

Die Andromeda- Milchstraßen- Kollision



Phillip Kotte

2023/2024

Seminarfach Astronomie

Abgabe: Bramsche, 28.02.24

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
2	Dynamik der Kollision.....	2
2.1	Bewegung der Galaxien zueinander.....	2
2.2	Gravitationswechselwirkungen.....	3
2.3	Simulationen und Prognosen.....	4
3	Auswirkungen auf Stern und Planetensysteme.....	5
3.1	Entstehung neuer Strukturen.....	5
3.2	Mögliche Auswirkungen auf Planetensysteme.....	6
4	Außerirdisches Leben und habitable Planeten nach der Verschmelzung	7
4.1	Auswirkungen auf die Suche nach außerirdischem Leben.....	7
4.2	Veränderung der Bedingungen für Leben in der Milkomeda.....	8
5	Résumé und Ausblick.....	9
5.1	Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse zu Milkomeda.....	9
5.2	Bedeutung von Milkomeda für die Astronomie.....	9
5.3	Zukünftige Forschungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit Milkomeda....	10
6	Anhang.....	1
6.1	Literaturverzeichnis.....	1
6.2	Abbildungsverzeichnis.....	2
6.3	Erklärungen.....	3
6.3.1	Selbstständigkeit.....	3
6.3.2	Veröffentlichung.....	3

1 Einführung

In einer Zeit, in der die Menschheit außergewöhnliche Fortschritte in der Astronomie und Weltraumforschung erlebt, steht ein Ereignis bevor, das die Grenzen unserer Vorstellungskraft sprengt: die bevorstehende Kollision zwischen unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße, und der Andromeda-Galaxie. Doch wie wird dieses monumentale Ereignis genau ablaufen und welche Auswirkungen könnte es auf unsere Galaxie, unser Sonnensystem und die Bedingungen für das Leben haben, wie wir es kennen? Dieses faszinierende und beunruhigende Thema erfordert eine detaillierte Untersuchung und Analyse, um die Dynamiken eines solchen kosmischen Ereignisses zu verstehen und seine weitreichenden Konsequenzen zu erfassen.

Die Kollision der Milchstraße mit der Andromeda-Galaxie, die in etwa 4 Milliarden Jahren erwartet wird, bietet Einblicke in die Prozesse, die die Evolution von Galaxien bestimmen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die physikalischen Mechanismen zu verstehen, die solche galaktischen Interaktionen antreiben. Dabei sollten auch die Auswirkungen auf Planetensysteme berücksichtigt werden. Des Weiteren werfen bevorstehende Kollisionen Fragen bezüglich struktureller Veränderungen innerhalb der Galaxien und der möglichen Bildung neuer Sternensysteme auf.

Diese Arbeit gibt einen umfassenden Überblick über die aktuelle Forschung zur bevorstehenden Kollision zwischen der Andromeda-Galaxie und der Milchstraße. Dabei werden sowohl theoretische Modelle als auch simulationsbasierte Vorhersagen berücksichtigt, um ein ganzheitliches Bild der erwarteten Ereignisse und deren Implikationen zu zeichnen. Durch die Analyse von Daten aus der Beobachtung ähnlicher galaktischer Kollisionen in anderen Teilen des Universums wird versucht, Parallelen zu ziehen und mögliche Szenarien für die Zukunft unserer eigenen Galaxie zu skizzieren. Das Ziel ist es, das Verständnis für die Dynamik des Universums zu vertiefen und die langfristigen Perspektiven für die Entwicklung des kosmischen Umfelds der Erde zu beleuchten.

Meine Quellen- und Literaturverweise stelle ich immer direkt nach dem entsprechenden Abschnitt in Form einer Zahl in einer Klammer dar, welche im Literaturverzeichnis so wiederzufinden sind. Alle verwendeten Abbildungen sind ebenfalls im jeweiligen Verzeichnis zu finden. Was ich ebenfalls anmerken möchte, ist, dass die Einarbeitung in manche Quellen aufgrund ihrer englischen Herkunft sehr zeitintensiv war.

2 Dynamik der Kollision

2.1 Bewegung der Galaxien zueinander

Die Bewegung der Andromedagalaxie und der Milchstraße relativ zueinander ist ein faszinierendes Phänomen, das die Astronomen seit langem beschäftigt. Es wird erwartet, dass diese beiden größten Mitglieder der Lokalen Gruppe in etwa 3 bis 5 Milliarden Jahren in einer spektakulären Kollision zusammenstoßen werden. Dieses Ereignis wird nicht nur die beiden Galaxien selbst betreffen, sondern auch die supermassereichen Schwarzen Löcher (SMBHs) in ihren Zentren. Die Dynamik dieser Kollision ist komplex und hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem von den Anfangsgeschwindigkeiten der Galaxien und der Dichte des diffusen Mediums, in dem sie sich bewegen.

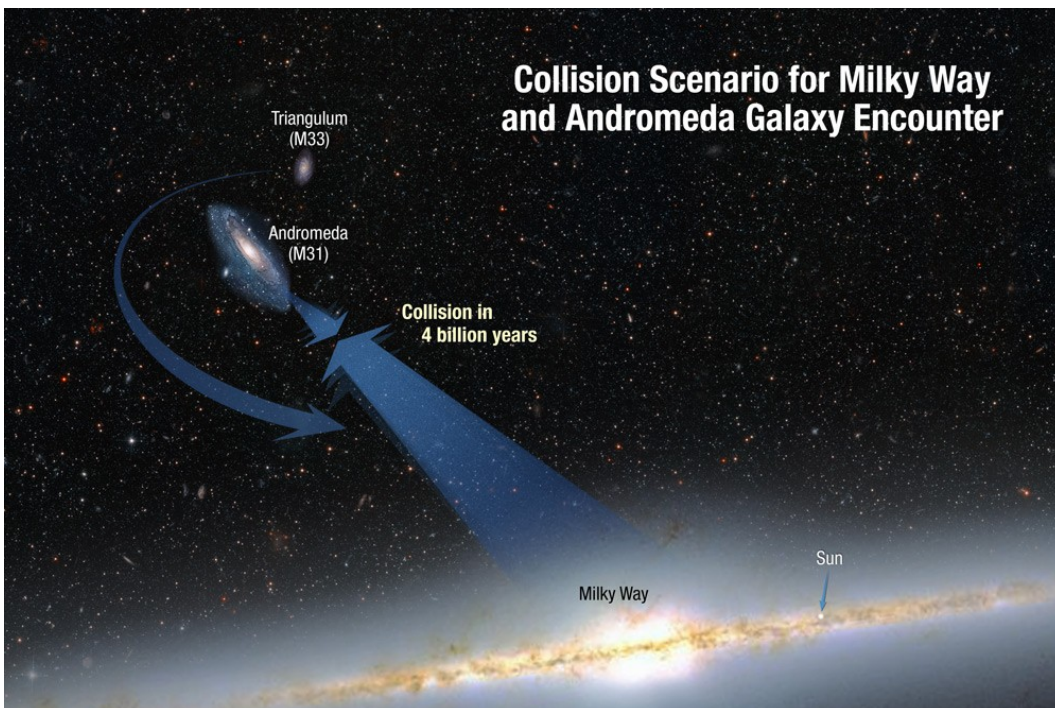


Abbildung 1: Kollisions-Szenario der Galaxien [11]

Die aktuelle Relativbewegung der Milchstraße und der Andromedagalaxie ist durch Beobachtungsdaten gut dokumentiert. Der Abstand zwischen den beiden Galaxien beträgt derzeit etwa 780 Kiloparsec (kpc)¹ und sie bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 120 km/s aufeinander zu, wie die

¹ Astronomisches Längenmaß (1kpc=3262 Lichtjahre)

Rotverschiebung zeigt. Diese Annäherungsgeschwindigkeit ist jedoch nur ein Teil der Bewegungsdynamik; weniger gut verstanden ist die Bewegung von Andromeda senkrecht zur Sichtlinie, die auf weniger als 200 km/s geschätzt wird [5]. Die drittgrößte Galaxie unserer lokalen Gruppe, Triangulum-M33, könnte ebenfalls bei der Kollision mitspielen [9]. Jedoch liegt dies nicht im Rahmen meines gesetzten Schwerpunktes; Andromeda-Milchstraßen-Kollision.

2.2 Gravitationswechselwirkungen

Die Wechselwirkungen zwischen Galaxien, insbesondere zwischen der Milchstraße und der Andromeda-Galaxie, bieten faszinierende Einblicke in die Prozesse, die die Struktur des Universums formen. Die Milchstraße und die Andromeda-Galaxie sind durch ihre Gravitationskräfte miteinander verbunden. Die genaue Richtung ihrer Relativgeschwindigkeit ist jedoch noch nicht vollständig verstanden. Beide Galaxien befinden sich auf einer Kollisionsbahn, die voraussichtlich in den nächsten 3-5 Milliarden Jahren zu einer ersten Annäherung führen wird [6]. Die Vorhersage hängt von den Anfangsbedingungen ab. Diese Wechselwirkung wird nicht nur zu einer physischen Kollision führen, sondern auch die Zukunft der beiden supermassiven Schwarzen Löcher in ihren Zentren beeinflussen [5].

Die Simulationen zeigen, dass die Milchstraße und Andromeda beginnen, bei ihrer aktuellen Entfernung von 780 kpc miteinander zu interagieren [5]. Es wird angenommen, dass unsere Sonne vor der endgültigen Fusion der beiden Galaxien enger an Andromeda als an die Milchstraße gebunden sein wird. Nach der Verschmelzung wird die Sonne höchstwahrscheinlich in den äußeren Halo gestreut und verweilt in viel größeren Radien (>30 kpc). Die Dichteprofile der Sterne, des Gases und der dunklen Materie im Fusionsprodukt ähneln denen elliptischer Galaxien. Dies macht unser Modell der Lokalen Gruppe zu einem Prototypen-Vorläufer später entstehender elliptischer Galaxien [1].

Die zukünftige Kollision zwischen der Milchstraße und Andromeda sowie das Schicksal ihrer supermassereichen Schwarzen Löcher ist ein wichtiges Forschungsfeld. Unsere Galaxie und die nahegelegene Andromeda-Galaxie bilden ein gebundenes System, obwohl der relative Bewegungsvektor von M31 unsicher ist. Die orbitalen Bewegungen hängen stark von den Anfangsbedingungen ab. Zuverlässige Szenarien implizieren jedoch alle eine erste nahe Begegnung in den nächsten 3-5 Milliarden Jahren. Die Untersuchung der Wechselwirkung mittels direkter N-Body-Integration² hat zum Ziel, die Abhängigkeit der

² N-Körper-Simulationen sind weit verbreitete Werkzeuge in der Astrophysik, von der Untersuchung der Dynamik von Systemen mit wenigen Körpern wie dem Erde-Mond-Sonne-

Verschmelzungszeit von den physikalischen und dynamischen Eigenschaften des Systems zu erforschen [6].

Es ist zu beachten, dass die Kollision zwischen der Milchstraße und Andromeda nicht nur ein isoliertes Ereignis ist, sondern Teil eines größeren kosmischen Zyklus. Studien haben ergeben, dass die beiden Galaxien voraussichtlich in den nächsten 3-5 Milliarden Jahren eine enge Annäherung erfahren werden. Dabei werden nicht nur die Galaxien selbst beeinflusst, sondern auch die beiden supermassereichen Schwarzen Löcher in ihren Zentren. Das Schicksal dieser Schwarzen Löcher wird bis zu ihrer engen Paarbildung und Fusion verfolgt. Dieses zukünftige Ereignis bietet einzigartige Einblicke in die Dynamik von Galaxienfusionen und die Rolle von supermassereichen Schwarzen Löchern in diesen Prozessen [5].

2.3 Simulationen und Prognosen

Die Vorhersage der Kollision zwischen der Milchstraße und der Andromeda-Galaxie basiert auf umfangreichen Simulationen und Beobachtungen. Diese beleuchten die zukünftige Dynamik dieser beiden Galaxien [5]. Die Milchstraße und Andromeda sind die beiden massivsten Mitglieder der Lokalen Gruppe und bilden ein gebundenes System, trotz der Unsicherheiten bezüglich der relativen Bewegung der beiden Galaxien. Simulationen deuten darauf hin, dass es in den nächsten 4 bis 5 Milliarden Jahren zu einer Annäherung zwischen diesen Galaxien kommen wird [6]. Die Interaktion und Kollision dieser Galaxien wird nicht nur ihre Strukturen verändern, sondern auch das Schicksal der in ihnen enthaltenen Sterne und sogar der supermassiven Schwarzen Löcher in ihren Zentren beeinflussen.

Die Durchführung von N-Körper-Simulationen hat es ermöglicht, das zukünftige Szenario der Milchstraße-Andromeda-Systeme zu modellieren und die Evolution ihrer beiden supermassiven Schwarzen Löcher bis zu ihrer engen Paarung und Fusion zu verfolgen [5]. Diese Simulationen zeigen, dass unsere Sonne im Zuge der Verschmelzung wahrscheinlich stärker an Andromeda gebunden sein wird als an die Milchstraße. Schließlich wird die Sonne in den äußeren Halo ausgestoßen und könnte in viel größeren Radien (>30 kpc) residieren. Das Ergebnis dieser Verschmelzung, oft als „Milkomeda“ bezeichnet, wird eine Galaxie sein, deren Dichteprofile von Sternen, Gas und Dunkler Materie jenen elliptischen Galaxien³ ähneln [1].

System

³= Galaxie ohne spezielles Aussehen anders als z.B. eine Spiralgalaxie

Eine wichtige Erkenntnis aus diesen Studien ist, dass die genauen Bahnen der Sterne und die Phase der Sonne im galaktischen Orbit zum Zeitpunkt der Annäherung an Andromeda aufgrund der Unsicherheiten in unseren Modellparametern nicht zuverlässig vorhergesagt werden können. Die Umlaufzeit der Sonne um die Milchstraße ist viel kürzer als der Zeitrahmen der Verschmelzung [1, p.9]. Die Komplexität und Herausforderungen bei der Vorhersage der genauen Dynamik während solcher galaktischen Kollisionen werden betont, aufgrund der Zeitspanne bis zu diesem Ereignis [9].

Die Simulationen deuten darauf hin, dass nach der Verschmelzung der beiden Galaxien und der Bildung von Milkomeda eine erweiterte heiße Gaswolke entsteht, die hauptsächlich aus dem großen Reservoir des intergalaktischen Mediums stammt und zu einer für elliptische Galaxien charakteristischen Röntgenhelligkeit an der Oberfläche führt [1, p13]. Dieser Prozess könnte wichtige Einblicke in die Evolution von Galaxien und die Bildung elliptischer Galaxien bieten.

Die Untersuchung der Kollision zwischen der Milchstraße und Andromeda und deren Auswirkungen ist von großer Bedeutung, da sie es uns ermöglicht, fundamentale Prozesse der Galaxienentwicklung und -dynamik zu verstehen. Obwohl die Vorhersagen auf den aktuellen Simulationen basieren und mit Unsicherheiten behaftet sind, bieten sie eine Perspektive auf die Zukunft unserer galaktischen Umgebung und die Transformation der Lokalen Gruppe.

3 Auswirkungen auf Stern und Planetensysteme

3.1 Entstehung neuer Strukturen

Forscher nehmen an, dass die Halos der Beiden Galaxien einander schon berühren würden. Beide Halos erstrecken sich ähnlich weit in die gegenseitige Richtung und interagieren so schon miteinander. Wäre der der Andromeda-Galaxie nicht so lichtlos, könnte dieser am ganzen Nachthimmel beobachtbar sein.



Abbildung 2: Andromeda-Halo (pink) am Nachthimmel [4]

Unter Kollision wird oft eine Kollision oder ein Aufeinanderprallen verstanden. Jedoch wäre hier der Begriff Verschmelzung angebrachter. Beim Aufeinandertreffen der beiden Galaxien, würden nur in extremen Ausnahmefällen Sterne kollidieren. Dies liegt an der großen Distanz der einzelnen Sterne zueinander, sogar in „sehr engen“ Regionen der Galaxie.

Ebenfalls könnte bei der Milkomeda möglicherweise Triangulum-M33 miteinbezogen werden. Bei dem Produkt der gemeinsamen Masse liegt es am nächsten, dass eine elliptische Galaxie; eine Galaxie mit gleichmäßiger Lichtverteilung, ohne auffällige Struktur entsteht [10].

Interessanterweise eröffnet die Kollision und die anschließende Verschmelzung Perspektiven auf erhöhte Kometenschauer. Diese könnten durch den verstärkten Fluss von Sternen ausgelöst werden, die am Sonnensystem vorbeiziehen und die Oortsche Wolke⁴ stören. Zusätzlich könnten beobachtbare Phänomene eine leicht erhöhte Sternentstehung in den beiden Galaxien und die Erzeugung heißer Gase durch die Schocks umfassen, die die Interaktionsregion umgeben.

3.2 Mögliche Auswirkungen auf Planetensysteme

Für ein sogenanntes galaktisches Jahr benötigt die Sonne ca. 220 Millionen Jahre, demnach lässt sich die zukünftige Position unseres Sonnensystems bei der Kollision simulieren. Es stellte sich heraus, dass die Sonne in ihrer neuen

⁴ Befindet sich am äußersten Rand des Sonnensystems, beinhaltet nicht nachgewiesene astronomische Objekte

elliptischen Galaxie weiter entfernt vom Zentrum der Galaxie ihren Platz findet und nicht ins Weltall geschleudert wird. Unsere Erde wird sich in Zukunft ebenfalls dank der Anziehungskraft der Sonne mit ihr mitbewegen [8, p27]. Jedoch wird sich die Sonne in ferner Zukunft zu einem Roten Riesen ausdehnen, der Erde sehr nahekommen und somit Merkur und Venus verschlingen, sowie die Erde zu einem Lavaplaneten verwandeln [3].

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Veränderung der Sterndichte in der neu entstehenden Galaxie Milkomeda. Frühere Untersuchungen zu Galaxienfusionen zeigen, dass die Verschmelzung zu einer spheroidalen Form führt. Die Sterne haben eine breite Palette von Umlaufbahnen und eine große Geschwindigkeitsdispersion, jedoch nur eine geringe Gesamttotation. Die Milkomeda-Überreste könnten einem elliptischen Galaxientyp ähneln. Dies hat bedeutende Implikationen für die zukünftige Entwicklung von Stern- und Planetensystemen [1, p11,12], aufgrund von fehlender interstellarer Materie in besagter Galaxie [9].

4 Außerirdisches Leben und habitable Planeten nach der Verschmelzung

4.1 Auswirkungen auf die Suche nach außerirdischem Leben

Die Möglichkeit eines zukünftigen Zusammenstoßes zwischen unserer Milchstraße und der Andromedagalaxie, der zur Entstehung der Galaxie Milkomeda führen könnte, wirft Fragen im Zusammenhang mit der Suche nach außerirdischem Leben auf. Während dieser Fusion werden zahlreiche Sterne und ihre potenziellen Planetensysteme in neue Bahnen gebracht, was die Verteilung von Lebensräumen im Kosmos tiefgreifend verändern könnte.

Die Milchstraße und die Andromedagalaxie sind die beiden größten Mitglieder der Lokalen Gruppe, die zusammen mit etwa 40 kleineren Begleitern unsere galaktische Nachbarschaft bilden [1, p.1]. Die Vorhersage, dass beide Galaxien kollidieren und schließlich zu Milkomeda verschmelzen werden, bietet eine Perspektive auf die Entwicklung von Galaxien und die damit verbundenen Möglichkeiten für die Entstehung und Erhaltung von Leben. Insbesondere die Veränderung der Position unserer Sonne während und nach der Fusion könnte

bedeutende Auswirkungen auf das Sonnensystem und die potenzielle Bewohnbarkeit seiner Planeten haben [1, p.1].

Die Verschmelzung wird voraussichtlich zu einer Umverteilung von Sternen und potenziellen Planetensystemen führen, wobei einige in den äußeren Halo der neuen Galaxie verstreut werden könnten [1, p.1]. Diese Neuordnung der stellaren Umgebung könnte die Chancen für die Entstehung und Aufrechterhaltung von Leben auf Planeten, die diesen Sternen umkreisen, beeinflussen. Es ist auch möglich, dass die verstärkten Gravitationswechselwirkungen und die daraus resultierende Erhöhung der Sternbildung während der Kollision neue Lebensräume schaffen könnten.

Ein weiterer Aspekt, der in Betracht gezogen werden muss, ist die zukünftige Isolation von Milkomeda. Durch die beschleunigte Expansion des Universums, verursacht durch eine konstante kosmologische Konstante, werden alle Galaxien, die nicht an die Lokale Gruppe gebunden sind, schließlich aus unserem Ereignishorizont verschwinden [1, p.13]. In dieser weit entfernten Zukunft könnte Milkomeda das gesamte sichtbare Universum darstellen. Diese Isolation könnte die Suche nach außerirdischem Leben erschweren, da die Beobachtung und Interaktion mit anderen Galaxien und potenziellen Lebensräumen zunehmend unmöglich werden.

Obwohl die potenziellen Auswirkungen auf die Suche nach außerirdischem Leben spekulativ sind, eröffnet die bevorstehende Fusion zwischen der Milchstraße und der Andromedagalaxie neue Forschungshorizonte und wirft wichtige Fragen über die langfristige Zukunft lebensfreundlicher Umgebungen im Universum auf.

4.2 Veränderung der Bedingungen für Leben in der Milkomeda

Ein besonders interessantes Phänomen in der Dynamik von Galaxien ist der Prozess der galaktischen Verschmelzung. Galaxien ziehen sich gegenseitig an und können verschmelzen, was zu einer Umverteilung der Sterne und einer Veränderung der galaktischen Struktur führt [2, p.3]. Diese Verschmelzung wird die Bedingungen für die Entwicklung von Leben in beiden Galaxien erheblich verändern, da neue Sternpopulationen entstehen und sich die Verteilung der chemischen Elemente ändert, welche essenziell für die Entwicklung von Leben sind [2, p.2].

Zudem haben Beobachtungen und Simulationen gezeigt, dass die Verteilung und Bewegung von Sternen in Galaxien nicht zufällig sind, sondern dass Sterne in planaren Strukturen angeordnet sein können, die die Dynamik der Galaxien beeinflussen [7, p.5]. Diese Strukturen könnten Auswirkungen auf die

Verteilung von Gas und Staub haben, aus denen neue Sterne entstehen, was wiederum die Entwicklungsbedingungen für Planetensysteme und potenzielles Leben beeinflusst.

5 Résumé und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse zu Milkomeda

Zunächst werde ich einmal die bedeutendsten Erkenntnisse der Milkomeda zusammenfassen. Der Begriff Kollision ist in Anbetracht der tatsächlichen Verschmelzung der beiden Galaxien ein eher unangebrachter Name. Die geschätzte Zeitspanne bis zur tatsächlichen Fusion wird auf 4-5 Milliarden Jahre geschätzt. Jedoch interagieren die Andromeda-Galaxie und die Milchstraße schon miteinander, indem die Halos der Galaxien ineinander ragen. Durch umfangreiche Simulationen und Prognosen haben Forscher das Produkt dieser Fusion bestimmen können; eine elliptische Galaxie, in der die Sonne unser Sonnensystem in vermutlich noch größerer Entfernung zum Galaxie Zentrum trägt, als es in der jetzigen Milchstraße der Fall ist. Außerdem ist die Sternendichte in der Milkomeda eine ganz andere, sowie die Existenz von ausreichend chemischen Bestandteilen nicht ausreichend ist für die Entwicklung von neuen Sternen. Was unsere Erde betrifft, ist ebenfalls schon „ziemlich“ klar. Die Sonne wird sich ca. im gleichen Zeitrahmen wie die Fusion vonstattengeht in einen Roten Riesen verwandeln und unsere Erde demnach vollständig verbrennen.

5.2 Bedeutung von Milkomeda für die Astronomie

Die Verschmelzung von Milchstraße und Andromedagalaxie, hat enorme Bedeutung für die Astronomie und die Erforschung des Universums. Sie bietet Wissenschaftlern eine einzigartige Möglichkeit, die Dynamik und Prozesse hinter der Galaxienfusion zu studieren und die Entstehung und Entwicklung von Galaxien genauer zu verstehen

Die Auswirkungen auf das zukünftige Erscheinungsbild des Nachthimmels werden ebenfalls beträchtlich sein. Beobachtbare kosmische Ereignisse umfassen neue Sternentstehungsraten, Supernova-Explosionen und die Entstehung von supermassiven Schwarzen Löchern.

Insgesamt bietet die Milkomeda-Vereinigung eine einzigartige Gelegenheit, unser Wissen über Galaxien, kosmische Prozesse und die Zukunft des Universums zu erweitern. Sie wird die Grundlage für bahnbrechende Entdeckungen und Erkenntnisse legen, die das Verständnis der Astronomie und der Erforschung des Universums revolutionieren können.

5.3 Zukünftige Forschungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit Milkomeda

Einer der Schlüsselbereiche ist die Simulation der Fusion selbst. Durch die Verwendung von Supercomputern und fortgeschrittenen Modellierungstechniken können Wissenschaftler versuchen, die genauen Auswirkungen der Verschmelzung auf die Struktur, Dynamik und Entwicklung der entstehenden Galaxie zu prognostizieren.

Des Weiteren bietet Milkomeda die Möglichkeit, die Rolle von Dunkler Materie und Dunkler Energie bei kosmischen Verschmelzungen zu erforschen. Da diese unsichtbaren Komponenten den Großteil der Materie und Energie im Universum ausmachen, ist es von entscheidender Bedeutung, ihre Auswirkungen auf die Entstehung und Entwicklung von Galaxien zu verstehen. Durch die Beobachtung von Milkomeda können Wissenschaftler wichtige Erkenntnisse über die Verteilung und Wechselwirkung von Dunkler Materie und Dunkler Energie gewinnen.

Zudem bietet Milkomeda die Möglichkeit, die Wechselwirkungen zwischen Schwarzen Löchern in den Zentren verschmelzender Galaxien zu erforschen. Die Verschmelzung von Schwarzen Löchern kann spektakuläre Phänomene hervorrufen, wie zum Beispiel die Emission von Gravitationswellen und energiereiche Ereignisse. Diese könnten wichtige Erkenntnisse über die Physik von Schwarzen Löchern liefern.

Insgesamt bietet die bevorstehende Verschmelzung von Milchstraße und Andromeda-Galaxie eine Vielzahl von Forschungsmöglichkeiten und die Chance, tiefgreifende Erkenntnisse über die Entwicklung und Dynamik von Galaxien sowie die fundamentalen Kräfte des Universums zu gewinnen. Durch die Kombination von theoretischen Modellen und Beobachtungen sowie fortschrittlicher Technologie können Wissenschaftler hoffentlich die Geheimnisse von Milkomeda entschlüsseln und unser Verständnis des Universums erweitern.

6 Anhang

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] *Abraham Loeb, T. J. Cox*, [The Collision Between The Milky Way And Andromeda](#) (stand: 27.02.24)
- [2] *Else Starkenburg*, [Milchstraßenarchäologie](#) (stand: 27.02.24)
- [3] *Fotolia*, [Was passiert, wenn die Sonne stirbt?](#) (stand: 27.02.24)
- [4] NASA, ESA, E. Wheatley, J. DePasquale, Z. Levay, [Die Kollision von Milchstraße und Andromedagalaxie hat eigentlich schon begonnen](#) (stand: 27.02.24)
- [5] *Ricardo Schiavi, et al*, [Future merger of the Milky Way with the Andromeda galaxy and the fate of their supermassive black holes](#) (stand: 27.02.24)
- [6] *Ricardo Schiavi, et al*, [The collision between the Milky Way and Andromeda and the fate of their Supermassive Black Holes](#) (stand: 27.02.24)
- [7] *Rodrigo A. Ibata, et al*, [A Vast Thin Plane of Co-rotating Dwarf Galaxies Orbiting the Andromeda Galaxy](#) (stand: 27.02.24)
- [8] *Sheila Hieber*, [Die Dynamik des Milchstraßen-Andromeda-Systems](#) (stand: 27.02.24)
- [9] unbekannt, [Andromeda-Milchstraßen-Kollision](#) (stand: 27.02.24)
- [10] unbekannt, [Die Kollision von Milchstraße und Andromedagalaxie hat eigentlich schon begonnen](#) (stand: 27.02.24)
- [11] unbekannt, [Collision Scenario for Milky Way and Andromeda Galaxy Encounter](#) (stand: 27.02.24)

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kollisions-Szenario der Galaxien [11].....	2
Abbildung 2: Andromeda-Halo (pink) am Nachthimmel [4].....	6

6.3 Erklärungen

6.3.1 Selbstständigkeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Bramsche, den 27. Februar 2024

Unterschrift des Schülers

6.3.2 Veröffentlichung

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

Bramsche, den 27. Februar 2024

Unterschrift des Schülers