

Greselius Gymnasium Bramsche

Facharbeit

# Dunkle Energie

Jahrgang: 12  
Seminarfach: Astronomie  
Verfasserin: Höveler, Alena  
Fachlehrer: Herr Riemer  
Abgabetermin: 16.03.2021

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	2
2	Der Weg zur Dunklen Energie .....	2
2.1	Forschungsentwicklung.....	4
2.1.1	Rotverschiebung.....	4
2.1.2	Edwin Hubble.....	4
2.1.3	Supernovae Typ 1a.....	5
2.2	Kosmische Hintergrundstrahlung.....	6
3	Verschiedene Theorien zur Dunklen Energie .....	7
3.1	Die kosmologische Konstante .....	8
3.1.1	Theoretische Folgen für das Universum .....	9
3.1.2	Das Problem mit der kosmologischen Konstante.....	9
3.2	Quintessenzen .....	10
3.2.1	Das Radionenfeld .....	11
3.2.2	Phantom Energie .....	12
3.3	Objekte aus dunkler Energie .....	12
4	Zweifel an der Dunklen Energie?.....	13
5	Forschung in der Zukunft.....	14
5.1	Dark Energy Survey .....	14
5.2	eRosita.....	14
5.3	Ecluid .....	14
6	Schluss.....	15
7	Literatur und Quellverzeichnis.....	16
7.1	Literaturquellen .....	16
7.2	Onlinequellen: .....	16

## 1 Einleitung

Das Universum dehnt sich aus. Das ist seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt. Jedoch hat sich in den letzten zwanzig Jahren, durch intensive Forschung, herausgestellt, dass es nicht so einfach zu erklären ist, wie gedacht. Der Grund dafür ist eines der größten Rätsel der modernen Kosmologie: Die Dunkle Energie.

Im folgenden Text wird erläutert was unter diesem Begriff zu verstehen ist. Zudem wird die Historie der Forschung und unterschiedliche theoretische Ansätze vorgestellt. Diese können unter anderem Aufschluss darüber geben, welche Auswirkungen die Dunkle Energie auf die Entwicklung und das Ende des Universums haben könnte. Oder handelt es doch nur um einen riesigen Irrtum und es gibt gar keine Dunkle Energie?

## 2 Der Weg zur Dunklen Energie

Der Begriff „Dunkle Energie“ kam das erste Mal im Jahr 1998 auf. Die beiden Forschergruppen, „Supernova Cosmology Project“ und „High-Redshift Supernova Search“, entdeckten, dass sich die Ausdehnung des Universums beschleunigt.<sup>1</sup> Diese Entdeckung war für Viele eine große Überraschung. Bis zu diesem Zeitpunkt war man der Annahme, dass die Expansion des Weltraums noch eine Folge des Urknalles ist und stetig schwächer werden sollte. Die Gravitation der Materie im Universum, wie Sterne, Planeten und Galaxien, müsste nach den uns bekannten physikalischen Gesetzen der Ausdehnung entgegenwirken und diese verlangsamen.<sup>2</sup> Die Frage war nur, wie lange dieser Vorgang braucht und wie stark die Wirkung der Gravitation ist. Denn es bestand die Möglichkeit, dass nach dem totalen Stillstand der Ausdehnung, die entgegengesetzte Kraft die Überhand gewinnt. Wenn das der Fall wäre, würde das Universum wieder in sich zusammenfallen und es fände ein „umgekehrter Urknall“ statt. Dieses Phänomen untersuchten die oben genannten Forschergruppen. Sie kamen zu überraschenden Ergebnissen. Ihren Messungen zur Folge lässt sich darauf schließen, dass das Universum

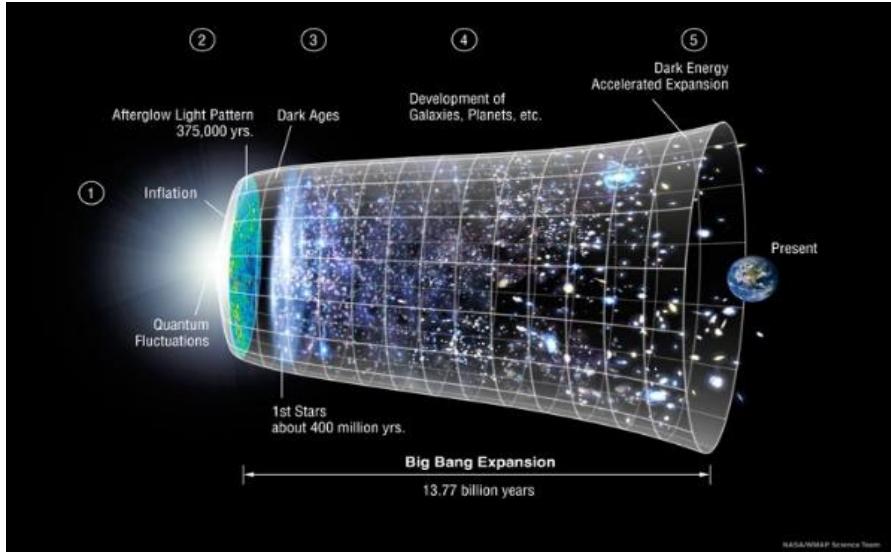
---

<sup>1</sup> Spektrum der Wissenschaft Kompakt, Dunkle Energie: Seite 34-38.

<sup>2</sup> Podbregar, Nadja: Der Supernova-Schock

mit zunehmender Geschwindigkeit expandiert. In Abbildung 1, einer Grafik der NASA, wird gezeigt, wie sich seit dem Urknall die Ausdehnung nach heutigem Kenntnisstand entwickelt hat.

*1 Expansion des Universums. NASA<sup>3</sup>*



Zu Beginn gab es eine starke Phase der Ausdehnung; die Inflation; woraufhin sich diese dann abschwächt. Am Ende lässt sich erkennen, dass die Expansion wieder zunimmt. Der Grund für dieses Phänomen ist bis heute nicht erklärt. Man geht davon aus, dass die dunkle Energie dafür verantwortlich ist. Jedoch weiß man auch nicht, was sie ist oder wodurch sie hervorgerufen wird.<sup>1</sup> „Dunkel“ ist sie deshalb, weil sie nicht mit elektromagnetischen Kräften wechselwirkt und daher für uns unsichtbar bleibt. Außerdem beschreibt das Wort auch den Wissensstand, den wir über diese Energie haben.<sup>4</sup> Im Jahr 2011 erhielten die Astronomen Saul Perlmutter, Adam Riess und Brian Schmidt den Nobelpreis der Physik für die Entdeckung der beschleunigten Expansion des Universums durch die Beobachtung ferner Supernovae. Sie waren die Leiter der genannten Forschungsgruppen.<sup>1</sup>

---

<sup>3</sup> NASA: Lambda-CDM-Model of Cosmology

<sup>4</sup> Müller, Andreas: Dunkle Energie

## 2.1 Forschungsentwicklung

### 2.1.1 *Rotverschiebung*

Aber wie kamen die beidem Forschergruppen überhaupt zu dieser Erkenntnis? Zur Erklärung ist es ratsam, vorher einmal deutlich zu machen, was eine Rotverschiebung ist und welche Bedeutung sie in der Kosmologie besitzt. Hierbei handelt es sich um eine weitere Form des Doppler-Effekts. Bei diesem sind Geräusche beim Näherkommen höher, beim Entfernen werden sie tiefer. Dasselbe lässt sich auch auf das Licht übertragen. Wenn sich ein Körper, der Licht ausstrahlt, auf uns zu bewegt, erscheint er bläulicher. Bewegt er sich von uns weg, rötlicher. Je schneller das passiert, desto stärker ist diese Blau- bzw. Rotverschiebung. Wenn man Sterne, Galaxien oder andere Objekte im Universum auf diese Verschiebung untersucht, zeigt sich, ob sie sich entfernen oder auf uns zu bewegen.<sup>5</sup>

### 2.1.2 *Edwin Hubble*

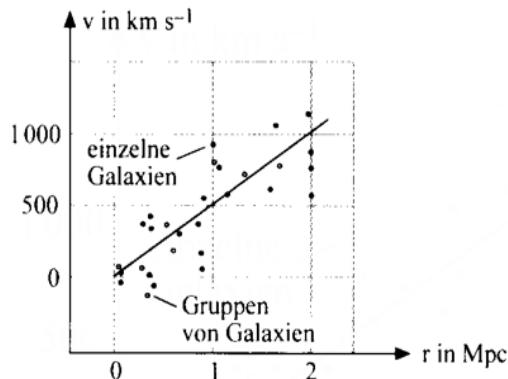
Nach diesem Prinzip wurde auch schon 1916 vom Vesto Silpher herausgefunden, dass sich alle Objekte von uns wegbewegen. Damals ging man aber davon aus, dass sich dies nur auf die Erde bezog. Erst als Edwin Hubble 1929 seine Forschungsergebnisse zu diesem Thema veröffentlichte, stellte sich heraus, dass, je weiter weg ein Objekt von uns ist, desto schneller entfernt es sich auch. Und dieses Phänomen lässt sich auf jeden Körper im Kosmos übertragen. Somit bewies er zum ersten Mal die Expansion des Universums. Die nach ihm benannte Hubble-Konstante gibt die Geschwindigkeit an, mit welcher sich ein Objekt von uns entfernt. In Abbildung 2 erkennt die Hubble-Konstante aus dem Jahr 1929.<sup>5</sup> Der Wert ist heute allerdings auf Grund verschiedener Messdaten umstritten.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Schmidt, Brian: The High-Z SN Search

<sup>6</sup> Lossau, Norbert: Die Krise der Kosmologie.

<sup>7</sup> Leophysik: Historische Hubble-Konstante



### 2.1.3 Supernovae Typ Ia

Auf dieselbe Weise wollten die beiden oben genannten Forschergruppen arbeiten, beobachteten dabei aber nur die Supernova vom Typ 1a.<sup>4</sup> Die Supernova des Typs 1a ist die Sternenexplosion eines weißen Zwerges, also eines sehr kleinen und schwach leuchtenden Sterns. Dieser stellt in den meisten Fällen das Endstadium eines Sternes da. Wenn ihm aber durch, zum Beispiel einem weiteren Stern in seiner Umlaufbahn, Energie zugefügt wird, kommt es zu einer Supernova.<sup>8</sup> Diese hat zwei besondere Eigenschaften. Zum einen ist sie sehr hell, sodass sie auch noch in sehr weiter Entfernung wahrzunehmen ist. Zum anderen besitzen sie auch immer die gleiche Leuchtkraft. Das war sehr wichtig für die Astronomen, denn das bedeutet, man kann nun die Werte der Supernovae vergleichen und ihren Abstand bestimmen.<sup>4</sup> Solche vergleichbaren Objekte werden in der Astronomie mit dem Begriff „Standardkerze“ bezeichnet.<sup>9</sup>

Folglich haben die beiden Forschungsgruppen nun die Rotverschiebung dieser Standardkerzen untersucht. Im Jahr 1998 hatten sie ausreichende Daten gesammelt, um sicher zu sein: Das Ergebnis war, dass, je weiter weg eine Supernova ist, desto stärker ist ihre Rotverschiebung. Brian Schmidt gibt dafür drei mögliche Gründe an. Die Forschungsteams liegen falsch und die Supernovae explodieren nicht immer mit der gleichen Lichtintensität;

<sup>7</sup> Leophysik: Historische Hubble-Konstante

<sup>8</sup> Müller, Andreas: Weißen Zwerg

<sup>9</sup> Müller, Andreas: Supernova

Einstins Relativitätstheorie ist nicht auf die Realität übertragbar und somit unsere gesamte Vorstellung des Kosmos falsch; oder, und das sei der wahrscheinlichste Grund, „Die Ausdehnung des Universums beschleunigt sich.“<sup>4</sup>

## 2.2 Kosmische Hintergrundstrahlung

Diese letzte Theorie der wurde in den letzten zwei Jahrzehnten auch durch andere Versuche bestätigt. Denn nicht nur durch die Beobachtung der Supernovae kann auf die Existenz der dunklen Energie geschlossen werden. Der Satellit WMAP wurde im Jahr 2001 ins All geschickt, um Informationen über die Temperaturänderungen der kosmologischen Hintergrundstrahlung zu sammeln.<sup>10</sup> Diese Hintergrundstrahlung befindet sich mit Mikrowellenbereich und soll ca. 380.000 Jahre nach dem Urknall entstanden sein. Sie ist außerdem gleichmäßig im Weltraum verteilt und kann dadurch viele Informationen über frühere Phasen des Universums liefern. Durch die Satellitendaten ergaben sich zudem Erkenntnisse, welche die Theorie der Dunklen Energie unterstützen. Durch die Temperaturfluktuationen lässt sich sogar eine Zusammensetzung des Universums bestimmen. Demnach macht die baryonische Materie, also alle Atome des uns bekannten Periodensystems, nur ungefähr 4,9% aus. Weitere 26,8% macht die Dunkle Materie aus.<sup>11</sup> Sie ist ebenfalls noch recht unerforscht, aber ihre Existenz wurde indirekt nachgewiesen. Die Dunkle Materie wirkt im Gegensatz zu der dunklen Energie gravitationsverstärkend und ist unter anderem der Grund, warum Galaxien nicht auseinander fallen.<sup>3</sup> Die restlichen 68,3% macht die Dunkle Energie aus. Im Umkehrschluss bedeutet das auch, dass wir nicht genau wissen, woraus ca. 95% unseres Kosmos besteht.<sup>8</sup>

---

<sup>10</sup> Wikipedia: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe.

<sup>11</sup> LEIFI: kosmische Hintergrundstrahlung.

### 3 Verschiedene Theorien zur Dunklen Energie

Es gibt zwar keine genauen Beweise, die darauf schließen lassen, was genau die Dunkle Energie ist. Aber dennoch existieren eine Vielzahl an Theorien. Um zu verstehen, wie diese verschiedenen Theorien für die Dunkle Energie zu interpretieren sind und welche Folgen sie für unser Universum hätten, ist es notwendig den  $w$ -Parameter zu erklären. Es wird aus dem Quotienten von Druck und Energiedichte gebildet:

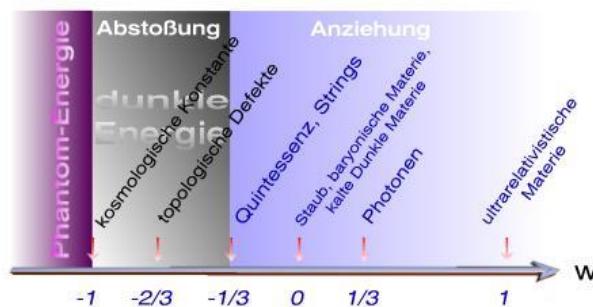
$$w = \frac{p}{\rho} = \frac{\text{Druck}}{\text{Energiedichte}}$$

Dieser Wert ist eine Angabe dafür, welcher Druck bei den verschiedenen Möglichkeiten vorliegt und somit auch, wie stark die Expansion stattfindet.<sup>12</sup> Für die Erklärung der Dunklen Energie sind allerdings nur Werte von  $w \leq -\frac{1}{3}$  von Relevanz, da ab diesen Werten der negative Druck stark genug ist.

Die Dunkle Energie muss einen negativen Druck besitzen, damit sie das Universum auseinandertreiben kann. Bei Werten die größer als  $-\frac{1}{3}$  sind, ist der negative Druck so gering, dass es nicht zu einer solchen beschleunigten Expansion führen würde, wie sie gemessen wurde. Je kleiner der Wert, desto schneller dehnt sich das Universum aus. In den meisten Fällen wird von  $w = -1$  oder  $w = -\frac{1}{3}$  ausgegangen, was sich auch in Abbildung 3 erkennen lässt.

<sup>3</sup>  $w$ -Parameter<sup>13</sup>

**w-Parameter:**  $w = \frac{p}{\rho c^2} = \frac{\text{Druck}}{\text{Energiedichte}}$



<sup>12</sup> Vaas, Rüdiger: Phantom-Energie zerreißt das Weltall.

Hier wird Anhand eines Graphen, die möglichen Werte für  $w$  und deren Folgen gezeigt.<sup>13</sup> Die Daten der Raumsonde WMAP ergaben außerdem, dass der tatsächliche Wert für  $w$  wahrscheinlich zwischen -1,2 und -0,8 liegt.<sup>9</sup>

Im Folgenden werden verschiedene Thesen zur dunklen Energie genannt und dessen theoretischen Folgen für unser Universum erläutert.

### 3.1 Die kosmologische Konstante

Eingeführt wurde die kosmologische Konstante schon 1917 von Albert Einstein, als er sie als Term in seiner Relativitätstheorie einfügte. Damit wollte er in der Formel seine Vorstellung von einem statischen Universum einbauen. Ein statisches Universum ist dann gegeben, wenn es sich weder ausdehnt, noch wieder in sich zusammenfällt. Dies war eine weitverbreitete Annahme, da man damals noch nicht wusste, dass das Universum expandiert.<sup>14</sup> Um das in seiner Berechnung miteinzubeziehen, fügte er den griechischen Buchstaben Lambda  $\Lambda$  in seine Gleichung ein. Diese Variable sollte für die kosmologische Konstante stehen. Bei einem Zusammenfallen des Universums wäre der Wert negativ, bei einer Ausdehnung positiv. Im Fall vom Einstein war sie Null.<sup>15</sup> Als ein gutes Jahrzehnt später Edwin Hubble bewies, dass sich das Universum ausdehnt, verwarf Einstein diesen Term wieder und nannte ihn die „größte Eselei seines Lebens“.<sup>14</sup> Heute gilt die kosmologische Konstante als die gängigste und wahrscheinlichste Theorie zur beschleunigten Expansion des Universums, stellt also genau das Gegenteil von dem, was Einstein im eigentlichen Sinne damit beschrieben hat, dar. Bei der kosmologischen Konstante geht man aus heutiger Sicht davon aus, dass im gesamten Weltraum eine sogenannten Vakuumenergie vorherrscht, bei welcher das Universum auseinandergetrieben wird.<sup>15</sup> Diese entsteht durch Quantenfluktuationen im Weltraum, welche durch sehr kurzlebige winzige Teilchen; auch virtuelle Teilchen<sup>16</sup> genannt; hervorgerufen werden.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Müller, Andreas:  $w$ -Parameter

<sup>14</sup> Florian, Freistetter: Die kosmologische Konstante und die Multiversumslandschaft

<sup>15</sup> Müller, Andreas: kosmologische Konstante

<sup>16</sup> Tillemann, Axel: Platons Höhlengleichnis und die Vakuumenergie des Universums

### 3.1.1 Theoretische Folgen für das Universum

Die kosmologische Konstante stellt die glaubwürdigste und am einfachsten zu erklärende Theorie der Dunklen Energie da. Deshalb wird sie auch in dem Standardmodell für die gesamte Kosmologie mit einberechnet: Das  $\Lambda$  – *CDM*-Modell.<sup>17</sup> Der griechische Buchstabe Lambda steht für die „Dunkle Energie“ und mit CDM ist „Cold Dark Matter“, also kalte Dunkle Materie, die weitere unbekannte Komponente, in unserem Kosmos, gemeint. Dieses Modell bietet Erklärungen für die Entstehung und Entwicklung unseres Universums. Außerdem verfolgt das Lambda-CDM-Modell auch eine Vorstellung wie das Universum endet.<sup>18</sup> Angenommen die Theorie stimmt und es existiert eine Vakuumenergie, welche das Universum auseinanderzieht, dann würde das Universum sich für immer beschleunigt ausdehnen. Dadurch würde der prozentuale Anteil der Dunklen Energie immer größer werden. Zurzeit besteht etwa 70% des Universums aus Dunkler Energie und 30% aus Materie. Wenn sich das Universum aber weiter ausdehnt, wird es selbst größer und somit der Anteil der Materie im Verhältnis kleiner. Das bedeutet, dass irgendwann der Punkt erreicht ist, an dem das Universum so weit expandiert ist; und die Dichte der Materie so gering ist, dass keine Sterne mehr entstehen können oder man auch keine anderen Sterne mehr wahrnehmen könnte. Das bedeutet, es gäbe keine Aktivität mehr, abgesehen von dem Verbrennen der vorhandenen Sterne, und das Universum würde in einer kalten Leere enden. Dieses Szenario wird auch „Big Freeze“ genannt.<sup>19</sup>

### 3.1.2 Das Problem mit der kosmologischen Konstante

Bei der kosmologischen Konstante gibt es jedoch ein entscheidendes Problem: Wenn man die Annahme, dass sich die Expansion des Universums auf Quantenfluktuationen zurückführen lässt, in der Theorie weiter verfolgt, ergibt sich für die kosmologische Konstante ein Wert von  $10^{94}$  Gramm pro Kubikzentimeter Raum. Bei den Messwerten hingegen, ist ein Wert von

---

<sup>17</sup> Hattenbach, Jan: Ärger um das Standardmodell?

<sup>18</sup> Spektrum: Standardmodell der Kosmologie

<sup>19</sup> Villanueva, John Carl: Big Freeze

$10^{-29}$  Gramm pro Kubikzentimeter festzustellen. Das würde eine Ungenauigkeit von über 120 Skaleneinheiten entsprechen und kann nicht mal annähernd richtig sein.<sup>14</sup> Außerdem kann der Wert auch nicht so groß sein. Ansonsten müsste die Expansion viel schneller stattfinden, als durch Messungen festgestellt wurde. Das bedeutet, der theoretische Ansatz ist falsch.<sup>14</sup> Es wird davon ausgegangen, dass aktuell einfach noch zu wenig an sonstigen Informationen, bezüglich der Dunklen Energie, vorliegen, damit sich der Wert richtig berechnen lässt. Außerdem müsste der w-Parameter für die kosmologische Konstante konstant bei -1 sein, da sich das Universum an allen Stellen mit der gleichen Geschwindigkeit ausdehnen müsste.<sup>4</sup> Das ist aber nicht immer der Fall. Es wurden nämlich bereits mehrere abweichende Werte, wie zum Beispiel ein Wert von -1,186 von dem Space Telescope Science Institute festgestellt.<sup>20</sup> Andere Experimente lieferten auch andere Werte. Sollte der Wert für w in Wirklichkeit nicht konstant sein, so ist die Theorie der kosmologischen Konstante sehr wahrscheinlich falsch.

### 3.2 Quintessenzen

Aufgrund dieser Probleme wurden noch weiteren möglichen Erklärungen für die Dunkle Energie gesucht. Dabei stellt die Quintessenz eine zeitlich veränderbare dunkle Energie dar, bei welcher die Probleme der Vakuumenergie nicht auftauchen würden.<sup>21</sup> Der Name Quintessenz, kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „fünftes Element“. Dieser Begriff wird genutzt, weil die Dunkle Energie für die Kosmologie auch so etwas wie eine neue fünfte Grundkraft - neben Gravitation, Elektromagnetismus, sowie starker und schwacher Wechselwirkung - darstellt.<sup>22</sup> Sie ist die alternative Theorie zur kosmologischen Konstante und man stellt sich darunter ein Feld vor, welches das Universum durchzieht. Dabei entsteht eine Wechselwirkung mit der Materie, welche die Ausdehnung herbeiführt. Der Wert für den w-Parameter dieses sogenannten Skalarfeldes entspricht in den typischen Modellen  $-\frac{1}{3}$ .<sup>4</sup> Es gibt aber viele verschiedene

---

<sup>20</sup> Podbregar, Nadja: Galaxiencluster und eine Kamera

<sup>21</sup> Müller, Andreas: Quintessenz

<sup>22</sup> LEIFI: Fundamentale und abgeleitete Kräfte

Ansätze für die Quintessenz, welche auch unterschiedliche Folgen hätten. Bei einer möglichen Form erklärt man sich die Quintessenz so, dass ein sehr leichtes Teilchen existiert; namens Cosmon. Dieses ist bei anderen Forschungen aufgrund seiner Eigenschaften, wie zum Beispiel der Teilchenbeschleunigung, nicht aufgefallen, obwohl es auf einer kosmischen Ebene Auswirkungen hat.<sup>21</sup> Eine andere Möglichkeit stellt sie Spintessenz da, bei welcher sich das Skalarfeld dreht. Diese Rotation müsste mit der Expansion des Universums abnehmen, was wiederum auch zu einer Abnahme der Dunklen Energie führen würde.<sup>23</sup> Eine der neusten Theorie stellen die multiplen Skalarfelder da. Im Jahr 2020 haben Forscher der Sorbonne Universität in Paris bestätigt, dass sie diese Theorie für sehr wahrscheinlich halten. Bei dieser Theorie handelt es sich um eine Abwandlung der Quintessenz. Es soll jedoch nicht nur ein Feld, welches das Universum durchzieht, existieren, sondern viele Felder. Diese sollen miteinander und auch zum Teil mit der Materie wechselwirken und so zur beschleunigten Expansion führen. Beweise gibt es hierfür aber noch nicht. Laut dem Forschungsteam sei dieses vielleicht schon die Aufgabe der nächsten Generation.<sup>24</sup>

### 3.2.1 *Das Radionenfeld*

Das Radionenfeld stellt eine mögliche Form der Quintessenz dar. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich das Universum sehr stark ausdehnt, bevor der Vorgang wieder umgekehrt wird und das Universum wieder in sich zusammenfällt.<sup>25</sup> Dieses Szenario wird auch „Big Crunch“ genannt und stellt einen „umgekehrten Urknall“ da.<sup>26</sup> Die Theorie besagt auch, dass es sich fortlaufend wiederholt und erklärt somit auch die Existenz unseres Universums.<sup>27</sup> Es erscheint als sehr unwahrscheinlich, da es bisher keine Hinweise auf eine langsam werdende Expansion gibt.<sup>26</sup>

---

<sup>23</sup> Cornell University: Spintessent! New Model for dark Matter and dark Energy

<sup>24</sup> Klatt, Robert: Mehr als eine dunkle Energie im Universum?

<sup>25</sup> Müller, Andreas: Astro-Lexikon, in: Radion

<sup>26</sup> Müller, Andreas: Big Crunch

<sup>27</sup> Müller, Andreas: Astro-Lexikon, in: Zyklisches Universum

### 3.2.2 *Phantom Energie*

Die Phantom Energie stellt eine drastische Interpretation der Quintessenz dar, weil bei ihr die Expansionsrate immer größer werden würde.<sup>28</sup> Ihr w-Parameter wäre kleiner als -1 und somit sehr stark. Dabei findet die Expansion immer schneller statt. Dem würde die Raumzeit schlussendlich nicht mehr standhalten und das Universum würde auseinanderreißen. Dieses mögliche Ende wird auch als „Bis Rip“ bezeichnet.<sup>4</sup> Bei einem w Wert von -1,2 würde es noch etwa 53 Milliarden Jahre dauern, bis unser Universum auseinanderbrechen würde.<sup>12</sup>

### 3.3 Objekte aus dunkler Energie

Eine weitere Hypothese ist, dass sich Dunkle Energie nicht als Vakuumenergie oder als ein Skalarfeld vorkommt, sondern in Körpern, welche sich aus ihr geformt haben. Solche Körper werden auch fachsprachlich mit der Abkürzung GEODE bezeichnet. Das kommt von der englischen Definition „Generic objects of dark energy“.<sup>29</sup> Es wird angenommen, dass sich aus Sternen, welche in einem frühen Stadium des Universums explodierten, schwarze Löcher gebildet haben. Bei diesen Sternen handelt es sich um eine sogenannte Population-3-Sterne, welche sich von gewöhnlichen Sternen unterscheiden, da sie massiver und kurzlebiger waren.<sup>30</sup> Diese daraus entstehenden rotierenden Körper besäßen aber, anders als bei gewöhnlichen schwarzen Löchern, einen Kern aus Dunkler Energie. Zu erkennen seien sie nicht, da sie sich auf Grund ihrer Eigenschaften, wie zum Beispiel ihre Messwellen, nicht von den gewöhnlichen schwarzen Löchern unterscheiden würden. Zu erklären ist durch diese Theorie, warum sich das Universum zu der Zeit nach dem Urknall mit einer anderen Geschwindigkeit ausdehnte als heute. Eine solche Kraft würde aber bedeuten, dass, wenn die mit normaler Materie in Kontakt kämen, sie Vieles zerstören würden. Laut der Theorie können solche Strukturen, bei einer langsamen Rotation, auch in der Nähe von normaler Materie existieren. Bei schneller

---

<sup>28</sup> Müller, Andreas: Phantom-Energie

<sup>29</sup> Podbregar, Nadja: Ist die dunkle Energie geklumpt?

<sup>30</sup> Alpha-Centauri: Was sind Population drei Sterne?

Rotation stoßen sie sich ab.<sup>29</sup> Viele dieser angenommenen, aus Dunkler Energie bestehenden schwarzen Löcher, wären allerdings in großen, leeren Bereichen des Universums zu finden, den sogenannten „voids“.<sup>31</sup>

Nach der Theorie waren GEODE schon vorhanden, als es nur die kosmische Hintergrundstrahlung gab. Sie hatte aber wenig Einfluss, da es noch kaum Materie gab, mit der sie interagieren konnten. Als dann später die Sterne entstanden, stießen die GEODE sich von ihnen ab und sorgte dadurch für die beschleunigte Expansion des Universums. Diese Erklärung würde mit den anerkannten physikalischen Gesetzen übereinstimmen. Wichtig zu erwähnen ist abermals, dass es sich nur um eine Vorstellung einer möglichen Dunklen Energie handelt und es noch keine festen Beweise gibt.<sup>29</sup> Die Theorien der Kosmologischen Konstante und der Quintessenz werden als plausibelsten Erklärungen angesehen.

#### 4 Zweifel an der Dunklen Energie?

Trotz der vielen Beweise und Theorien, bezüglich der Dunklen Energie, gab es 2019 eine Gruppe von Astronomen, die öffentlich die Existenz der dunklen Energie bestritten.<sup>34</sup>

Sie argumentieren, dass die Rotverschiebungen, welche erste Anhaltspunkte zur Dunklen Energie lieferte, auch durch andere Faktoren hervorgerufen werden kann. Die Messwerte, welche von der Rotverschiebung aufgenommen werden, werden nämlich noch einmal von Kosmologen korrigiert: Der Wert der übrig bleibt, stellt die Verschiebung durch die Dunkle Energie da. Die Forschergruppe geht aber davon aus, dass bei der Korrektur schon von einer gewissen beschleunigten Expansion ausgegangen wird und das durch dieses Vorgehen die Ergebnisse verfälscht werden.<sup>32</sup> Ein möglicher anderer Grund, der angeführt wird, ist, dass unsere Galaxie, die Milchstraße, durch eine noch unbeachtete Kraft bewegt wird und dadurch bei weit entfernten Supernovae ungenaue Messdaten entstehen. Diese These wird von dem Großteil der Astrophysiker und Kosmologen aber als zu unbegründet

---

<sup>31</sup> Freistetter, Florian: Das große Nichts: Voids

<sup>32</sup> Illinger, Patrick: Woraus besteht das Universum?

angesehen.<sup>33</sup> Außerdem gäbe es eine Reihe an weiteren Hinweisen auf die Dunkle Energie, wie zum Beispiel die kosmische Mikrowellen-Hintergrund-Strahlung.<sup>34</sup>

## 5 Forschung in der Zukunft

### 5.1 Dark Energy Survey

Das Dark Energy Survey ist eine Forschungseinheit, welche sich wie der Name schon sagt, hauptsächlich auf die Erforschung der Dunklen Energie spezialisiert. Ihr Standort befindet sich in Chile.<sup>35</sup> Seit 2013 sind sie mit der Erforschung von 14 Milliarden Jahren kosmologischer Geschichte beschäftigt und das mit einem Team aus über 400 Mitarbeitern aus unterschiedlichen Ländern. Die Forschungen werden durch eine speziell angefertigte Kamera, namens „DECam“ durchgeführt.<sup>36</sup> Das Institut gibt vielversprechende Aussichten für weitere Forschungen.

### 5.2 eRosita

eRosita ist ein satellitengebundenes Röntgenteleskop, welches am 13.Juli 2019 ins All geschickt wurde, um Informationen und Daten zu sammeln, welche der Ergründung der Dunklen Energie helfen könnten. Das vom Max-Plank-Institut entwickelte Teleskop soll nun durch die Erfassung von verschiedenen Galaxienhaufen die Dichte des Universums in verschiedenen Stadien der Ausdehnung berechnen und somit zu einem weiteren Verständnis beitragen können.<sup>37</sup>

### 5.3 Ecluid

Ecluid ist ebenfalls ein Satellitenteleskop, welches aber noch nicht ins All geschickt wurde. Der voraussichtliche Start soll 2022 stattfinden und wird von der europäischen Raumfahrtbehörde veranlasst. Sie soll genauso wie die

---

<sup>33</sup> Gast, Robert: Ist die dunkle Energie ein gigantischer Irrtum?

<sup>34</sup> Terra X Lesch & Co: Gibt es dunkle Energie gar nicht?

<sup>35</sup> Friedrich, Oliver: Die Suche nach der dunklen Energie.

<sup>36</sup> Dark Energy Survey: Overview

<sup>37</sup> Stirn, Alexander: Auf Tuchfühlung mit der dunklen Energie.

eRosita auch Informationen sammeln, welche bei der Erforschung der dunklen Energie helfen können.<sup>38</sup>

## 6 Schluss

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Dunkle Energie nach wie vor ein großes, ungelöstes Rätsel bleibt. Die nächsten Jahrzehnte werden in Hinsicht auf die Forschung sehr spannend sein und können weiteren Aufschluss darüber geben, was die wirkliche Natur des expandierenden Universums ist. Dabei stehen noch alle Möglichkeiten offen. Auch Forschungsansätze, die sich als nicht belegbar herausstellen, bieten jedoch Möglichkeiten für neue Denkanstöße, wie sich auch an den Diskussionen im Jahr 2019 erkennen ließ. Das bedeutet: Die Forschung geht weiter!

---

<sup>38</sup> Althaus, Tilmann: Mission Ecluid genehmigt.

## 7 Literatur und Quellverzeichnis

### 7.1 Literaturquellen

Spektrum der Wissenschaft. Kompakt. dunkle Energie. (05.2019)

### 7.2 Onlinequellen:

Alpha-Centauri. Was sind Population drei Sterne? Br.de

<https://www.br.de/mediathek/video/alpha-centauri-astro-physik-was-sind-population-drei-sterne-av:5bc5ff051e12b700188e3a7c>

Althaus, Tilmann. (2019) Mission Euclid genehmigt. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/news/mission-euclid-genehmigt/1155207>

Dark Energy Survey. (2021) Overview. Darkenergysurvey.org

<https://www.darkenergysurvey.org/the-des-project/overview/>

Freistetter; Florian. (2011) Das große Nichts: Voids. Scienceblogs.de

<https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2011/06/13/das-grosse-nichts-voids/>

Freistetter, Florian. (2011) Die kosmologische Konstante und die Multiversumslandschaft. Scienceblogs.de

<https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2011/07/25/die-kosmologische-konstante-und-die-multiversumslandschaft/>

Friedrich, Oliver. (2018) Dark Energy Survey. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/magazin/dark-energy-survey/1573268>

Fundamentale und abgeleitete Kräfte. Leifihysik.de

<https://www.leifihysik.de/mechanik/kraft-und-kraftarten/grundwissen/fundamentale-und-abgeleitete-kraefte>

Gast, Robert. (2019) Ist die dunkle Energie ein gigantischer Irrtum? Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/news/kosmologie-ist-die-dunkle-energie-ein-gigantischer-irrtum/1692212#>

Hattenbach, Jan. Ärger für das Standardmodell? Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/news/kosmologie-aerger-fuer-das-standardmodell/1537759>

Illinger, Patrick. (2020) Woraus besteht das Universum? Süddeutsche.de

<https://www.sueddeutsche.de/wissen/kosmologie-woraus-besteh-das-universum-1.4748573>

Klatt, Robert. (2021) Mehr als eine dunkle Energie im Universum. Forschung und Wissen.de

<https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/astronomie/mehr-als-eine-dunkle-energie-im-universum-13374652>

Leifophysik. Historische Hubble-Konstante.

<https://www.leifophysik.de/astronomie/kosmologie/aufgabe/historische-hubble-konstante-abitur-1996-gk-a6-2>

Leifophysik. Kosmische Hintergrundstrahlung.

<https://www.leifophysik.de/astronomie/kosmologie/grundwissen/kosmische-hintergrundstrahlung>

Lossau, Norbert. (2019) Die Krise der Kosmologie. Welt.de

[https://www.welt.de/print/die\\_welt/wissen/article203065382/Eine-Minute-Physik-Die-Krise-der-Kosmologie.html](https://www.welt.de/print/die_welt/wissen/article203065382/Eine-Minute-Physik-Die-Krise-der-Kosmologie.html)

Müller, Andreas. (2007) Astro-Lexikon R1. Spektrum.de

[https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_r.html](https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_r.html)

Müller, Andreas. (2007) Astro-Lexikon Z2. Spektrum.de

[https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_z02.html#zyk](https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_z02.html#zyk)

Müller, Andreas. (2014) Big Crunch. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/big-crunch/40>

Müller, Andreas. (2014) Dunkle Energie. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/dunkle-energie/83>

Müller, Andreas. (2014) Kosmologische Konstante. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/kosmologische-konstante/241>

Müller, Andreas. (2014) Phantom Energie. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/phantom-energie/340>

Müller, Andreas. (2014) Quintessenz. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/quintessenz/386>

Müller, Andreas. (2014) Supernova. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/supernova/465>

Müller, Andreas. (2014) Weißer Zwerg. Spektrum.de

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/weisser-zwerg/525>

- Müller, Andreas. (2014) w-Parameter. Spektrum.de  
<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/w-parameter/520>
- NASA. (2016) Lambda-CDM-Model of Cosmology. Nasa.gov  
[https://lambda.gsfc.nasa.gov/education/graphic\\_history/univ\\_evol.cfm](https://lambda.gsfc.nasa.gov/education/graphic_history/univ_evol.cfm)
- Podbregar, Nadja. (2014). Der Supernova-Schock. Scinexx.de  
<https://www.scinexx.de/dossierartikel/der-supernova-schock/>
- Podbregar, Nadja. (2014) Galaxiencluster und eine Kamera. Scinexx.de  
<https://www.scinexx.de/dossierartikel/galaxiencluster-und-eine-kamera/>
- Podbregar, Nadja. (2020) Ist die dunkle Energie geklumpt? Scinexx.de  
<https://www.scinexx.de/news/kosmos/ist-die-dunkle-energie-geklumpt/>
- Schmidt, Brian. (2007) The High-Z SN Search. Harvard.edu  
<https://www.cfa.harvard.edu/supernova/home.html>
- Spintessence! New Models for Dark Matter and Dark Energy. (2002) Arxiv.org  
<https://arxiv.org/abs/astro-ph/0105318>
- Standardmodell der Kosmologie. (1998) Spektrum.de  
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/standardmodell-der-kosmologie/13743>
- Stirn, Alexander. (2019) Auf Tuchfühlung mit der dunklen Energie. Spektrum  
<https://www.spektrum.de/news/auf-tuchfuehlung-mit-der-dunklen-energie/1659314>
- Terra X Lesch & Co. (2020) Gibt es Dunkle Energie gar nicht? Youtube.com  
<https://www.youtube.com/watch?v=ZVtraKhmtYo>
- Tillemans, Axel. (2002) Platons Höhlengleichnis und die Vakuumenergie des Universums. Wissenschaft.de  
<https://www.wissenschaft.de/astronomie-physik/platons-hoehlengleichnis-und-die-vakuumenergie-des-universums/>
- Vaas, Rüdiger. (2003) Phantom-Energie zerreißt das Weltall. Wissenschaft.de  
<https://www.wissenschaft.de/allgemein/phantom-energie-zerreisst-das-weltall/>
- Villanueva, John Carl. (2009) What is the Big Freeze? Universetoday.com  
<https://www.universetoday.com/36917/big-freeze/>
- Wilkinson Microwave Anisotropy Probe. Wikipedia.org  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Wilkinson\\_Microwave\\_Anisotropy\\_Probe](https://de.wikipedia.org/wiki/Wilkinson_Microwave_Anisotropy_Probe)

Alle aufgeführten Quellen wurden das letzte Mal am 15.03.2021 aufgerufen.

## **Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit**

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den \_\_\_\_\_ Unterschrift der  
Schülerin / des Schülers

## **Einverständniserklärung zur Veröffentlichung**

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Bramsche, den \_\_\_\_\_ Unterschrift der  
Schülerin / des Schülers