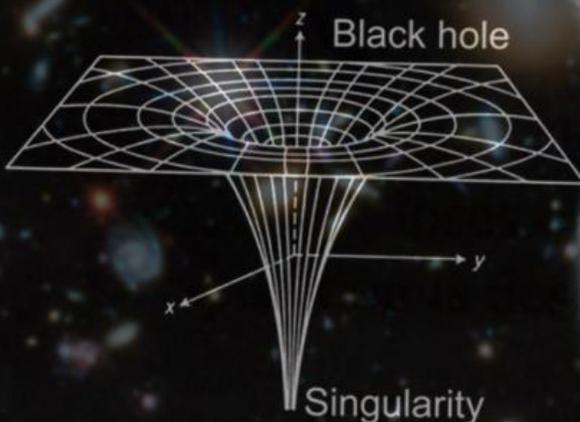


Stephen Hawking's Theorie "Hawking-Strahlung" vereinfacht erklärt

$$\Gamma = \frac{hc^3}{16\pi^2 kGM}$$

(a) $\frac{1}{2} \frac{dM}{dt}$



Lycée Ermesinde Mersch
Michelle Weyer 7C2
Tuteur: Huberty Laurent
TraPe2022-23

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
1.1 Methodologie.....	3
1.2 Was ist Astrophysik?	4
Was macht ein Astrophysiker? Wie erlernt man diesen Beruf?.....	4
1.2.1 Was ist eine wissenschaftliche Theorie?	5
1.3 Was ist ein Schwarzes Loch?	6
1.4 Relativitätstheorie.....	7
2. Hawking-Strahlung	9
2.1 Wie funktioniert die Hawking-Strahlung?.....	9
2.2 Aktuelle Entwicklungen.....	11
3. Stephen Hawking Biografie	12
3.1 Karriere.....	12
3.2 Familie	14
4. Kurzfassung.....	16
5. Konklusion	17
6. Quellenangaben	18

1. Einleitung

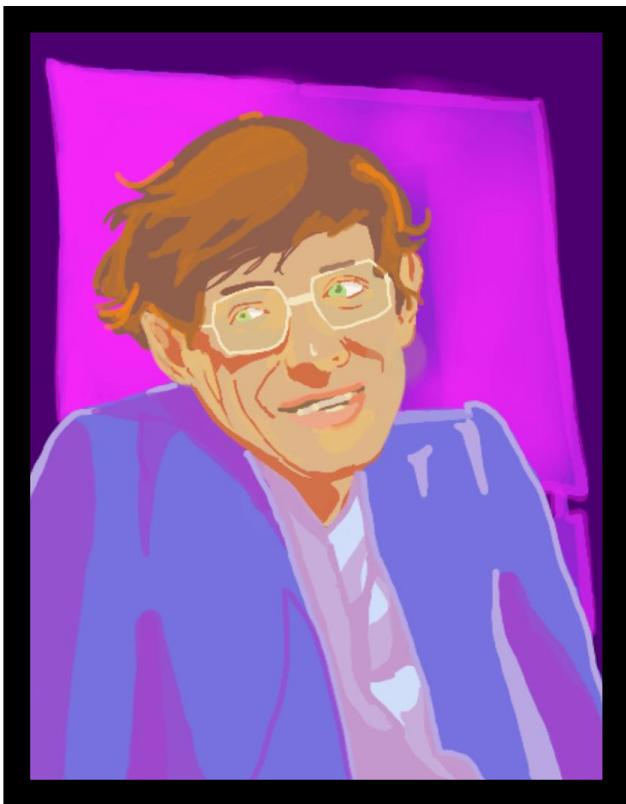
1.1 Methodologie

Dieses Schuljahr (2022-2023) habe ich mich dazu entschieden, mein Travail Personnel über eine wissenschaftliche Theorie von Stephen Hawking zu schreiben.

Ich habe mich dazu entschieden dieses Thema zu behandeln, weil es mich schon seit etwas längerer Zeit beschäftigt und interessiert hat. Mein Projet Personnel ist Astrophysikerin zu werden, wozu dieses Thema natürlich sehr gut passt.

Ich habe versucht die wissenschaftliche Theorie von Stephen Hawking, so zu erklären, dass man sie bestenfalls verstehen kann. Unter „verstehen“ ist hierbei gemeint, sich die Behauptungen und Resultate der Theorie vorstellen zu können, denn die Beweise oder die Konklusionen zu verstehen ist ohne Mathematik kaum möglich.

Hawking hat mit einer seiner Theorien, zu einer möglichen Erklärung der Entstehung des Universums beigetragen, weshalb er einer der bekanntesten Wissenschaftler unserer Zeit geworden ist und er mit seinen Veröffentlichung von seinen Büchern, in denen er verschiedenste Themen behandelt hat, hunderttausende von Menschen fasziniert hat.



1.2 Was ist Astrophysik?

Das Wort „Astrophysik“ ist aus àstron „Stern“ und aus Physis „Natur“ zusammengestellt.

Physik ist eine Naturwissenschaft, in der man verschiedene Erscheinungen, die in der Natur vorkommen analysiert und versucht Naturgesetze zu finden, die diese Vorgänge logisch erklären. In der **Astrophysik** beschäftigt man sich also somit hauptsächlich mit den physikalischen Grundlagen der Erforschung von Himmelserscheinungen.



Bild: NASA Rosette Nebula

Was macht ein Astrophysiker? Wie erlernt man diesen Beruf?

Um Astrophysikerin oder Astrophysiker zu werden, muss man ein Universitätsstudium abschließen. Der Studiengang Astrophysik wird angeboten, wenn man schon einen Master hat. Man braucht also ein Abitur, um ein Bachelor-Studium in den Fächern Mathematik und Physik zu absolvieren. Nach dem Bachelor-Studium, folgt dann der Master im Fach Astrophysik, man sollte meistens ziemlich gute Noten im Bachelor gehabt haben und außerdem sollte man English Kenntnisse auf dem Level C1 haben, weil der Unterricht oft manchmal sogar ausschließlich auf English gehalten wird (in Deutschland). Nach dem

Master-Abschluss kann man sich dann schon bei Jobs als Astrophysiker bewerben oder man kann auch noch an der Uni bleiben und promovieren.

1.21 Was ist eine wissenschaftliche Theorie?

Man kann zwischen drei größeren Kategorien unterscheiden.

Wenn ein unerwartetes Phänomen auftritt, und die Wissenschaftler ihr Verständnis auf die Naturgesetze basieren, kann man ziemlich schnell begründen, warum und wie dieses Phänomen aufgetreten ist. Diese **wissenschaftlichen Hypothesen** sind dann rational und informiert.

Um ein besseres Verständnis vom Universum zu bekommen, versuchen Naturwissenschaftler wie gerade erwähnt, ein Auftreten eines Phänomens zu beschreiben, zu untersuchen, zu messen und spezielle Informationen daraus zu erhalten. Diese Beobachtungen, die objektiv sind, werden in Laboratorien reproduziert und in meistens mathematische Sprache mithilfe von Formeln ausgedrückt, stellen ein **wissenschaftliches Gesetz** dar.

Bei der letzten Kategorie sind wir bei **wissenschaftlichen Theorien** angekommen. Wissenschaftler können das unerwartete Phänomen durch ihre genaue Untersuchung der Gesetze beschreiben. Sie legen fest, was genau durch die Gesetze beschrieben wird und sie versuchen eine allgemeine Erklärung für die unerwartete Erscheinung zu finden.

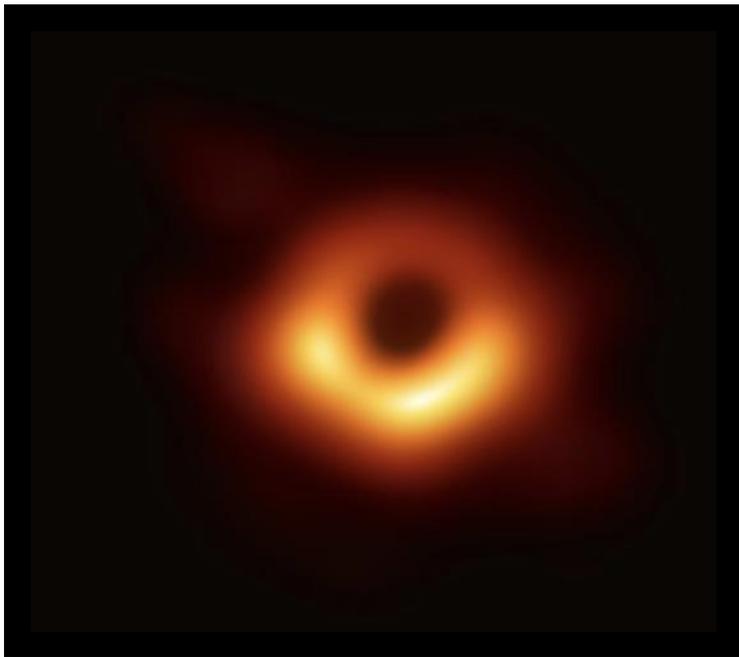


1.3 Was ist ein Schwarzes Loch?

Ein Schwarzes Loch ist ein Bereich im Universum, den wir nicht sehen können, weil dort weder Materie noch Licht entweichen kann, weil das schwarze Loch eine sehr große Masse hat. Durch diese Kompaktheit der Masse, entsteht eine sehr starke Gravitation. In der Nähe des schwarzen Loches, sind Raum und Zeit gekrümmt. Licht und Materie, die sich dort in der Nähe befindet, folgen dann der Krümmung. Licht, das dadurch gebogen wird, verläuft nicht in einer geraden Linie. In diesem Fall verläuft es dann im Kreis ins schwarze Loch und kann es dann nicht mehr verlassen.

Die Masse eines schwarzen Loches ist auf einen kleinen Raum konzentriert. Es befindet sich eine Grenze um das schwarze Loch, der „Ereignishorizont“. Der Ereignishorizont begrenzt alles, was wir nicht sehen können, weil ihn niemand überschreiten kann. Ein „Weg nach außen“ scheint somit nicht möglich, durch die extreme Krümmung der Raumzeit, die die Relativitätstheorie beschreibt.

Ein schwarzes Loch ist ein kompaktes Objekt. Weiße Zwerge, Neutronensterne und Schwarze Löcher, sind die drei Objekttypen, die ebenfalls Kompakte Objekte umfassen. Der Unterschied zwischen „normalen“ Sternen ist eben ihre Kompaktheit. Sie entstehen als Endprodukt der Sternentwicklung, da der Energievorrat in Sternen beschränkt ist. Etwa 97% aller Sterne der Milchstraße enden als eine der drei Objekttypen.



Event Horizon Telescope

Dieses Bild zeigt die erste Aufnahme eines echten Schwarzen Lochs. Es wurde 2017 von dem Event Horizon Telescope aufgenommen.

1.4 Relativitätstheorie

Die Relativitätstheorie von Albert Einstein, ist in zwei Teile aufgeteilt. Die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. Also kann man auch eigentlich sagen, dass es zwei Variationen der Relativitätstheorie gibt.

SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE

Die Spezielle Relativitätstheorie wurde 1905 von Albert Einstein veröffentlicht. Bei der speziellen Relativitätstheorie geht es hauptsächlich um die Veränderung von Längen und Zeit. Beispielsweise vergeht die Zeit etwas langsamer, wenn man sich mit sehr hohen Geschwindigkeiten bewegt, als wenn man sich gar nicht bewegt. Diese Vermutung wurde in einem Experiment bewiesen, man hat eine Uhr unbewegt auf dem Boden liegen lassen, währenddem die andere im Flugzeug einmal die Erde umrundete. Die Uhr, die im Flugzeug war, ging etwas nach, sie ging tatsächlich etwas langsamer.

Dieses Phänomen nennt man Zeitdilatation, die Verkürzung von Längen nennt man Längenkontraktion. Die Zeitdilatation wird auch durch die Gravitation verursacht. Die meisten Formeln, die es für die Aussagen der Relativitätstheorie gibt, sind sehr komplex und sehr schwer zu verstehen. Jedoch gibt es eine, welche recht einfach ist, und außerdem ist sie wahrscheinlich die bekannteste Formel der Physik, jedenfalls für die Mehrheit der Menschheit.

$$E = m \cdot c^2$$

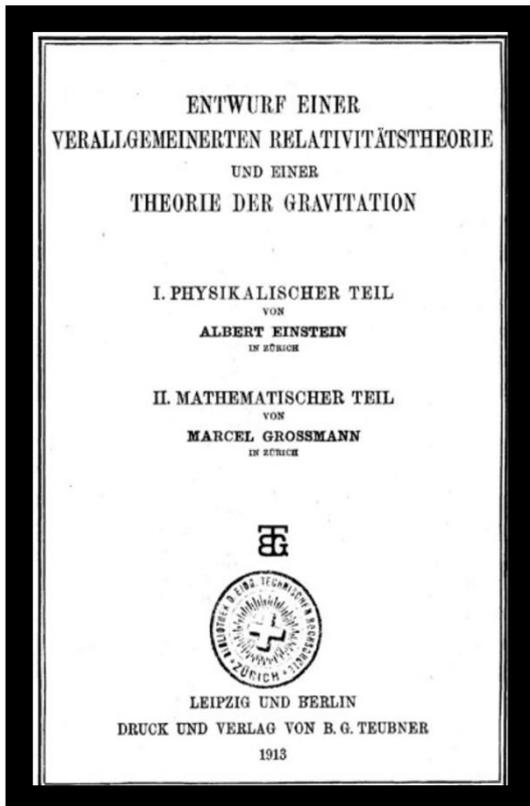
Das E steht für Energie, das m steht für Masse und das c steht für Lichtgeschwindigkeit. Die Formel sagt also aus, dass Energie sich in Masse umwandeln kann und Masse in Energie. Die Lichtgeschwindigkeit ist eine sehr große Zahl, weshalb sie noch logischerweise wesentlich größer wird, wenn man sie zum Quadrat nimmt. Das bedeutet also, dass selbst, wenn nur eine sehr geringe Masse zur Verfügung steht, trotzdem eine große Menge an Energie entstehen kann.

Im Alltag bemerken wir eigentlich gar nichts von beispielsweise der Zeitdilatation, weil diese Phänomene sich erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten bemerkbar machen, die kaum jemand von uns Menschen aktiv erlebt.

Jedoch rechnen beispielsweise Navigationssysteme die Auswirkungen der Relativitätstheorie immer ein, weil sie sonst nicht annähernd so präzise seien, wie sie momentan sind.

Auch Atomkraftwerke wenden diese Formel an, denn sie gewinnen die Energie für den elektrischen Strom aus der Umwandlung von Masse.

ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE



Bildquelle: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/allgemeine-relativitaetstheorie/383>

Die allgemeine Relativitätstheorie ist eine Theorie der Gravitation¹. Man stellt, sich nun anhand von dieser Theorie vor, dass Raum und Zeit etwa wie zB. ein Tuch sind. Jetzt liegt ein Körper wie beispielsweise der Planet Mars in dem gespannten Tuch. Der Körper beult das Tuch, wenn er sehr schwer ist. Dadurch formt sich dann etwa eine Mulde, in der der Körper liegen kann. Jeder andere Körper der sich dem Objekt nähert, rutsch auch in die Mulde.

Raum und Zeit werden also durch verschiedene Massen gekrümmt. Das nennt man auch Krümmung der Raumzeit. Dadurch kann man erklären, weshalb sich Massen gegenseitig anziehen. Das nennt man auch Massenanziehung der Gravitation.

Auf die allgemeine Relativitätstheorie bezogen, kann also gar nichts aus den schwarzen Löchern entkommen, und somit sind sie dann schwarz, weil kein Licht abgestrahlt werden kann. Wenn man aber die Quantentheorie mit einbezieht, dann ergibt sich jedoch, dass Schwarze Löcher trotzdem eine gewisse Menge von Strahlung abgeben, dieses Phänomen nennt man dann die Hawking-Strahlung.

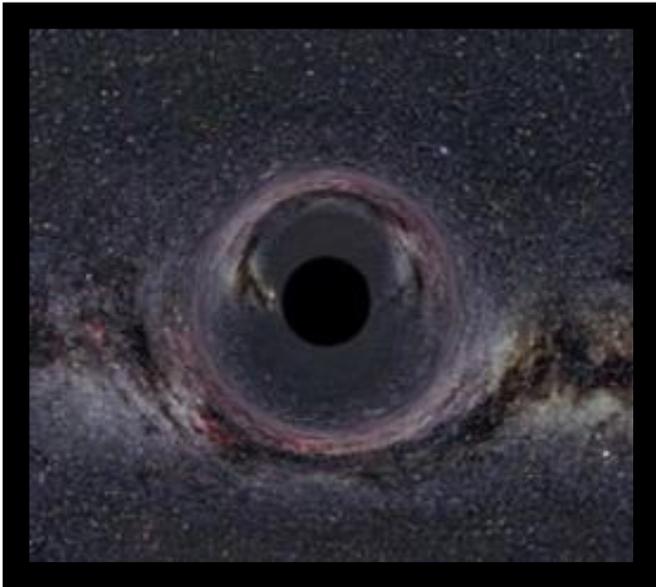
¹Die Gravitation oder auch Gravitationskraft, ist die gegenseitige Anziehung von Massen. Sie ist eine der vier Grundkräfte der Physik.

2. Hawking-Strahlung

2.1 Wie funktioniert die Hawking-Strahlung?

Um in die Details der Hawking-Strahlung zu gehen, braucht man Kenntnisse in der allgemeinen Relativitätstheorie und in der Quantenfeldtheorie², außerdem wird es auch sprachlich ziemlich kompliziert. Die folgende Erklärung ist sehr stark vereinfacht und es sind so wenige Fachbegriffe wie möglich vorhanden.

Die Hawking-Strahlung ist ein Quanteneffekt im Rahmen der Thermodynamik und der Quantenfeldtheorie. Es gibt nun zwei verschiedene Möglichkeiten, die Theorie zu interpretieren und anschließend einfach zu veranschaulichen. Die erste basiert eher auf dem quantenfeldtheoretischen Konzept eines Quantenvakuums an. Die zweite nutzt die Konzepte der Thermodynamik.



Bildquelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch

In der Quantentheorie³ ist der ganze Raum, auch das Vakuum, mit zahlreichen virtuellen Teilchen und deren Antiteilchen gefüllt. Sie haben aufgrund der übermäßig hohen Energie eine solche kurze Lebenszeit, dass sie nicht einmal zu messen sind, weshalb man sie eben auch virtuell nennt. Andauernd zerstrahlen die Teilchen mit ihrem dazugehörigen Antiteilchen in elektromagnetische Strahlung. Das Quantenvakuum ist also sehr komplex und von sehr vielen virtuellen Teilchen bevölkert. Während sich also solch ein Paar in der

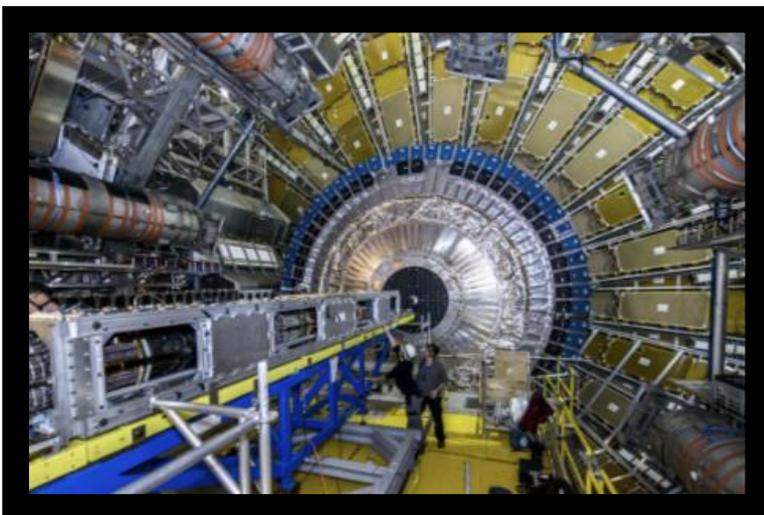
² Die Quantenfeldtheorie ist etwa die Verbindung zwischen der Speziellen Relativitätstheorie und der Quantentheorie. Um die beiden Theorien zusammenzufügen, sind viele Lösungen mit negativer Energie aufgetreten. Fünfzig Jahre später, sind alle Paradoxen aufgelöst worden.

³ Die Quantentheorie beschreibt das Verhalten von subatomaren Teilchen.

Nähe des Ereignishorizontes bildet, dann ist es theoretisch möglich, dass eines der beiden Teilchen in das Schwarze Loch fällt, währenddessen das andere ins Universum entweicht. Durch die extremen Gezeitenkräfte, die von Schwarzen Löchern erzeugt werden, können sich verschiedene Körper deformieren, sobald sie in der Nähe eines Schwarzen Loches sind. Die Trennung des Paares kann eben wegen solchen Gezeitenkräften ausgelöst werden. Es wird aus dem virtuellen Teilchen ein messbares Teilchen. Wenn die Energie für das virtuelle Teilchen aus dem Schwarzen Loch, so entsteht bei der Hawking-Strahlung die Möglichkeit, dass Energie aus dem Schwarzen Loch entnommen wird. Daraus kann man schließen, dass die Lebensdauer der Schwarzen Löcher begrenzt ist. Manche sagen, dass die schwarzen Löcher sogar dadurch verdampfen.

Stephen Hawking hat 1973 herausgefunden, dass man Schwarzen Löchern eine Temperatur zuordnen kann, die invers mit der Masse des Schwarzen Loches skaliert. Man nennt sie Hawking-Temperatur und sie ist also höher für kleinere und leichtere Schwarze Löcher als für größere und massereichere Schwarze Löcher. Wie vorher schon erwähnt, verdampfen schwarze Löcher durch die Auswirkungen der Hawking-Strahlung. Jedoch ist die Lebensdauer eines schwarzen Loches, das beispielsweise etwa die gleiche Masse wie eine Sonne hat, sehr hoch, es würde nämlich etwa 10^{66} Jahre dauern, bis dieses Schwarze Loch verdampfen würde. Die Temperatur eines supermassereichen Schwarzen Loches, würde also eine so sehr geringe Temperatur haben, dass eine Feststellung der Hawking-Strahlung nahezu unmöglich erscheint.

Es werden jedoch wahrscheinlich sehr kleine Schwarze Löcher (Schwarze Löcher die noch kleiner als massearme Schwarze Löcher sind) in der nahen Zukunft, von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in Teilchenbeschleunigern erzeugt. Diese deutlich masseärmeren Schwarze Löcher haben nur Lebensdauern bis zu den kleinsten Sekundenbruchteilen. Dies kann man jedoch trotzdem untersuchen und man könnte möglicherweise auch eine Antwort auf mehrere Fragen entdecken.



Bildquelle: <https://fis-landschaft.de/teilchen/lhc/>

2.2 Aktuelle Entwicklungen

Die Hawking-Strahlung konnte bisher noch nicht bewiesen werden, das liegt daran, dass die Hawking-Strahlung sehr gering und schwach sein muss und zudem auch noch von anderen Strahlungsquellen sozusagen überdeckt wird. Also ist es höchstwahrscheinlich nicht möglich, diese Strahlung bei kosmischen schwarzen Löchern nachzuweisen. Somit ist es wahrscheinlicher, dass man bei der Erzeugung eines künstlichen Schwarzen Loches im Labor, die Hawking-Strahlung messen und verifizieren kann.



Bildquelle: <https://www.snexplores.org/article/legendary-physicist-stephen-hawking-dies-76>

Es gibt weiterhin immer wieder Wissenschaftler, welche mit neuen Studien versuchen die Hawking-Strahlung zu widerlegen, jedoch gibt es bis jetzt zumindest noch keine die sie endgültig widerlegt. Vermutlich wird es erst klarer, wenn man eben ein künstlich erzeugtes schwarze Loch mit dem Teilchenbeschleuniger erzeugt und es genauer untersucht und weitere Messungen vollführt werden.



Bildquelle:

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Physicist Stephen Hawking in Zero Gravity NASA.jpg>

3. Stephen Hawking Biografie

3.1 Karriere

Stephen Hawking ist am 8. Januar 1942 in Oxford (England) zur Welt gekommen.

Sein Vater war ein Mediziner und seine Mutter eine studierende Wirtschaftswissenschaftlerin. Die ersten acht Jahre lebten sie in Oxford, bis sie in den eher nördlichen Londoner Stadtteilgezogen St. Albans auf. Er ging dort dann auf die St. Albans School, die zu dieser Zeit einen sehr guten Ruf hatte.



Bildquelle: <https://unb.com.bd/category/Science/stephen-hawkings-10-interesting-facts-about-the-great-scientist/107851>

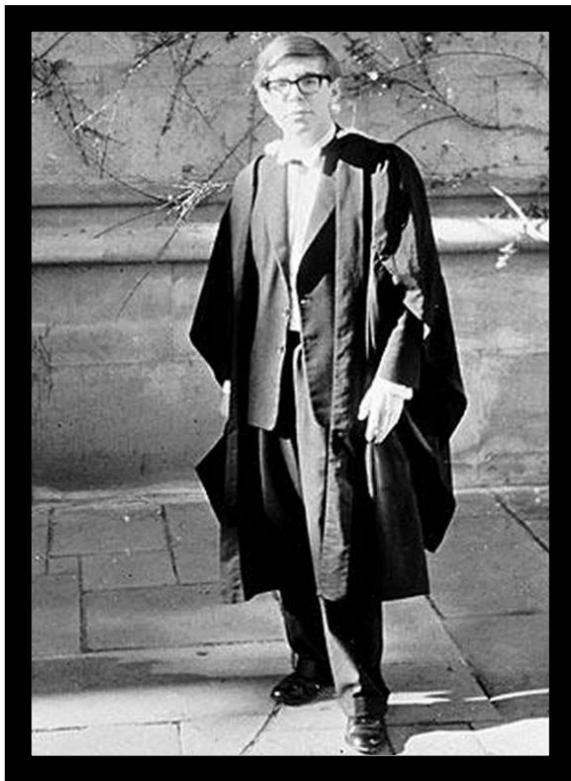
Stephens' Vater, wünschte sich, dass Stephen nach seinem Abitur Medizin studieren würde, jedoch entschloss er sich dennoch dazu, ein Studium der Physik und der Mathematik aufzunehmen. Er schloss dann im Jahr 1962 das Studium an der Universität Oxford, in der ihm ein Stipendium angeboten wurde, mit einem Bachelor – Grad ab.

Nach seinem Abschluss in Oxford, wechselte er an die Universität Cambridge, in der er am Trinity College sein Doktoratsstudium in Kosmologie und Astrophysik anfang. Schon am Anfang seines Studiums, erlitt er mehrere Zusammenbrüche und ging daraufhin zur Untersuchung ins Krankenhaus.

Die Ärzte diagnostizierten bei ihm eine Form der Amyotrophischen Lateralsklerose. Bei dieser unheilbaren Krankheit führt es nach meistens sehr kurzer Zeit im weiteren Verlauf dazu, dass eine vollständige Degeneration der Muskelmasse und der motorischen Fähigkeiten am ganzen Körper eintritt, und das führt in den meisten Fällen innerhalb von wenigen Jahren zum Tod.

Stephen Hawking war verständlicherweise ziemlich niedergeschlagen, wegen der erschreckenden Diagnose, jedoch gab er sein Studium nicht auf, daraufhin promovierte er im Jahre 1966 mit einer Arbeit über eine Dissertation über expandierende Universen. Aufgrund seiner Krankheit litt er teilweise unter starken Lähmungserscheinungen und konnte somit nur sehr schlecht schreiben, weshalb diese Arbeit von anderen Kollegen und akademischen Helfern übernommen wurde.

1968 war Stephen Hawking fast gezwungen seinen Rollstuhl permanent zu benutzen. Er blieb in Cambridge und arbeitete erst am Institut für Theoretische Astronomie, wo er sich sehr viel mit der Thematik der Quantenmechanik in Bezug auf schwarze Löcher beschäftigte, bevor er dann später 1973 ans Institut für Physik und Mathematik wechselte.



Bildquelle: <https://unb.com.bd/category/Science/stephen-hawkings-10-interesting-facts-about-the-great-scientist/107851>

Im Alter von gerade einmal 32 Jahren erhielt er als, bis zu diesem Zeitpunkt, jüngster Wissenschaftler, für seine ausgeprägte Ambition, die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik zu vereinheitlichen, die Mitgliedschaft in der Royal Society of Science. Im Jahre 1979, wurde Stephen Hawking dann von der Universität auf den Lucasischen Lehrstuhl der Mathematik berufen, das ist sozusagen einer der wichtigsten und größten Momente in seiner akademischen Karriere gewesen. Durch diese Rolle als Lucasian Professor, trat Stephen Hawking somit in die Fußstapfen der beispielsweise einer der weltbekanntesten und renommiertesten Wissenschaftler wie Isaac Newton oder Paul Dirac.

Er erhielt nun auch außerhalb der akademischen Welt Anerkennung, als er mit Roger Penrose die Singularitäten-Theoreme in der allgemeinen Relativitätstheorie beweisen konnte. In den frühen Siebzigerjahren fing er an die „Hawking-Strahlung“ weiterzuentwickeln, woraufhin er wie schon vorher erwähnt in die Geschichte einging.

Auch später mit seinen Publikationen wie beispielsweise „Eine kurze Geschichte der Zeit“ oder „Das Universum in der Nussschale“, wurde er ziemlich erfolgreich. Er wurde auch mit dem Albert-Einstein-Preis geehrt und von der britischen Königin zum Commander of the British Empire ernannt.

Die Ärzte sagten ihm, gerade als er mit der Amyotrophischen Lateralsklerose diagnostiziert wurde, er hatte wahrscheinlich noch 2 Jahre zu Leben. Jedoch hat er offensichtlich viel länger gelebt, jedoch war es dann ein paar Jahrzehnte später so weit. Am 14. März 2018 ist Stephen Hawking in Cambridge gestorben.

3.2 Familie

Jane Wilde war zur gleichen Zeit wie Stephen Hawking, Romanistik-Studentin an der Universität Cambridge, weshalb sie sich dann kennengelernt haben und sie im Jahre 1965 heirateten. Es gingen aus dieser Ehe drei Kinder hervor, Robert, Timmy und Lucy Hawking hervor.

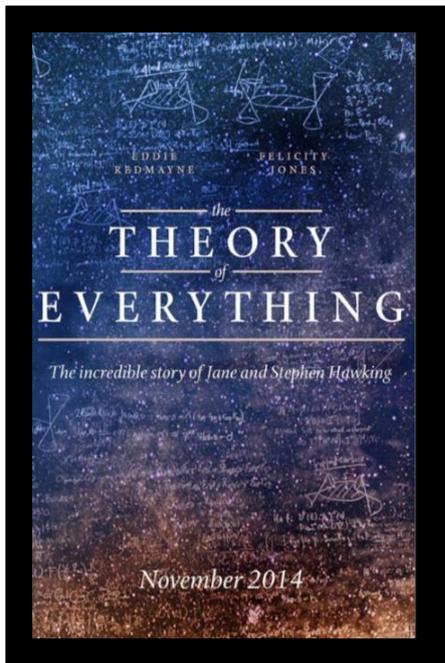


Bildquelle: <https://star-name-registry.com/blog/item/stephen-hawking-a-mini-biography>

1990 ließen sich Stephen Hawking und Jane Wild scheiden. Stephen Hawking hatte inzwischen eine Affäre mit seiner persönlichen Krankenschwester (Elaine Mason) begonnen. Elaine und Stephen heirateten anschließend 5 Jahre später, im Jahr 1995. Jane schrieb ein ganzes Buch über die Erfahrungen, die sie mit Stephen teilte. „Travelling to Infinity – My Life with Stephen“ wurde später verfilmt und sehr erfolgreich. Der Film der schlussendlich „The

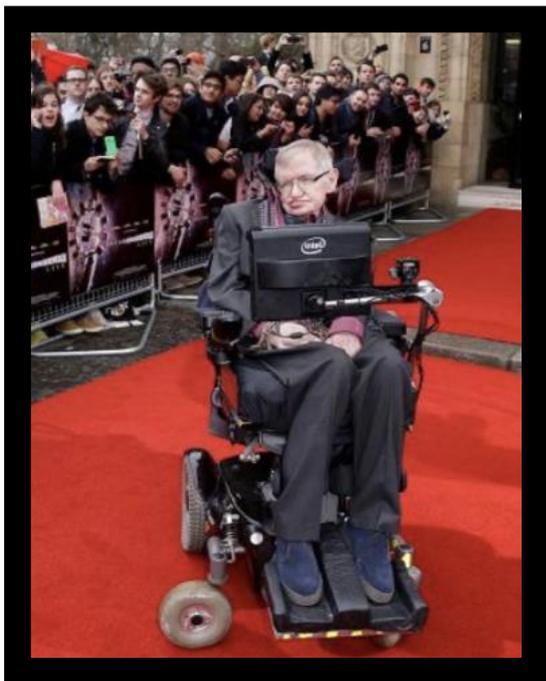
Theory of Everything“ (und 2014 erschien) genannt wurde, wurde mit einem Oscar und mehreren Golden Globes ausgezeichnet.

Bildquelle: <https://www.laurakuiper.nl/review-the-theory-of-everything/>



Sein einzigartiges und charakteristisches Erscheinungsbild und seine wissenschaftlichen Errungenschaften, machen Stephen Hawking zu einer der außergewöhnlichsten und wichtigsten Persönlichkeiten des 20. Und 21. Jahrhunderts.

Bildquelle: <https://wyborcza.pl/7,75400,29306593,stephen-hawking-chyba-wiem-dlaczego-on-trzymal-te-wszystkie.html?disableRedirects=true>



4. Kurzfassung

Klassische Schwarze Löcher, basierend auf der Allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein sind am Ereignishorizont absolut schwarz. Stephen Hawking hat dann also eine Rechnung aufgestellt, in der er Quanteneffekte in der Umgebung der Schwarzen Löcher einbezogen und ist somit zum Schluss gekommen, dass am Ereignishorizonts eines schwarzen Loches dann Teilchen entstehen, die auch teilweise nicht hinter den Ereignishorizont fallen und somit dem schwarzen Loch „entkommen“ können.

Diese Theorie ist wie der Name schon sagt rein theoretisch und ist bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht experimentell bestätigt worden.

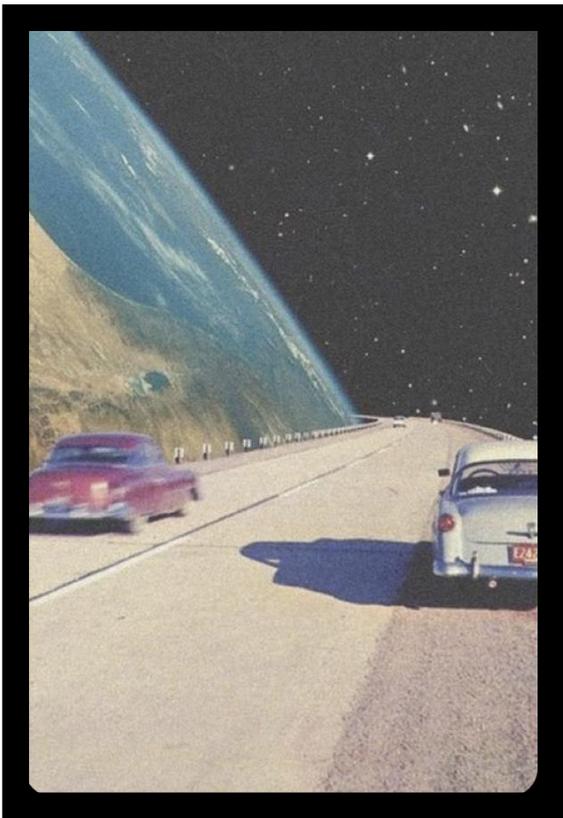


Bildquelle: <https://star-name-registry.com/blog/item/stephen-hawking-a-mini-biography>

5. Konklusion

Es hat mir sehr viel Spaß gemacht, über dieses spannende Thema, was einerseits ziemlich kompliziert und komplex ist, aber andererseits trotzdem sehr interessant und lehrreich, zu recherchieren und mich damit zu beschäftigen. Ich habe mich sehr viel in dieses Thema hineingelesen und viel dazu gelernt. Ich fand es jedoch trotzdem sehr anstrengend und schwer, passende Worte bei einem solchen sachlichem Text zu finden ohne das Thema irgendwie falsch, wegen eben der Wortwahl, zu erklären. Diese Arbeit hat auch dazu gebracht, dass ich mich wirklich intensiv damit beschäftigt habe und auch den Beruf als Astrophysiker ein wenig genauer kennenzulernen. Ich hoffe sehr, dass ich mein Ziel erreicht habe, also dass bestenfalls jeder der diese Arbeit liest ein richtiges Bild vom Thema hat und es einigermaßen verstanden hat.

Ich möchte auch meinem Tutor und meiner Familie danken, dass sie mir angetraut haben, dass ich das Thema, was ich mir selbst ausgewählt habe, durchsetze und mich dabei unterstützt haben.



Bildquelle: Pinterest, Creator unbekannt

6. Quellenangaben

Bibliographie:

L'univers dans une coquille de noix, Stephen Hawking (Übersetzung aus dem englischen: Christian Cler), 2001

Brèves réponses aux grandes questions, Stephen Hawking (Übersetzung aus dem englischen: Tania de Loewe), 2018

À l'image des géants, Stephen Hawking, 2005

Black holes and baby universes : and other essays, Stephen Hawking, 1993

The illustrated A brief history of time, Stephen Hawking, 2016

Einführung in die Relativitätstheorie, D'inverno Ray, 2009

Stephen Hawking *Genie des Universums*, Charles Seife (Übersetzung aus dem englischen von Judith Elze und Enrico Heinemann), 2021

Internetseiten:

- <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/hawking-strahlung/169>
- http://www.scholarpedia.org/article/Hawking_radiation#:~:text=Hawking%20radiation%20is%20the%20thermal,inside%20the%20black%20hole%20horizon.
- <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/allgemeine-relativitaetstheorie/383>
- <https://www.biologie-schule.de/stephen-hawking.php>
- https://de.wikipedia.org/wiki/Stephen_Hawking
- <https://whoswho.de/bio/stephen-hawking.html>
- https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch
- <https://www.mpifr-bonn.mpg.de/607301/black-holes>
- <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/schwarzes-loch>
- <https://www.quarks.de/weltall/schwarze-loecher-das-wissen-wir/>
- <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/schwarze-locher-3871>
- <https://de2.wvpt4learning.org/teoria-cientifica-139>
- https://sonnen-sturm.info/lexikon/astrophysik#1_Was_ist_Astrophysik
- <https://www.mpg.de/forschung/meilensteine-der-relativitaetstheorie>

- <https://www.mystipendium.de/berufe/astrophysiker>
- <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/allgemeine-relativitaetstheorie/383>
- <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/spezielle-relativitaetstheorie/444>
- <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/relativitaetstheorie-einfach-erklart-4020>
- <https://www.einstein-online.info/category/einstein-fuer-einsteiger/allgemeine-relativitaetstheorie-einstein-fuer-einsteiger/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Gravitation>
- <https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/quanteneffekte/quantenfeldtheorie/#:~:text=Die%20Quantenfeldtheorie%20stellt%20eine%20Synthese,das%20Verhalten%20von%20subatomaren%20Teilchen.>



$$\Gamma = \frac{hc^3}{16\pi^2} \frac{1}{\Omega_{\text{photon}}}$$

Lycée Ermesinde Mersch
Michelle Weyer 7C2
Tuteur: Huberty Laurent
TraPe2022-23

