in der Randsingularität enthalten ist und weil Strahlung sich nur mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten kann, besteht die Masse des Alls aus insgesamt drei Anteilen, die wir als Massenbilanz wie folgt aufaddieren können:

$$M = \frac{n}{2}\Delta M + \left(M - n\Delta M\right) + \frac{n}{2}\Delta M.$$

Im Strahlungsgleichgewicht gilt

$$\Delta M = \frac{2}{3}\frac{M}{n}.$$

Wenn *n* sehr groß ist, entsteht im Zwischenraum zwischen den Singularitäten kein leerer Raum und am All ändert sich gar nichts. Das größte leere Weltall entsteht für $n = 2$,

$$M = \Delta M + \left(M - 2\Delta M\right) + \Delta M = M_0 + M - 2M_0 + M_0.$$

Da Anfang und Ende der Raumzeit gleich sind, finden wir auf dem Rand des Universums ebenfalls ein Schwarzes Loch, welches aber dasselbe ist wie das kurz nach dem Urknall entstandene. Der Wert von ΔM ist nun in die neue Masse M_0 übergegangen. Um uns den realen Verhältnissen im Weltall etwas anzupassen, parametrisieren wir die Gleichung in zwei zunehmende Schwarze Löcher und ein zerfallendes All, in welches wir eines der zunehmenden Schwarzen Löcher einbetten:

$$\begin{aligned} M_0 &= \gamma M, \\ M_\infty &= \gamma M, \\ \Delta M &= \int_{V_S} \bar{\rho} d^3 r = M\left(1 - 2\gamma\right). \end{aligned}$$

Das entspricht in etwa der Situation, die wir beim Wachstum der Schwarzen Löcher im Zentrum der Galaxien bei sonst überwiegend leerem Raum vorfinden. Weil aber die Schwarzen Löcher mehr Masse aufnehmen als sie zerstrahlen, kann diese Parametrisierung formal von drei auf zwei Bestandteile reduziert werden:

$$M = \gamma M + M\left(1 - 2\gamma\right) + \gamma M = \gamma M + M\left(1 - \gamma\right).$$

Ausgedrückt durch Volumina heißt dies

$$M = \rho\Delta V + \rho\left(V_S - 2\Delta V\right) + \rho\Delta V = \rho\left(V_S + \Delta V\right) - \rho V_S + \rho\left(V_S - \Delta V\right),$$

wobei $\gamma = \Delta V / V_S$. Da wir es mit kugelförmigen Massenverteilungen zu tun haben, bedarf es der Kenntnis der Radien R_S und ΔR. Damit können wir die benötigten Volumina berechnen:

$$V_S = \frac{4\pi}{3} R_S^3 \quad \text{bzw.} \quad \Delta V = \frac{4\pi}{3}\Delta R^3,$$

und der Parameter γ lautet dann $\gamma = \Delta R^3 \big/ R_S^3$. Aus dem binomischen Satz folgt entsprechend

$$\begin{aligned} \left(R_S + \Delta R\right)^3 &= R_S^3 + 3R_S^2\Delta R + 3R_S\Delta R^2 + \Delta R^3, \\ \left(R_S - \Delta R\right)^3 &= R_S^3 - 3R_S^2\Delta R + 3R_S\Delta R^2 - \Delta R^3, \end{aligned}$$

und die geeignete Umformung ergibt

$$R_S^3 + \Delta R^3 = \left(R_S + \Delta R\right)^3 - 3R_S^2\Delta R - 3R_S\Delta R^2,$$
$$R_S^3 - \Delta R^3 = \left(R_S - \Delta R\right)^3 + 3R_S^2\Delta R - 3R_S\Delta R^2.$$

Damit lassen sich die gesuchten Volumina berechnen:

$$V_S + \Delta V = \frac{4\pi}{3}\left(R_S^3 + \Delta R^3\right) = \frac{4\pi}{3}\left(R_S + \Delta R\right)^3 - 4\pi R_S^2\Delta R - 4\pi\Delta R^2 R_S,$$
$$V_S - \Delta V = \frac{4\pi}{3}\left(R_S^3 - \Delta R^3\right) = \frac{4\pi}{3}\left(R_S - \Delta R\right)^3 + 4\pi R_S^2\Delta R - 4\pi\Delta R^2 R_S.$$

Setzen wir diese beiden Ausdrücke in die Massenformel ein, erhalten wir

$$M = \rho\left(\frac{4\pi}{3}\left(R_S + \Delta R\right)^3 - 4\pi R_S^2\Delta R - 4\pi\Delta R^2 R_S\right) - \rho\frac{4\pi}{3}R_S^3$$
$$+\rho\left(\frac{4\pi}{3}\left(R_S - \Delta R\right)^3 + 4\pi R_S^2\Delta R - 4\pi\Delta R^2 R_S\right).$$

Das Volumen des Universums besteht also aus verschiedenen Beiträgen, die für sich betrachtet einen größeren Radius haben können als das All. Fassen wir geeignet zusammen, ist

$$V_S = \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3}\left(\left(R_S + \Delta R\right)^3 - 3R_S^2\Delta R - 3\Delta R^2 R_S - R_S^3\right)$$
$$+\frac{4\pi}{3}\left(\left(R_S - \Delta R\right)^3 + 3R_S^2\Delta R - 3\Delta R^2 R_S\right)$$

bzw.

$$M = \frac{\Delta R^3}{R_S^3}M + \left(1 - \frac{\Delta R^3}{R_S^3}\right)M.$$

Wir berechnen nun mit Hilfe des Parameters γ die Massen der beiden Singularitäten, wobei wir die Masse der Punktsingularität der Masse des Raums aufgeschlagen haben. Damit ergeben sich die Werte gemäß Tab. 1:

$\Delta R/R_S$	γ	$M - M_0$	M_0
0	0	M	0
1/4	1/64	$63/64M$	$1/64M$
1/2	8/64	$56/64M$	$8/64M$
3/4	27/64	$37/64M$	$27/64M$
1	1	0	M

Tabelle 1. Die Punktsingularität wächst, die Randsingularität nimmt ab

Die Masse jenseits des Raums können wir aufgrund des Ereignishorizonts nicht sehen, sie fehlt schlichtweg und ist nur in Form von dunkler Energie vorhanden. Die Masse der Punktsingularität verbirgt sich in den Schwarzen Löchern, die wir im Zentrum jeder Galaxie antreffen. Letztere sind also feste Bestandteile unseres Universums, Reste der großen Singularität, die vom

Urknall übriggeblieben sind. Wie man sieht, nimmt die Masse der Punktsingularität mit der dritten Potenz des relativen Radius zu. Diese Situation ist aber nicht in der vereinfachten Abb. 1 dargestellt. Diese zeigt ein Diagramm, in dem die Ausdehnung des Raums linear über der Massenzunahme der Singularität aufgetragen ist.

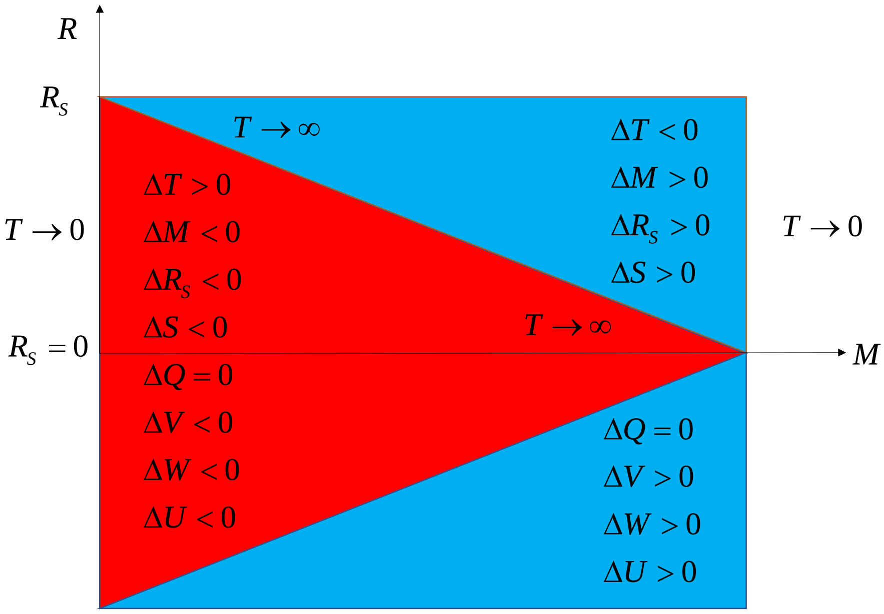

Abbildung 1. Die thermodynamischen Verhältnisse in der Punktsingularität (blau) und in der Randsingularität (rot)

Die Energie des Universums bleibt erhalten, wenn wir die inneren Energien der Randsingularität und die äußeren Energien der Punktsingularität addieren. Die Temperatur, die mit zunehmender Masse in der Punktsingularität abnimmt, steigt um denselben Wert in der Randsingularität an. Die Entropie einer Singularität wächst proportional zu ihrer Oberfläche, sie nimmt also mit der Ausdehnung und damit der Masse des Schwarzen Lochs zu. Demgegenüber sinkt die Entropie der Randsingularität, weil deren Radius schrumpft. Wenn der Raum der Randsingularität abnimmt bzw. komprimiert wird, nimmt das Volumen der Punktsingularität umgekehrt zu. Durch die Kompression der Randsingularität wird Wärme frei und die Temperatur steigt an. Es ist also nicht der Fall, wie man im allgemeinen glaubt, daß sich das All als Ganzes durch Ausdehnung abkühlt. Es dehnt sich nämlich nicht aus, sondern was in die Randsingularität hineingesogen wird, spuckt die Punktsingularität wieder aus. Durch die Expansion der Punktsingularität kühlt diese ab, Arbeit muß zugeführt werden. Insgesamt wird das All einschließlich der Singularitäten aber weder komprimiert noch dehnt es sich aus, weil auch die Entropie insgesamt weder zu- noch abnimmt. Mithin bleibt die Energie des Alls erhalten, denn seine innere Energie $\Delta U = 0$ ändert sich nicht. Aber auch die Entropie und die Arbeit sind Erhaltungsgrößen: $\Delta Q = \Delta W = 0$. Nimmt man die obige Dreiteilung des Universums vor, werden die Verhältnisse etwas komplizierter, aber die Prinzipien der Physik ändern sich dadurch nicht. Man kann davon ausgehen, daß Energie jedweder Form nur Umwandlungen unterliegt, und daß man der Null gegenüber immer skeptisch sein muß, weil sich dahinter nichts Unsichtbares verbirgt, sondern meistens eine Superposition, die alles zu null (zunichte) macht. Im Grunde hatte Einstein recht mit seiner Annahme eines stationären Universums [6][7], auch wenn es im Innern manchmal recht quirlig zugehen mag. Die Friedmann-Gleichungen setzen die kosmologische Konstante unzulässigerweise gleich null [8] und kommen daher zu einem falschen Ergebnis.

Literatur:

[1] Austin Joyce, Bhuvnesh Jain, Justin Khoury, Mark Trodden: *Jenseits des kosmologischen Standardmodells*. Physikberichte, Band 568, 22. März 2015 , Seiten 1–98.

[2] R. Abbott *et al., GW190412: Observation of a Binary-Black-Hole Coalescence with Asymmetric Masses.* Phys. Rev. D 102, 043015 – Veröffentlicht am 24. August 2020.

[3] Albert Einstein: *Über Gravitationswellen*. In: Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften (Berlin). Sitzungsberichte (1918), Mitteilung vom 31. Januar 1918, S. 154–167.

[4] Martin Carrier: *Wärmetod*, in: Jürgen Mittelstraß (Hrsg.): *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie.* 2. Auflage. Band 8: Th - Z. Stuttgart, Metzler 2018.

[5] Stephen W. Hawking, *Particle creation by black holes,* Commun. Math. Phys. 43 (1975), 199–220.

[6] David Castelvecchi: *Einstein's Lost Theory Uncovered. The famous physicist explored the idea of a steady-state universe in 1931*. In: Scientific American/Nature Magazine. Online-Ausgabe 25. Februar 2014.

[7] F. Hoyle, G. Burbidge, J. V. Narlikar: *A quasi-steady state cosmological model with creation of matter.* In: The Astrophysical Journal. 410, 1993, S. 437–457.

[8] A. Friedmann: *Über die Krümmung des Raumes*. In: Zeitschrift für Physik, Band 10, Nr. 1, 1922, S. 377–386.

