

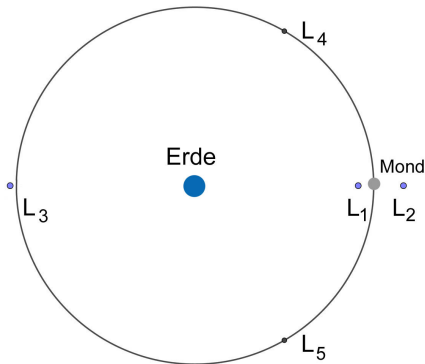
# Gravitation

Wir sind uns ziemlich sicher, dass Newtons Gravitationsgesetz auch außerhalb unseres Sonnensystems gilt. Wir kennen Tausende von Sonnen, um die Planeten kreisen, eine Minderheit von Sternen sind wie unsere Sonne Einzelsterne, und auch nahestehende Galaxien ziehen einander gravitativ an; beispielsweise wird die Andromeda-Galaxie in 4 Milliarden Jahren mit unserer Milchstraße verschmelzen.

Man schätzt, dass mindestens die Hälfte aller Sterne Doppelsterne sind, die einander umkreisen. Etwa 60 % der Sterne in einem Umkreis von 20 Lichtjahren sind Doppelsterne.

# Lagrange-Punkte

Wenn zwei Massen einander umkreisen, bewegen sie sich nach Newton auf Ellipsenbahnen. Bei drei Massen (Dreikörperproblem) gibt es keine einfache mathematische Beschreibung der Bahnen. Ausnahmen bilden Körper, die sich in der Nähe der Lagrange-Punkte aufhalten.



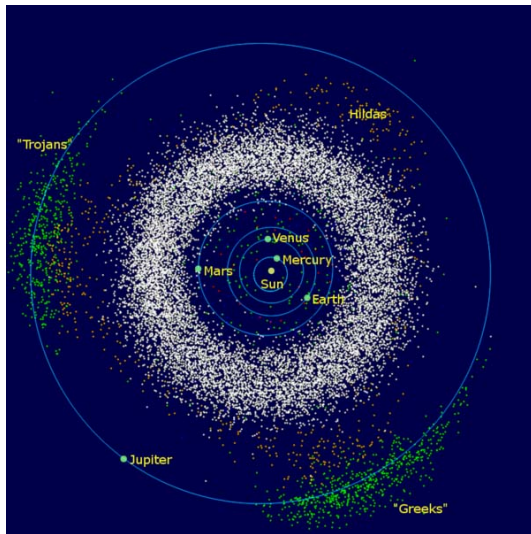
# Lagrange-Punkte

Die Existenz der Lagrange-Punkte  $L_1$ ,  $L_2$  und  $L_3$  hat schon Euler entdeckt; Lagrange fand  $L_4$  und  $L_5$ .

Objekte in den Eulerschen Lagrange-Punkten bewegen sich so, dass die drei Massen immer auf einer Geraden liegen; ihre Bahnen sind nicht stabil: Bei kleinen Änderungen wandern sie ab.

Objekte in den Lagrange-Punkten  $L_4$  und  $L_5$  sind stabil; sie laufen dem größeren Objekt etwa  $60^\circ$  voraus oder hinterher.

# Lagrange-Punkte



## Lagrange-Punkte

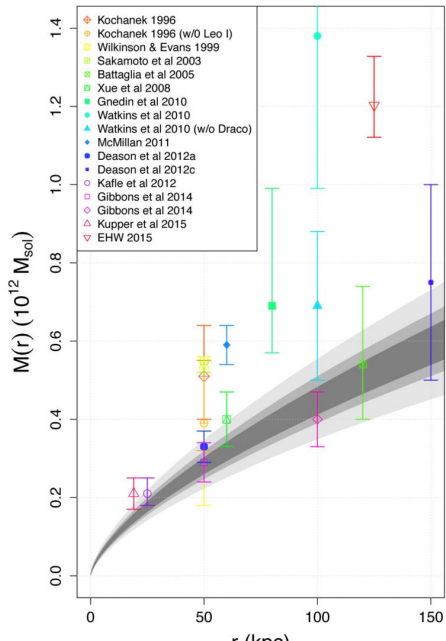
Die einzigen Planeten ohne bekannten Trojaner sind Merkur und Saturn. Der Asteroid 2002 AA<sub>29</sub> hat einen Durchmesser von weniger als 100 m und wechselte zwischen den Lagrange-Punkten  $L_4$  und  $L_5$  hin und her.

Der größte Trojaner der Erde hat einen Durchmesser von etwa 300 m; insgesamt kennen wir bis heute vier solcher Objekte.

## Dunkle Materie

Ein großes Problem der heutigen Astronomie ist die Tatsache, dass viele Galaxien zu leicht sind, um die Bahnen ihrer Sterne erklären zu können. Man muss sich dabei allerdings vor Augen halten, dass wir nicht einmal die Masse unserer Milchstraße halbwegs genau bestimmen können. Jüngste Messungen durch Gwendolyn Eadie (2016) lassen vermuten, dass die Milchstraße leichter ist als bisher angenommen. Die Schätzungen der Masseverteilung in Abhängigkeit von der Entfernung vom galaktischen Zentrum aus den letzten 25 Jahren zeigen die große Bandbreite der Werte:

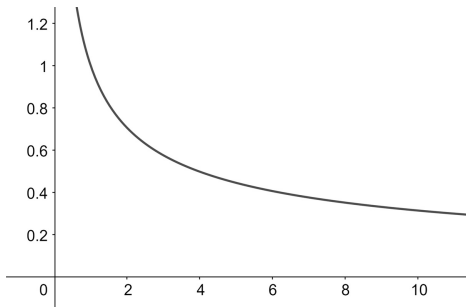
# Dunkle Materie



## Dunkle Materie

Noch weniger weiß man über andere Galaxien. Allerdings glaubt man bei vielen Galaxien, dass sie zu wenig Masse haben, um die Umlaufdauern ihrer Sterne mit Newtons Gravitationsgesetz erklären zu können.

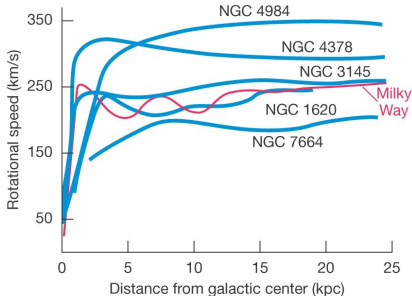
Dabei darf man es sich aber nicht so einfach machen wie Stewart in seinem Buch *Calculating the cosmos*. Stewart behauptet, die Rotationsgeschwindigkeiten in einer Galaxis müssten mit größerem Abstand nach Newton abnehmen:





# Dunkle Materie

Dies wäre richtig, wenn die Milchstraße kugelförmig und die Sterne innerhalb dieser Kugel gleichverteilt wären. Beides ist falsch. Die tatsächlichen Rotationsgeschwindigkeiten von Sternen um das Zentrum ihrer Galaxis sehen in etwa so aus:



# Dunkle Materie

Eine solche Geschwindigkeitsverteilung ist mit Newton durchaus verträglich; wenn man aber die Massenverteilung modelliert, die mit solchen Kurven verträglich ist, dann scheint bei vielen Galaxien zu wenig sichtbare Materie (also leuchtende Sterne) vorhanden zu sein.

Aus diesem Grund haben Astronomen eine „dunkle Materie“ postuliert, die diese Diskrepanz erklären soll. Auch nach über 30 Jahren Suche hat man bisher weder einen Kandidaten für die dunkle Materie, noch hat man in unserer Nähe irgendeinen Hinweis auf die Gravitationswirkung einer solchen dunklen Materie gefunden.

Video [Gassner : Dunkle Materie](#)