

Doppelsternsysteme – Ein Tanz im Weltraum

Facharbeit zum Seminarfach Astronomie

Schule: Greselius Gymnasium Bramsche

Verfasser: Tim Otte

Fachlehrer: Florian Riemer

Schuljahr: 2021/22

Abgabetermin: 07.03.2022

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Arten von Doppelsternen.....	3
2.1 Physische Doppelsterne.....	3
2.1.1 Spektroskopische Doppelsterne + Dopplereffekt.....	4
2.1.1.1 Photometrische (Bedeckungsveränderliche) Doppelsterne	5
2.1.2 Astrometrische Doppelsterne.....	6
2.2 Röntgen Doppelsterne.....	7
2.3 Optische Doppelsterne.....	7
3. Planeten in Doppelsternsystemen.....	8
3.1 Bewohnbare Planeten in Doppelsternsystemen.....	9
3.2 Risikoeinschätzung.....	10
4. Das Ende von Doppelsternsystemen – Die Kilonova.....	11
4.1 Voraussetzungen für eine Kilonova.....	11
4.2 Ablauf einer Kilonova.....	11
4.3 Bedeutung für die Wissenschaft.....	13
5. Fazit.....	14
6. Glossar.....	15
7. Literaturverzeichnis.....	16
7.1 Literaturquellen.....	16
7.2 Digitalquellen.....	16
8. Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit.....	19
9. Einverständniserklärung zu Veröffentlichung.....	19

1. Einleitung

Wenn man unser Sonnensystem betrachtet, geht man davon aus, dass es ausschließlich Sternsysteme gibt, die nur einen Stern besitzen. Jedoch kommen Abweichungen von den angenommenen Standardnormen des Universums nicht selten vor. Es gibt sogar mehr Sternensysteme mit mehreren Sternen, als jene mit einem Stern, wie unser Sonnensystem. In welchen verschiedenen Arten es solche Mehrfachsternsysteme gibt, stelle ich in dieser Arbeit vor. Der Wüstenplanet „Tatooine“ aus Star Wars sollte vielen begeisterten Science-Fiction Fans ein Begriff sein. Manchen wird aufgefallen sein, dass dieser Planet etwas Besonderes ist. Nicht aufgrund des speziellen Aussehens der Einwohner, sondern vielmehr aufgrund einer Abweichung in der Zahl der Sonnen. Der Planet „Tatooine“ besitzt zwei Sonnen an seinem Himmel. Ob ein Leben auf einem solchen Planeten auch im echten Leben tatsächlich möglich ist, wird in dieser Facharbeit erläutert. Auch zum Ende von Doppelsternsystemen nehme ich Bezug, weil gerade dieses Phänomen einen besonderen Wert für die Wissenschaft besitzt. Durch Erforschung des Untergangs von Doppelsternsystemen kann man viele Antworten auf noch ungelöste Fragen in der Wissenschaft finden. Ein paar Möglichkeiten, in denen das der Fall ist, stelle ich in dieser Arbeit vor.

2. Arten von Doppelsternen

Die Gruppe der Doppelsterne, die laut einer Statistik 50% aller Sterne in dem uns bekannten Universum ausmacht¹, wird in verschiedene Arten unterteilt. Genau genommen sind es zwei, die unter sich noch weiter klassifiziert werden können. Bei dieser Klassifizierung wird vor allem zwischen den „echten“ und „unechten“ Doppelsternen unterschieden.²

2.1 Physische Doppelsterne

Physische Doppelsterne werden auch als „echte Doppelsterne“ bezeichnet. Bei dieser Art von Sternen besteht ein gravitativer Zusammenhang zwischen mindestens zwei Einzelsternen. In den meisten Fällen wird die Umlaufbahn von Doppelsternen vereinfacht dargestellt, indem festgelegt wird, dass der massereichere der beiden Sterne in einer elliptischen Bahn von dem Einzelstern mit weniger Masse umkreist wird. Diese Vorstellung ist zwar leicht zu verstehen, jedoch sieht die tatsächliche Situation in vielen Doppelsternsystemen anders aus. Es gibt Systeme, in denen sich beide Sterne auf elliptischen Bahnen umkreisen und sich somit um einen gemeinsamen Schwerpunkt, das Baryzentrum drehen.³ *„Bei der gegenseitigen Umkreisung hat jeder Stern seine eigene Ellipsenbahn, deren große Halbachse in Relation zum zweiten Stern umgekehrt proportional seiner Masse ist“*⁴. Die Dauer eines Umlaufs variiert zwischen einigen Stunden und mehreren Jahrtausenden. Manche Doppelsterne liegen am Himmel so dicht aneinander, dass man sie weder mit dem bloßen Auge, noch mit den besten Teleskopen voneinander unterscheiden kann.⁵ Um festzustellen, ob es sich um einen einzelnen Stern oder einen Doppelstern handelt, gibt es verschiedene Methoden. Doppelsterne werden nach ihren Identifizierungsmethoden benannt.

1 Physik-Cosmos-Indirekt in „Doppelstern“

2 Schröder, Klaus-Peter in „Sterne und Weltraum 5-2020“ S. 69

3 Lehwald, Mario unter

http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_doppelsterne_physische.htm

4 Wikipedia in „Doppelstern“

5 Wikipedia in „Spektroskopischer Doppelstern“

2.1.1 Spektroskopische Doppelsterne + Dopplereffekt

Bei der Spektroskopie zerlegt man Strahlung in eine bestimmte Eigenschaft.⁶ In der Erforschung von Doppelsternen ist diese Eigenschaft die Wellenlänge des ausgesendeten Lichts der Sterne.

Betrachtet man die Umlaufbahnen von Doppelsternen fällt auf, wenn sich der eine Stern auf einen Punkt zu bewegt, entfernt sich der andere von diesem.⁷ Durch eine solche Bewegung tritt der sogenannte Dopplereffekt auf. Dieser beschreibt die Folgen, die diese Bewegung für die Wellen des Lichts mit sich zieht und wie der Betrachter diese Veränderung wahrnimmt. Es wird bei dem Dopplereffekt zwischen Licht und Schall, aufgrund des bei Licht nicht vorhandenen Übertragungsmediums unterschieden. Daher wird in diesem Fall nur der Dopplereffekt von Licht im Zusammenhang mit Doppelsternen erklärt.

Beide Sterne aus einem Doppelsternsystem senden Licht in einer bestimmten Wellenlänge aus. Bewegt sich nun einer der beiden Sterne aus dem System auf den Empfänger des Lichts (also die Teleskope der Menschen in unserem Sonnensystem) zu, werden die empfangenen Lichtwellen gestaucht. Diese Stauchung ist für den Betrachter als Blauverschiebung im Farbspektrum zu erkennen. Dagegen werden die Lichtwellen von dem Stern, der sich von der Erde wegbewegt, gestreckt, was bedeutet, dass das Licht in den roten Bereich verschoben wird.⁸

Auf einem fertigen Spektrum kann man nicht nur die Spektralfarbe des Lichts, sondern auch viele dunkle Linien, die Absorptionslinien erkennen. Diese entstehen dadurch, dass das Licht, welches in dem Inneren des Sternes durch Kernfusion entsteht, von Atomen in den äußeren Schichten des Sterns absorbiert, also „verschluckt“ wird. Beobachtet man nun die Spektren der beiden Einzelsterne, überlagern diese sich aufgrund der räumlichen Nähe der Sterne zueinander. Auch hier lassen sich wieder

6 Physik-Cosmos-Indirekt in „Spektroskopie“

7 Physik-Cosmos-Indirekt in „Doppelstern“

8 Pixberg, Kevin und Neußer, Fabian in „Der spektroskopische Doppelstern VV Cephei“

Absorptionslinien erkennen, die anderes als bei Einzelsternen nicht in regelmäßigen Abständen auftreten, sondern sich während eines Umlaufs der Sterne in rhythmischen Bewegungen hin- und herbewegen. Jedoch spalten sich diese Linien an bestimmten Zeitpunkten auf und „verschieben sich gegengleich zum blauen beziehungsweise zum roten Ende des Spektrums hin“.⁹ Diese Rot-Blauverschiebung lässt sich mit dem zuvor beschriebenen Dopplereffekt begründen und liefert den Beweis, dass es sich um einen Doppelstern handelt, der aufgrund seiner Erforschungsmethode „Spektroskopischer Doppelstern“ genannt wird.¹⁰

2.1.1.1 Photometrische (Bedeckungsveränderliche) Doppelsterne

Eine Unterkategorie von spektroskopischen Doppelsternen findet man in den sogenannten „Photometrischen- oder auch Bedeckungsveränderlichen Doppelsternen“. Diese Art von Doppelsternen verrät sich aufgrund einer periodischen Helligkeitsänderung des Systems, welche durch Verdeckung des einen Sterns durch den anderen hervorgerufen wird. Erklären lässt sich diese Änderung der Helligkeit durch die „geometrische Anordnung von Sichtlinie und Bahnebene der Komponenten“¹¹. Das bedeutet, dass die beiden Sterne an einem Punkt ihrer Umlaufbahn im gleichen Winkel zu dem Betrachter stehen, weshalb das Licht, welches von einem der beiden Sterne ausgesendet wird, für den Beobachter durch den anderen Stern des Systems verdeckt wird.

9 Schanne, Lothar in „Sterne und Weltraum 2010-7“ S.70

10 Schanne, Lothar in „Sterne und Weltraum 2010-7“ S.68-71

11 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg unter
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/bedeckungsveraeenderliche/1349>

2.1.2 Astrometrische Doppelsterne

Astrometrische Doppelsterne findet man vor, ohne dass man zuvor den, im Fall von Astrometrischen Doppelsternen relativ kleinen zweiten Stern (Begleitstern) des Systems beobachtet hat. Bei Betrachtung dieser Art von Doppelsternen relativ zu anderen Sternen, die bei diesen Messungen nur als Anhaltspunkte im Himmel dienen¹², kann man erkennen, dass es in der Form der Eigenbewegung eine Abweichung von der eines Einzelsterns gibt. Und zwar bildet die Bewegung des Sterns eine Schlangenlinie. Dieser sonst eher ungewöhnliche Verlauf der Eigenbewegung ist auf einen kleineren Begleitstern zurückzuführen, der einen gravitativen Einfluss auf den betrachteten Stern ausübt.

Ein solcher Größenunterschied der Einzelsterne aus einem Doppelsternsystem, der zur Folge hat, dass ein Stern mit dem Teleskop klar erkennbar ist und ein anderer nicht, entsteht, obwohl beide Sterne gemeinsam entstanden sind und nach ihrer Entstehung die gleiche chemische Zusammensetzung hatten.¹³ Die Masse der Sterne ist in dem Fall entscheidend für die vorhandenen Entwicklungsdisparitäten. Massereichere Sterne verbrauchen den Brennstoff in ihrem Kern viel schneller als masseärmere Sterne. Daher entgeht dem massereicheren Stern zuerst der Brennstoff, er kühlt ab und verliert folglich auch an Helligkeit.¹⁴ Mit der Analyse der Eigenbewegung von Sternen kann man also auch Doppelsternsysteme nachweisen, bei denen ein nicht zu beobachtender, teilweise auch in seiner Entwicklung fortgeschrittenerer Stern vorliegt.

¹² Physik-Cosmos-Indirekt in „Sternhintergrund“

¹³ Infos gesamter Absatz aus: Schröder, Klaus-Peter in „Sterne und Weltraum 2020-5“S.68f.

¹⁴ Smith, Oliver unter <https://www.storyboardthat.com/de/lesson-plans/lebenszyklus-eines-sterns>

2.2 Röntgen Doppelsterne

Eine Sonderstellung wird von sogenannten Röntgen Doppelsternen eingenommen. Sternensysteme dieser Art bestehen aus einem **Neutronenstern** [1] oder einem **Schwarzen Loch** [2] und mindestens einem anderen Stern. Sowohl der Neutronenstern als auch das schwarze Loch haben eine sehr hohe Dichte und erzeugen eine so starke Gravitation, dass sie das Gas des anderen Sterns des Systems anziehen. Dieses angezogene Gas wird um das Schwarze Loch beziehungsweise den Neutronenstern stark beschleunigt und durch Reibung innerhalb der Gaswolke auf eine Temperatur von 10 bis 100 Millionen Grad Celsius erhitzt. Durch diese starke Erwärmung und dem Auftreffen der Gasteilchen aufeinander¹⁵ wird Röntgenstrahlung mit sehr großem Energiegehalt ausgesendet. Dieser Vorgang setzt um das 15 bis 60 fache so viel Energie frei, wie die Kernfusion,¹⁶ die als einer der energiereichsten Vorgänge des Universums gilt.

2.3 Optische Doppelsterne

Anders als viele physische Doppelsterne kann man einen Optischen Doppelstern teilweise mit bloßem Auge oder mit einem günstigen Teleskop beobachten. Bei den meisten, einfach zu beobachtenden Doppelsternen, liegt jedoch kein gravitativer Zusammenhang zwischen den beiden Einzelsternen vor. Deshalb werden sie auch als „falsche Doppelsterne“ bezeichnet. Vielmehr liegen sie weit voneinander entfernt in einem ähnlichen Winkel zur Erde. Daher nehmen wir sie als gebundenes Sternenpaar wahr, obwohl dies nicht der Fall ist.¹⁷ Ein Beispiel für eine große Distanz zwischen zwei Optischen Doppelsternen sind die Sterne in der Mitte der Wagendeichsel des Sternbildes großer Wagen, bei denen ein scheinbarer Zusammenhang zwischen den beiden Sternen Mizar und Alkor

15 Natürliche Röntgenstrahlung - <https://www.chemie.de/lexikon/Röntgenstrahlung.html>

16 van den Heuvel, Edward P.J. und van Paradijs, Jan in „Spektrum der Wissenschaft 1-1994“ S.62

17 Schröder, Klaus-Peter; Sterne und Weltraum 5-2020 Seite 68

zu erkennen ist. Diese Sterne erscheinen dem menschlichen Auge als Doppelstern, obwohl die Distanz zwischen den beiden Einzelsternen mehr als 3 Lichtjahre beträgt. Diese Distanz ist mit dem Abstand unserer Sonne zu den uns benachbarten Sternen Proxima und α Centauri zu vergleichen.¹⁸ Jedoch ist es schwierig, beide Sterne klar voneinander zu trennen, weil der Helligkeitsunterschied von 2 mag und die geringe Helligkeit des Sternes Alkor bewirken, dass ein Stern von seinem Nachbarstern überstrahlt wird und damit schlecht wahrnehmbar ist.¹⁹

3. Planeten in Doppelsternsystemen

Auch in Doppelsternsystemen gibt es Planeten. Für deren Umlaufbahnen um die Sterne gibt es zwei verschiedene Modelle. Planeten, die gravitativ an den massereicheren der Einzelsterne gebunden sind und diesen auf seiner Umlaufbahn um das Baryzentrum des Sternsystems umkreisen, bezeichnet man als Planeten vom „S-Typ“. Die Umlaufbahn eines „S-Typ“ Planeten wird nicht von dem anderen Stern, den er nicht umkreist, beeinflusst.

Andererseits gibt es Planeten, die die beiden Sterne des Systems in großer Entfernung umkreisen. Diese Entfernung ist so groß, dass es scheint als würde der Planet einen Einzelstern umkreisen. Planeten mit derartigen Umlaufbahnen nennt man Planeten vom „P-Typ“. Planeten des „P-Typs“ nennt man auch „zirkumbinäre Planeten“.²⁰ Bei Planeten dieses Typs ist jedoch nicht klar inwiefern sie von der komplexen gravitativen Situation der Doppelsterne beeinflusst werden.²¹

18 Physik-Cosmos-Indirekt in „Doppelstern“

19 Schröder, Klaus-Peter; Sterne und Weltraum 5-2020 Seite 70

20 Physik-Cosmos-Indirekt in „Doppelstern“

21 Welsh, William F. und Doyle, Laurance R. in „Spektrum Highlights 2.17“ Seite 61

3.1 Bewohnbare Planeten in Doppelsternsystemen

Nach dem Start der NASA-Raumsonde Kepler im März 2009, wurden innerhalb kurzer Zeit, mit Hilfe der Transitmethode, bei der man vereinfacht gesagt, ähnlich wie bei der Entdeckung von photometrischen Doppelsternen, Planeten aufgrund der periodischen Verdeckung eines Teils des Lichts von Sternen ausmacht²², mehrere 1000 **Exoplaneten** [3] entdeckt, die sich in einem Doppelsternsystem befinden. Bei jedoch keinem der entdeckten Planeten handelt es sich um Zirkumbinärplaneten.²³

Ein wichtiger Aspekt, wenn es um die Bewohnbarkeit von Planeten geht, ist die Entfernung zu den Sternen des Systems. Jeder Stern hat abhängig von seiner Masse einen anderen Bereich, der für Leben geeignet ist. Das bedeutet, dass Planeten weder in so geringer Entfernung zu dem Stern stehen, dass das Wasser auf ihrer Oberfläche verdampft, noch zu weit entfernt vom Stern liegen, sodass Wasser auf der Oberfläche gefriert. Diesen Bereich um die Sterne, der diese beiden Ansprüche erfüllt, nennt man „habitable Zone“. Die habitable Zone hängt außerdem von der Entfernung des Sternensystems zum Zentrum der Galaxie ab. Im Zentrum wäre aufgrund der vielen verschiedenen, chaotisch ablaufenden Vorgänge ein Überleben gar unmöglich. Dazu kommt die von Sternen „am Ende ihres Daseins“²⁴ ausgesendete Gammastrahlung, die für sich entwickelnde Lebewesen wahrscheinlich das Ende bedeuten würde.

Da bei einem Doppelsternsystem beide Einzelsterne ihre eigene kugelschalenförmige habitable Zone besitzen, addieren sich diese bei geringem Abstand der Sterne „zu einer eiförmigen Schale um die beiden Sterne“.²⁵ Die bei Einzelsternen statische habitable Zone rotiert in Doppelsternsystemen zusätzlich mit dem Umlauf der Einzelsterne des Systems.²⁶

22 Wikipedia in „Transitmethode“

23 Welsh, William F. und Doyle, Laurance R. in „Spektrum Highlights 2.17“ Seite 60

24 Denise unter <https://astrokramkiste.de/habitable-zone>

25 Welsh, William F. und Doyle, Laurance R. in „Spektrum Highlights 2.17“ Seite 65

26 Ebd., S.65

Mit andauernder intensiver Forschung wurden 7 Transitplaneten in Doppelsternsystemen entdeckt. Daraus konnte man den Schluss ziehen, dass zirkumbinäre Planeten doch nicht die Seltenheit besitzen, von der bislang ausgegangen war. Das Problem jedoch ist, dass es sich bei allen bislang entdeckten Zirkumbinärplaneten um Gasplaneten handelt, weshalb keiner dieser Planeten momentan für uns Menschen bewohnbar wäre.²⁷

3.2 Risikoeinschätzung

Obwohl bislang kein zirkumbinärer Planet entdeckt wurde, auf dem Leben möglich ist, kann man bereits das Risiko abschätzen, das ein Leben auf solch einem Planeten birgt. Forscher können bei vielen Planeten in Doppelsternsystemen nicht genau sagen, ob diese nun stabil sind oder nicht. Der noch sehr unberechenbare Faktor liegt in der Gravitation des Sternensystems. Ein Planet wäre zwei verschiedenen Gravitationsfeldern ausgesetzt, die sich zudem ändern, weil die beiden Sterne des Systems umeinander kreisen. Eine Folge der ungewöhnlichen Gravitation kann es sein, dass der Planet aus seiner Umlaufbahn um den einen Stern herausgeschleudert wird und ohne weiteren Einfluss der Sterne „ins All entschwinde[t]“²⁸. Ein anderes Risiko für Planeten des „S-Typs“ besteht in dem jeweiligen Stern, an den keine gravitative Bindung besteht. Durch die Ellipsenbahnen der Sterne kommt es an manchen Stellen zu einer besonderen Näherung beider Sterne. Ein bewohnter Planet würde in diesem Fall durch die geringe Distanz zu den Sternen sehr stark erhitzt werden, wodurch sämtliches Leben auf dem Planeten zunichte gemacht werden würde. Abschließend bedeutet dies, dass das Leben auf einem Doppelstern durch sehr viele Faktoren beeinflusst wird, die zur Auslöschung von entstandenem Leben führen können. Es ist zwar möglich, dass Leben entsteht, doch wie lange es in einer so unsicheren Umgebung wie einem Doppelsternsystem andauern kann, bleibt aufgrund der geringen Informationsdichte zum Thema Planeten in Doppelsternsystemen fraglich.

²⁷ Welsh, William F. und Doyle, Laurance R. in „Spektrum Highlights 2.17“ Seite 65

²⁸ Ebd., S.60

4. Das Ende von Doppelsternsystemen – Die Kilonova

Die Kilonova ist die Explosion, die beim Kollidieren von zwei Neutronensternen entsteht. Diese Explosion setzt eine starke elektromagnetische Strahlung und einen knapp eintausend Mal größeren Betrag an Energie frei²⁹ als der „Materietransfer in einem Doppelsternsystem“,³⁰ auch Nova genannt. Aus diesem Faktor 1000 im Vergleich zu einer Nova entstand der Begriff Kilonova.³¹

4.1 Voraussetzungen für eine Kilonova

Eine Kilonova kann nur dann stattfinden, wenn sich, anders als bei Röntgen Doppelsternen (2.2), bei denen ein System aus einem Neutronenstern und einem anderen Stern besteht, zwei Neutronensterne in unmittelbarer Nähe zueinander befinden. Diese räumliche Nähe findet man fast ausschließlich in Doppelsternsystemen vor.

4.2 Ablauf einer Kilonova

Da beide Neutronensterne sehr hohe Gravitationskräfte besitzen, ziehen sich die Sterne gegenseitig immer stärker an. Es kommt zu einer immer schnelleren Umkreisung der Sterne, bis hin zu über 100 Umkreisungen pro Sekunde. Bei diesem Vorgang werden proportional zur Frequenz der Umdrehungen auch Gravitationswellen emittiert.³² Gravitationswellen sind „Welle[n] der Raumzeit, die durch eine beschleunigte Masse ausgelöst [werden]“.³³ Beim Zusammentreffen der Neutronensterne aufeinander wird der masseärmere der beiden Neutronensterne vollständig zerstört. Seine Masse akkretiert zum größten Teil auf den massereicheren noch vollständigen Neutronenstern.³⁴ Sie wird also umgangssprachlich von

29 Physik-Cosmos-Indirekt in „Kilonova“

30 Müller, Andreas unter <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/nova/314>

31 Fischer, Daniel unter <https://abenteuer-astronomie.de/neue-aura-der-astronomie-gravitationswellen-und-licht-vom-selben-ereignis-der-ersten-kilonova/>

32 Chou, Felicia; Washington, Dewayne; Porter, Molly unter <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-missions-catch-first-light-from-a-gravitational-wave-event>

33 Wikipedia in „Gravitationswelle“

34 Physik-Cosmos-Indirekt in „Kilonova“

diesem „aufgrund seiner Gravitation [...] auf[ge]sammelt“.³⁵ Der Teil der Masse des zerstörten Sterns, der nicht auf den anderen Stern übergegangen ist, wird mit ca. 0,2-facher Lichtgeschwindigkeit ins All geschleudert. Dieses Material ist sehr neutronenreich und zerfällt aufgrund von Kernspaltung und β -Zerfall innerhalb kürzester Zeit zu radioaktiven Elementen. Diese Elemente wiederum zerfallen weiter³⁶ und die, von ihnen ausgesendete Strahlung nehmen wir als das, für Kilonovae typische Nachleuchten, welches man „in Form von Röntgenstrahlen“ messen kann, wahr.³⁷ Diesen plötzlichen Ausbruch von Röntgenstrahlen bezeichnet man in der Astronomie als einen Gammablitz. Ein Gammablitz, der seine Ursache in einer Kilonova hat, wird aufgrund des zeitlichen Ablaufes einer Kilonova nur wenige Sekunden nach den, mit Hilfe von Gravitationswellendetektoren gemessenen, Gravitationswellen gemessen.

35 Physik-Cosmos-Indirekt in „Akkretion_(Astronomie)“

36 Wikipedia in „Kilonova“

37 futurezone unter <https://abenteuer-astronomie.de/neue-aera-der-astronomie-gravitationswellen-und-licht-vom-selben-ereignis-der-ersten-kilonova/>

4.3 Bedeutung für die Wissenschaft

Durch Kilonovae lassen sich einige bislang recht unerforschte Phänomene in der Wissenschaft, besonders der Physik, erklären. Da eine Kilonova die Quelle für Gravitationswellen ist, ermöglicht sie eine genauere Erforschung dieser. Gravitationswellen sind bis zu dem heutigen noch nicht vollständig erforscht. Bei genauerer Untersuchung und einhundertprozentiger Sicherheit ihrer Existenz könnten sie den endgültigen Beweis für die Relativitätstheorie von Albert Einstein liefern, in der Gravitationswellen vor ihrer wahrscheinlichen Entdeckung beschrieben wurden.³⁸ Des Weiteren ließe sich durch weitere Kilonovae ein nur zufällig gleichzeitiges Auftreten der Verschmelzung von Neutronensternen und Gammablitzern ausschließen.³⁹ Zusätzlich lassen sich durch Beobachtungen von Kilonovae Hinweise auf die maximale Masse eines Neutronensterns finden, die bisher noch kontrovers diskutiert wird. Letztlich bieten die Überreste einer Kilonova einen Ansatz zur Erklärung der Entstehung von „Elemente[n] mit Atommassen von über 130“⁴⁰, weil die Herkunft dieser Elemente bislang noch recht unbekannt ist. Generell dienen solche großen Ereignisse im Universum als Anhaltspunkt für die moderne Forschung und ermöglichen der Menschheit, auch vergangene Ereignisse zu begründen und aufgestellte Theorien zu belegen.

38 Lüdemann, Dagny; Grotelüsch, Frank; Rauner, Max in „Die Gravitationswellen sind nachgewiesen“

39 Eigene Spekulationen

40 Wikipedia in „Kilonova“

5. Fazit

Nach eingehender Betrachtung von Doppelsternsystemen fällt vor allem die Vielfältigkeit, die diese besitzen ins Auge. Sie bieten der Wissenschaft die verschiedensten Möglichkeiten, die Gesetze der Physik, zum Beispiel in den Themengebieten „Gammablitz“ und „Gravitationswellen“, über die wir noch keine 100 prozentigen Aussagen treffen können, genauer zu erforschen. Zudem ist klar geworden, dass ein zivilisiertes Leben auf Planeten in Doppelsternsystemen, wie auf dem Planeten „Tatooine“ aus Star Wars, wenn überhaupt, nur schwer und sehr riskant möglich wäre.

6. Glossar

[1] Neutronenstern

Ein Neutronenstern ist ein das Ergebnis einer Supernova, dem Untergang eines massereichen Sterns. Neutronensterne gehören zu den dichtesten Objekten des Universums, weil ein Großteil der Masse des Sterns auf einen Bruchteil seiner ursprünglichen Größe komprimiert ist.⁴¹

[2] Schwarzes Loch

Ein Schwarzes Loch ist das Ergebnis einer Supernova von einem ultramassereichen Stern. Ein Schwarzes Loch besitzt wie auch ein Neutronenstern eine sehr hohe Dichte und erzeugt daher auch eine starke Gravitation, die die von normalen Sternen um das vielfache übertrifft.⁴²

[3] Exoplanet

Als Exoplaneten bezeichnet man Planeten, außerhalb des Einflusses der Sonne in einem anderen Sternensystem.⁴³

41 Dinge Erklärt – Kurzgesagt auf Youtube: <https://youtu.be/bRu7i011Fxo>

42 Wikipedia in „Schwarzes Loch“

43 Wikipedia in „Exoplanet“

7. Literaturverzeichnis

7.1 Literaturquellen

- SCHANNE, LOTHAR „Doppelsternen auf der Spur“ in Sterne und Weltraum 2010-7 S.68-75 abrufbar unter https://www.spektrum.de/pdf/suw-2010-07-s068-pdf/1035302?file&_wis=1.
- SCHRÖDER, KLAUS-PETER „Doppelsterne: Parcours der Augenprüfer“ in Sterne und Weltraum 5/2020 S.68-73
- VAN DEN HEUVEL, EDWARD P. J./ VAN PARADIJS, JAN „Röntgen Doppelsterne“ in Spektrum der Wissenschaft, Januar 1/1994 S.62-70
- WELSH, WILLIAM F./ DOYLE, LAURANCE R. „Planeten mit zwei Sonnen“ in Spektrum der Wissenschaft Highlights 2.17 S.58-65

7.2 Digitalquellen

Alle aufgeführten Onlinequellen wurden am 05.03. besucht

- CHEMIE.DE „Röntgenstrahlung“ <https://www.chemie.de/lexikon/Röntgenstrahlung.html>
- CHOU, FELICIA/ WASHINGTON, DEWAYNE/ PORTER, MOLLY „NASA Missions Catch First Light from a Gravitational-Wave Event“ <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-missions-catch-first-light-from-a-gravitational-wave-event>
- DENISE „Habitable Zone“ <https://astrokramkiste.de/habitable-zone>
- Dinge Erklärt – Kurzgesagt auf Youtube: <https://youtu.be/bRu7i011Fxo>

- FISCHER, DANIEL „Neue Ära der Astronomie: Gravitationswellen und Licht vom selben Ereignis – der ersten „Kilonova“
<https://bit.ly/3ISDWS0>
- futurezone „Wenn Neutronensterne kollidieren: Spuren von Kilonova entdeckt“ <https://futurezone.at/science/neutronensterne-kollidieren-kilonova-schwarzes-loch-nasa-supernova/401927032>
- HEIDELBERG, AKADEMISCHER VERLAG
„Bedeckungsveränderliche“
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/bedeckungsveränderliche/1349>
- LEHWALD, MARIO „Physische Doppelsterne“
http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_doppelsterne_physische.htm
- LÜDEMANN, DAGNY/ GROTELÜSCHEN, FRANK/ RAUNER, MAX „Die Gravitationswellen sind nachgewiesen“
<https://bit.ly/3ILW1RX>
- MÜLLER, ANDREAS „Nova“
<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/nova/314>
- Physik-Cosmos-Indirekt „Akkretion (Astronomie)“
[https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_\(Astronomie\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_(Astronomie))
- Physik-Cosmos-Indirekt „Doppelstern“ <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Doppelstern>
- Physik-Cosmos-Indirekt „Kilonova“ <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kilonova>
- Physik-Cosmos-Indirekt „Spektroskopie“ <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Spektroskopie>

- Physik-Cosmos-Indirekt „Sternhintergrund“ <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Sternhintergrund>
- PIXBERG, KEVIN/ NEUßER, FABIAN „Der spektroskopische Doppelstern VV Cephei“ <https://bit.ly/35sbwQH>
- SMITH, OLIVER „Lebenszyklus eines Sterns“
<https://www.storyboardthat.com/de/lesson-plans/lebenszyklus-eines-sterns>
- Wikipedia „Doppelstern“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelstern>
- Wikipedia „Exoplanet“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet>
- Wikipedia „Gammablitz“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Gammablitz>
- Wikipedia „Gravitationswelle“
<https://de.wikipedia.org/wiki/Gravitationswelle>
- Wikipedia „Kilonova“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kilonova>
- Wikipedia „Schwarzes Loch“
https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch
- Wikipedia „Spektroskopischer Doppelstern“
https://de.wikipedia.org/wiki/Spektroskopischer_Doppelstern
- Wikipedia „Transitmethode“
<https://de.wikipedia.org/wiki/Transitmethode>

8. 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 05.03.2022

_____ Unterschrift des Schülers

9. Einverständniserklärung zu Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Bramsche, den 05.03.2022

_____ Unterschrift des Schülers