

Von Schwarzen Löchern, Dunkler Materie und einem Hauch von Siebenbürgen

Vortrag beim Arbeitskreis für Siebenbürgische Landeskunde e.V.,
Sektion Naturwissenschaften, Frühjahrstagung 2024

Dr. Viktor Lamm



Im ersten Teil des Vortrags behandeln wir das „Schwarze Loch“. Wir gehen aus von einer Abbildung des geozentrischen Weltbilds, einem Kupferstich, der sehr schön den suchenden Menschen zeigt, wie er über die bekannte Welt hinausblicken versucht, und verweisen mit Nikolaus Kopernikus (1473-1543), Tycho Brahe (1546-1601), Galileo Galilei (1564-1642) und Johannes Kepler (1571-1630) auf herausragende Personen, welche maßgeblich die Entwicklung zu unserem Verständnis der Welt als Heliozentrisches System vorangetrieben haben. Dadurch hat sich die erkennbare Welt von einer fixen Himmelssphäre um die Erde enorm vergrößert zu einem Planetensystem, welches damals bis zum Saturn reichte.

Bald war auch klar, dass es sich bei den Sternen am Sternenhimmel um sehr weit entfernte Sonnen außerhalb des Planetensystems handeln muss. Und zwischen den Sternen befanden sich mit den damaligen Mitteln optisch nicht weiter auflösbare Nebelflecken, die der Astronom Charles Messier (1730-1817) zum Messier-Katalog zusammenfasste. Einer dieser Flecken mit der Zählnummer M31 ist der Andromedanebel – man beachte

die auch heute noch gebräuchliche Bezeichnung „Nebel“. Mit der Verbesserung der Teleskope wurde klar, dass es sich bei diesen „Nebeln“ um gewaltige Sternenansammlungen handelt.

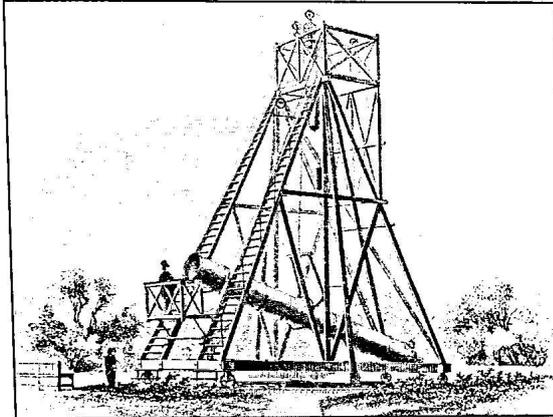


Abbildung 6-10: Der 36"-Reflektor in Birr Castle (Birr Castle Arc)

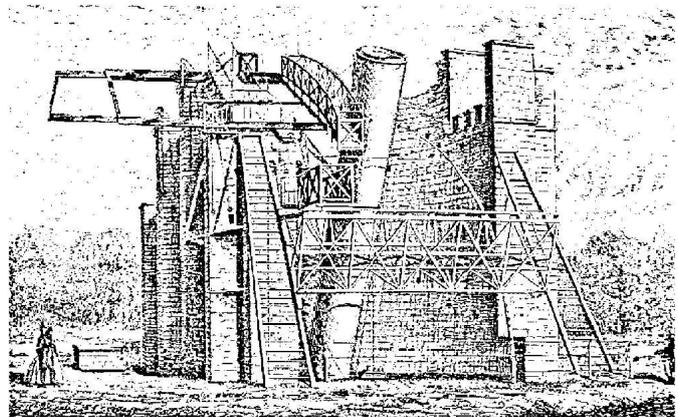


Abbildung 6-13: Lord Rosses 72"-Reflektor in Birr Castle (RAS)

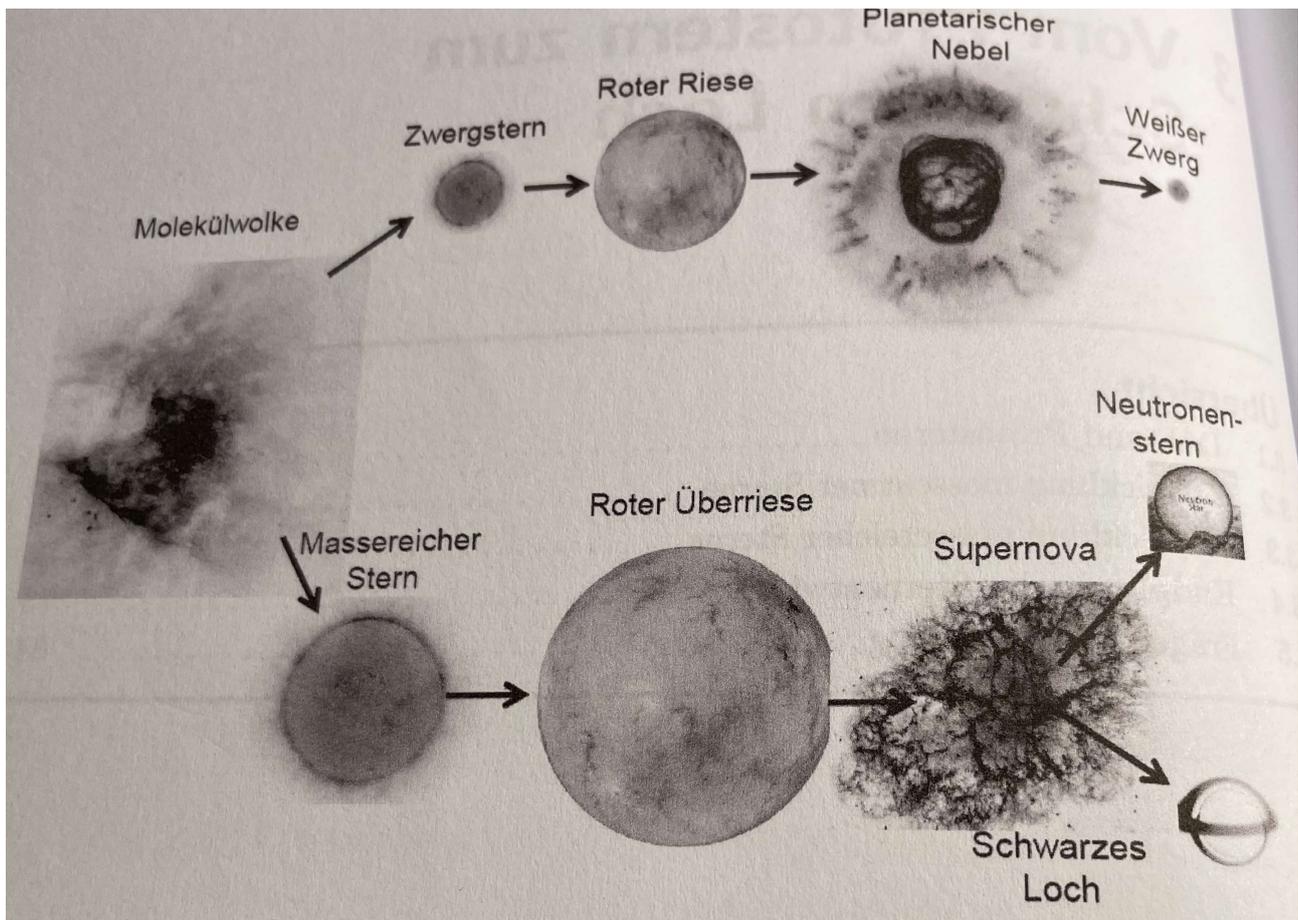
Diese Abbildung, entnommen dem Buch „Nebel und Sternhaufen, Geschichte ihrer Entdeckung, Beobachtung und Katalogisierung“ von Wolfgang Steinicke, zeigt den Astronomen in Aktion auf den Leitern und Laufstegen der frühen Beobachtungsstationen.

Diese Großfernrohre waren Spiegelteleskope mit einem Metallspiegel am unteren Ende und wurden von der oberen Öffnung her genutzt. Mit derartigen Apparaten wurden in der Zeit von 1820 bis 1890 tausende Galaxien aufgefunden. Die weitere Entwicklung führt bis heute zu der Deep-Field Aufnahme des Hubble-Teleskops, welches zeigt, dass es Billionen von Galaxien im Universum geben muss.

Zuerst in den 1960er Jahren wurden weit in den Tiefen des Alls extrem helle Objekte beobachtet. Weil diese aber nicht in das Schema von Sternen passten, weil ein Stern mit einer derartigen Strahlungsdichte aufgrund seiner extremen Temperatur sofort explodieren würde und weil deren Spektrum völlig anders als das von Sternen ist, nannte man sie „Quasistellar Radio Sources“ = Quasare. Die Physik dahinter war vollkommen unverstanden. Später fand man, dass sie – soweit bekannt ohne Ausnahme - immer im Zentrum einer Galaxie zu finden sind. Später taucht hier erstmalig der Begriff vom „Schwarzen Loch“ auf.

Wie entsteht ein Schwarzes Loch:

Werfen wir einen kurzen Blick auf die Sternentwicklung in einer Graphik aus dem Buch „Gravitation und Physik kompakter Objekte“ von M. Camenzind. Man sieht: alle Sterne beenden ihren Lebenslauf in einer spektakulären Explosion. Und davon enden die besonders massereichen Sterne in einem Schwarzen Loch (in der Graphik rechts unten).



Es gibt also vermutlich viele Schwarze Löcher in den Galaxien als Überreste ehemals großer Sterne, die weiterhin an der Position ihres Vorgängersterns verharren, die aber aufgrund ihrer Eigenschaft als isoliert stehende Objekte völlig unsichtbar sind.

Wie passt dies zusammen: Sternenreste als, wie der Name schon sagt, Schwarzes Loch ohne jede sichtbare Strahlung und äußerst helle Objekte in Form der Quasare ?

Zur Erklärung, um was es sich physikalisch bei diesen Quasaren bzw. Schwarzen Löchern handelt, beginnen wir bei Albert Einstein. Dieser

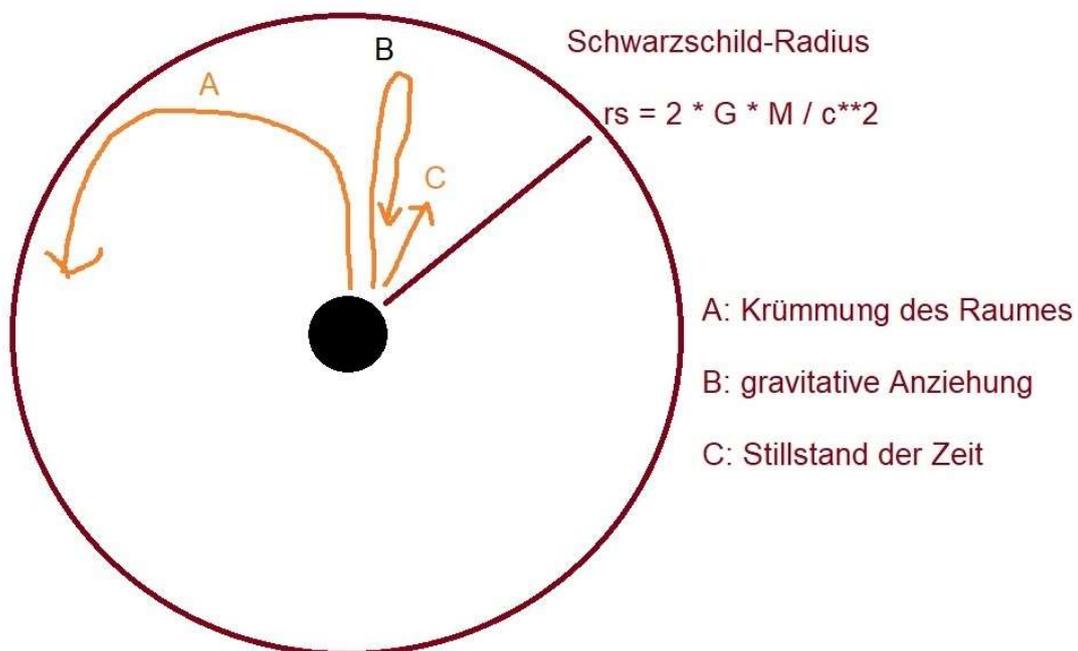
veröffentlichte 1916 seine Allgemeine Relativitätstheorie, wobei eine der Lösungen ihrer Gleichungen, gefunden im Jahr 1916 durch Karl Schwarzschild, zu einem Objekt führt, welches aufgrund seiner Masse kein Licht mehr entweichen lässt. Nach dieser Gleichung benennt man heute den Zusammenhang zwischen der beteiligten Masse und der Ausdehnung des Objekts als Schwarzschildradius.

Die Vorgänge im Inneren des Schwarzschild-Radius, aus dem nichts mehr entkommen kann, also auch das Licht nicht, lassen sich auf drei verschiedene Arten erklären, die physikalisch vermutlich das Gleiche abbilden:

A: als Krümmung des Raumes: das Licht denkt, es flöge geradeaus, fliegt aber nur im Kreis

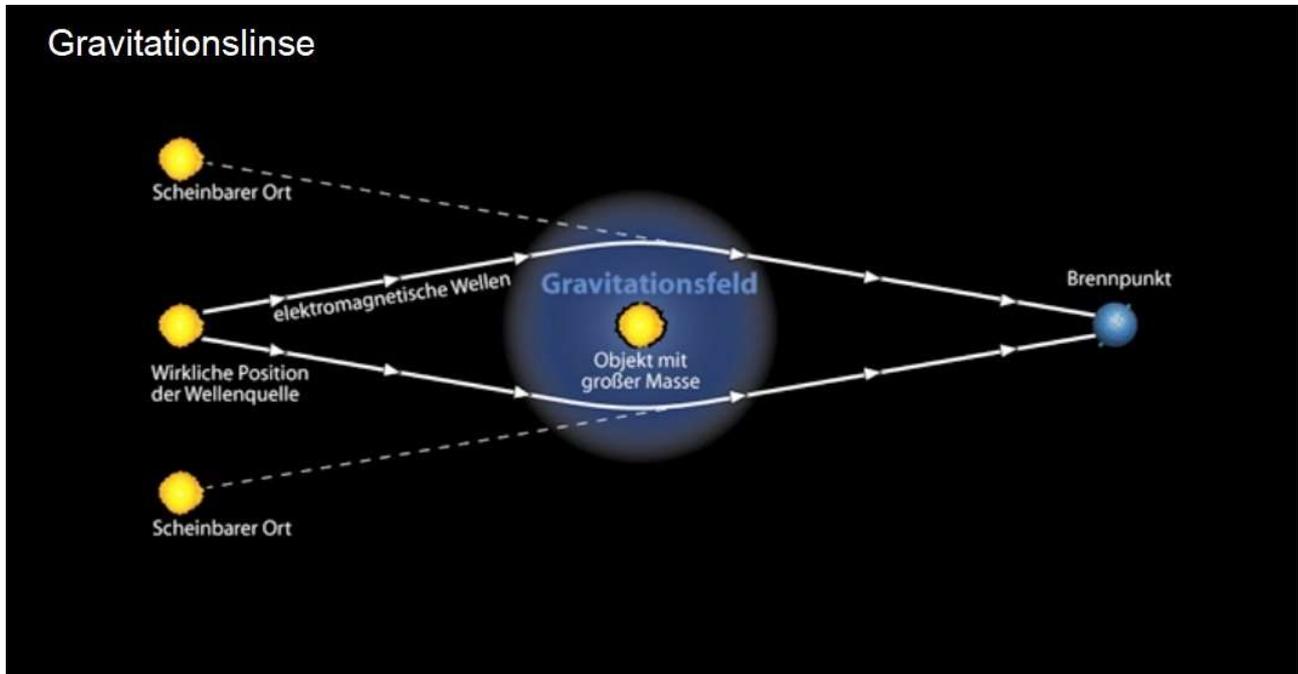
B: als gravitative Anziehung: das Licht wird von der großen Masse zum Zentrum zurückgezogen

C: als Stillstand der Zeit: eine extreme Verlangsamung des zeitlichen Ablaufs bei Vorhandensein großer Massen, sodass auch das Licht zum Stillstand kommt.



Dass dies nicht nur ein theoretisches Konstrukt ist, zeigt das Beispiel der Gravitationslinsen: Ein Stern wird von der Erde aus mehrfach gesehen, da sich zwischen ihm und dem irdischen Beobachter eine große Masse befindet, welche das Licht im Bogen herumlenkt: Der Effekt lässt sich wie

oben mit A, B, C erklären. Bei C wird angenommen, dass ein Lichtquant eine gewisse Breite hat und sein Anteil näher an der zentralen Masse etwas langsamer unterwegs ist, als sein äußerer Teil, so dass das Lichtquant wie bei einem Auto „um die Kurve“ fährt.



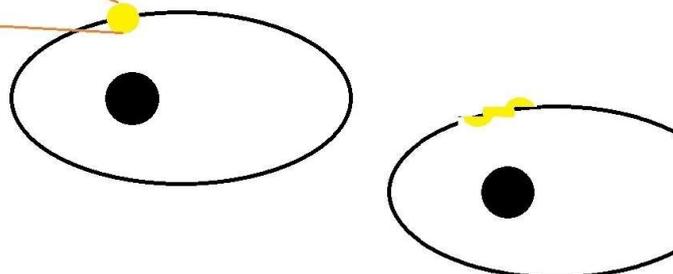
(Wikipedia)

Warum ist ein Schwarzes Loch dann wie im Falle der Quasare derart hell?

Kommt im Zentrum einer Galaxis, wo die Sterndichte sehr hoch ist, ein Stern mit Durchmesser D einem Schwarzen Loch zu nahe, dann übersteigt die Differenz in der gravitativen Anziehung zwischen dem äußeren Teil des Sterns im Abstand $R+D$ und dem inneren Teil im Abstand R vom Schwarzen Loch die Kräfte des inneren Zusammenhalts des Sterns, sodass der Stern auf seiner Umlaufbahn um das Schwarze Loch „zerfließt“.

$$F = M \cdot G \cdot m / (R+D)^2$$

$$F = M \cdot G \cdot m / R^2$$



Er „wickelt“ sich als heißes Plasma (als Wolke von überwiegend geladenen Teilchen) mit der Temperatur aus dem Sonneninneren und mit hoher Umlaufgeschwindigkeit um das Schwarze Loch.

Wir haben also zum Einen die Temperaturstrahlung dieser heißen Materiewolke. Hinzu kommt ein Effekt, der auf der Erde als Synchrotronstrahlung bekannt ist und ebenfalls zu intensiver Strahlung führt. Diese wollen wir hier näher beleuchten:

Werden geladene Teilchen mit hoher Geschwindigkeit „um die Ecke“ gelenkt, dann senden sie eine intensive Strahlung in die „Geradeaus“-Richtung. Dies resultiert aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, wo das elektrische Feld eines fast mit Lichtgeschwindigkeit fliegenden geladenen Teilchens auf der Außenbahn der Kurve schneller als das Licht sein müsste, um mit seinem Teilchen mitzukommen, was aber nicht möglich ist. Deshalb verliert das elektrische Feld den Anschluss an sein eigenes Teilchen. Da es aber eine gewisse Menge von Energie darstellt und Energie nicht einfach verschwinden kann, fliegt das ehemalige elektrische Feld als losgelöste Strahlung einfach geradeaus weiter.



Beispiel einer Anlage zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung: Die Teilchen bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit in einem luftleeren Rohr im unteren Teil des Bildes rings um die Halle und werden auf ihrem Umlauf an jedem der gelben Magnete ein Stück abgelenkt. Die dabei frei werdende Synchrotronstrahlung wird jeweils durch ein Führungsrohr, zu sehen rechts unten, zu den jeweiligen Experimentierplätzen im Untergrund der Halle geleitet.

Synchrotronstrahlung, die zu den hellsten uns zugänglichen Strahlungsquellen gehört, ist also kein theoretisches Konstrukt, sondern alltägliches Arbeitsmittel der Wissenschaft.

Und hier kommen wir zu „einem Hauch von Siebenbürgen“:

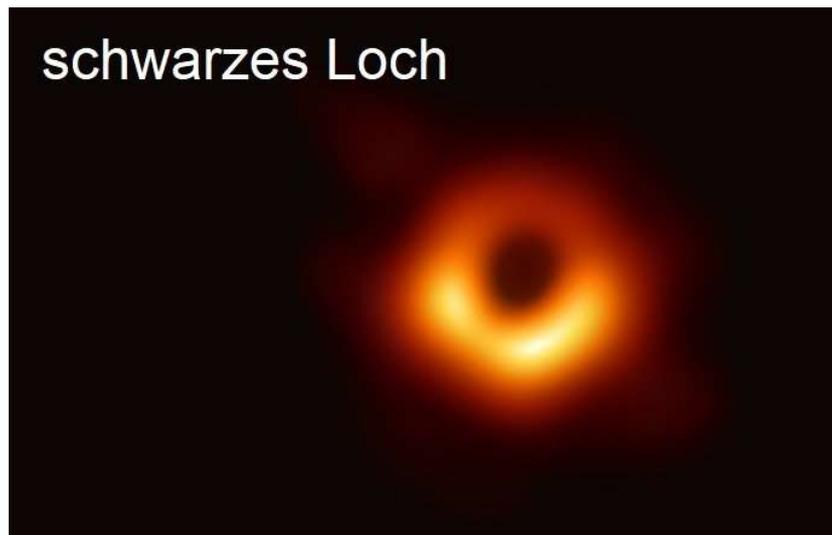


Es wurde kaum eine geeignete naturwissenschaftliche Methode ausgelassen, um den Herkunftsort von Nebra zu untersuchen. © Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt.

Man hatte bisher angenommen, dass das Gold in den Applikationen der Himmelscheibe von Nebra zur Gänze aus Siebenbürgen stammt. Die Applikationen sind aber nicht einheitlich und wurden vermutlich zu verschiedenen Zeiten mit verschiedenem Goldmaterial eingesetzt. Nach derzeitigen Erkenntnissen – ein Teil des Goldes wurde, wie im Bild zu sehen, mit dieser äußerst intensiven Strahlung untersucht – stammt das Gold aus England (siehe: <https://www.stern.de/panorama/wissen/mensch/himmelscheibe-von-nebra-das-gold-stammt-aus-england-3094604.html>).

Fazit: Ein Schwarzes Loch im Zentrum einer Galaxis ist kein dunkles, sondern im Gegenteil, während es benachbarte Sterne verschlingt, ein äußerst helles Objekt. Es ist zudem wegen seiner Gefräßigkeit meist Millionen von Sonnenmassen schwer.

Und hier sehen wir ein Bild vom Schwarzen Loch.



Aufnahme eines schwarzen Loches vom April 2019 (Quelle: Wikipedia).

Das Bild ist kein Photo, sondern eine Visualisierung von Dichtekarten der Strahlung im Radiofrequenzbereich, erstellt durch einen weltweiten Zusammenschluss mehrerer großer Radioteleskope.

Und zuletzt zu dem Thema eine „artists impression“, so könnte es für einen Betrachter in der Nähe aussehen (dies wäre für diesen aber sehr ungesund).



Kommen wir zur **Dunklen Materie**:



Vera Rubin beim Ausmessen von Galaxienspektren (AIP)

Eine der führenden Wissenschaftlerinnen bei deren Erforschung war die amerikanische Astronomin Vera Rubin. Bei systematischen Vermessungen der Spektren quer über jeweils eine Galaxis hinweg, stellte sie aus den Spektralverschiebungen an den einzelnen Messpunkten fest, dass sich die Galaxien in ihren Außenbereichen wesentlich schneller drehen, als es mit dem Newtonschen Gravitationsgesetz konform ist.

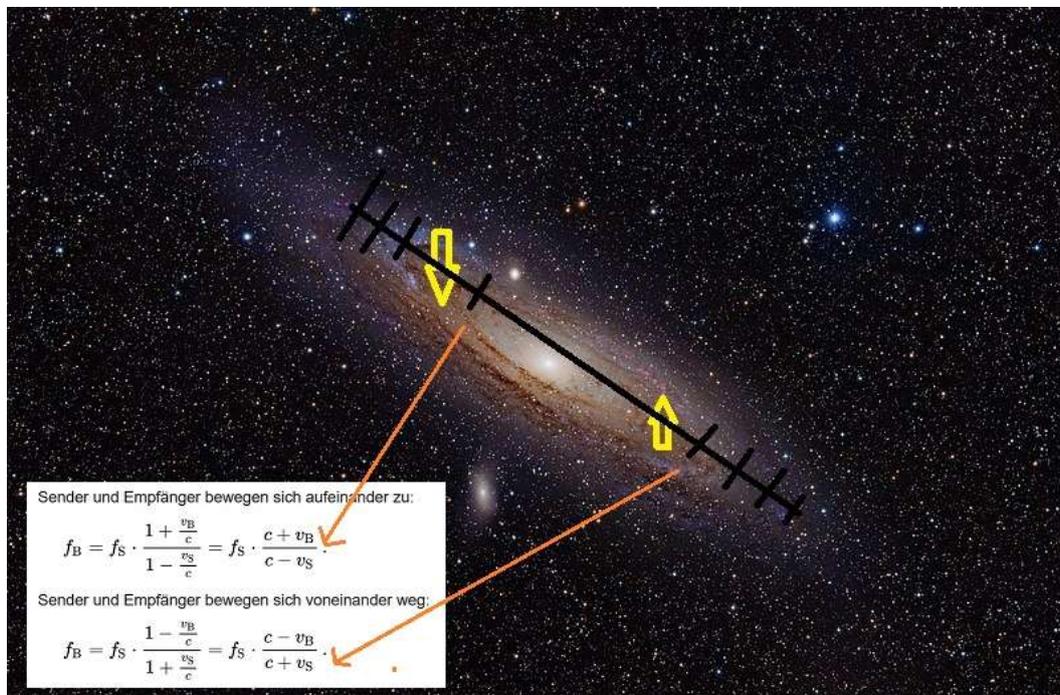
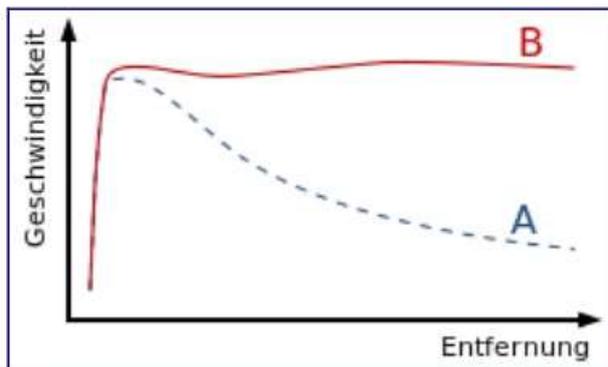
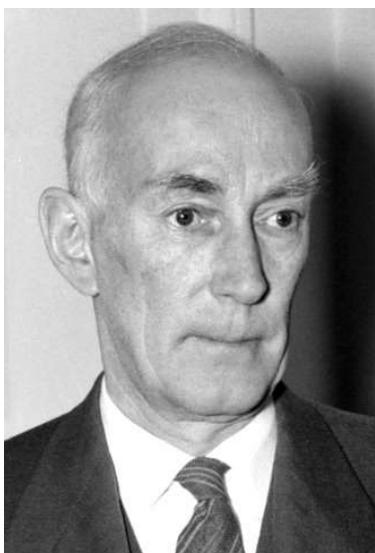


Abbildung einer Galaxis mit schematischem Eintrag von Messpunkten sowie den Formeln für die spektrale Verschiebung der Spektrallinien durch die Umdrehungsgeschwindigkeit (Dopplereffekt).



Rotationsgeschwindigkeitskurve einer typischen Spiralgalaxie: die Geschwindigkeit sollte mit zunehmender Entfernung (R) vom Zentrum der Galaxis abnehmen mit dem Faktor $1/\sqrt{R}$ entsprechend Kurve A des Diagramms. Beobachtet wurde aber eine etwa konstante Umlaufgeschwindigkeit um das Galaxienzentrum wie Kurve B. Diese hohe Umlaufgeschwindigkeit ist gemäß des Newtonschen Gesetzes nicht möglich - die Galaxien würden dabei auseinanderdriften und sich auflösen, was aber ganz offensichtlich dem Istzustand widerspricht. Als Erklärung wurde das Vorhandensein enormer zusätzlicher Massen in den Galaxien angenommen. Diese Materie kann aber nicht in Form von leuchtenden Sonnen vorliegen, weil man sie ja nicht sieht, also „Dunkle Materie“.

Ganz so neu ist das Thema mit der fehlenden Materie aber nicht, es gab schon vorher bedeutende Astronomen, die darauf Hinweise gaben:



Der niederländische Astronom Jan Hendrik Oort vermutete 1932 die Existenz Dunkler Materie im Bereich der Scheibe der Milchstraße aufgrund seiner Untersuchungen zur Anzahldichte und Geschwindigkeitsverteilung senkrecht zur Scheibe von verschiedenen Sternpopulationen und für verschiedene Abstände zur Scheibe. Er ermittelte daraus eine Massendichte in der Scheibe (in der Umgebung der Sonne) von $0,092$ Sonnenmassen pro Kubikparsec, was weit größer war als die damals bekannte Dichte in Form von Sternen.



Ungefähr gleichzeitig beobachtete der Schweizer Physiker und Astronom Fritz Zwicky 1933, dass der Coma-Haufen (ein Galaxienhaufen, bestehend aus über 1000 Einzelgalaxien, mit großer Streuung der Einzelgeschwindigkeiten und einer mittleren Entfernungsgeschwindigkeit von 7.500 km/s) nicht durch die Gravitationswirkung seiner sichtbaren Bestandteile (im Wesentlichen die Sterne der Galaxien) allein zusammengehalten wird. Er stellte fest, dass das 400-fache der sichtbaren Masse notwendig ist, um den Haufen gravitativ zusammenzuhalten. Seine Hypothese, dass diese fehlende Masse in Form Dunkler Materie vorliege, stieß seinerzeit in der Fachwelt auf breite Ablehnung.

(Beide Artikel aus Wikipedia)

Eine Erklärung für die Dunkle Materie gibt es bis heute nicht. Man hat z.B. in einem Labor im Gran Sasso Massiv (Bild), welches auch für zahlreiche sonstige physikalische Experimente genutzt wird, danach gesucht, aber keine konkreten Ergebnisse erzielt.



Eine alternative Theorie versucht das Phänomen zu erklären, indem sie das Newtonsche Gesetz bei sehr großen Abständen um einen kleinen Zusatzfaktor abändert. Diese MOND-Theorie (**M**odifizierte **N**ewtonsche

Dynamik) liefert im Falle einzelner Spiralgalaxien ganz plausible Rotationskurven, ähnlich der roten Kurve B im obigen Diagram, versagt aber im Falle von Galaxienhaufen und kann deren Verhalten nicht erklären. Sie hat auch keine fundierte theoretische Grundlage.

Wie hektisch derzeit im Kreise der Wissenschaft nach einer Lösung für das Phänomen gesucht wird, mag eine Suchanfrage in der Datenbank der Bayerischen Staatsbibliothek zum Thema „dunkle Materie“ verdeutlichen, welche in der weltweiten Literatur mehr als 120 tausend Treffer von Publikationen zu diesem Thema findet.

The screenshot shows the BSB DISCOVER! search interface. At the top left is the logo "BSB DISCOVER!". To the right are navigation links: "NEUE SUCHE", "INDEXSUCHE", "WEITERE ANGBOTE", "FERNLEIHE", and "HILFE". Below the navigation is a search bar with the title "SUCHKRITERIEN". The search criteria are listed as:

- Beliebiges Feld enthält **dunkle materie**
- ODER Beliebiges Feld enthält **dark matter**

Below the search bar is a yellow banner with the text: "Melden Sie sich an, um vollständige Ergebnisse zu erhalten und um Exemplare zu bestellen". At the bottom of the interface, there is a search results summary: "0 ausgewählt SEITE 1-10 von 122.669 Ergebnisse". An orange box highlights the number "122.669 Ergebnisse", and an orange arrow points from the search criteria box to this number. To the right of the results summary is a toggle switch labeled "Personalisieren".

Die Suche nach Erklärungen für die Geheimnisse des Universums ist also noch lange nicht zu Ende - ich erinnere an das Anfangsbild.