

Evidenzen zur dunklen Materie

Scheinseminar Astro- und Teilchenphysik 2009

Mirjam Oertel

21.12.2009

Inhalt:

1. Warum glaubt man, dass DM existiert?
2. Was könnte DM sein?
3. Experimente

1. Warum glaubt man, dass DM existiert?

- Rotationskurven von Spiralgalaxien
- Massenbestimmung von Elliptischen Galaxien
- Massenbestimmung von Galaxienhaufen
- Gravitationslinseneffekt
- Strukturbildung

Rotationskurven von Spiralgalaxien

Rotationskurve im Sonnensystem

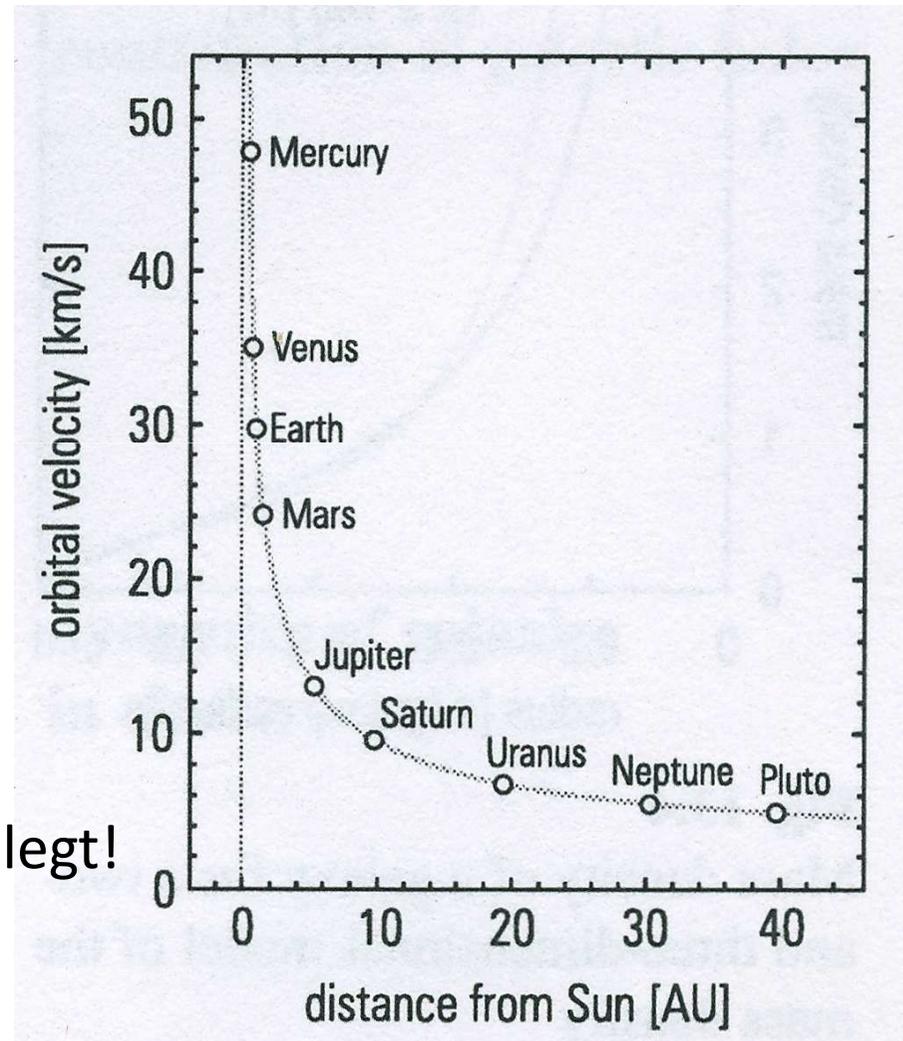
Kepler'sche Gesetze:

$$F_Z = F_G$$

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \Rightarrow v \sim \frac{1}{\sqrt{r}}$$

In unserem Sonnensystem gut belegt!



Rotationskurven von Spiralgalaxien

Hinweis auf DM

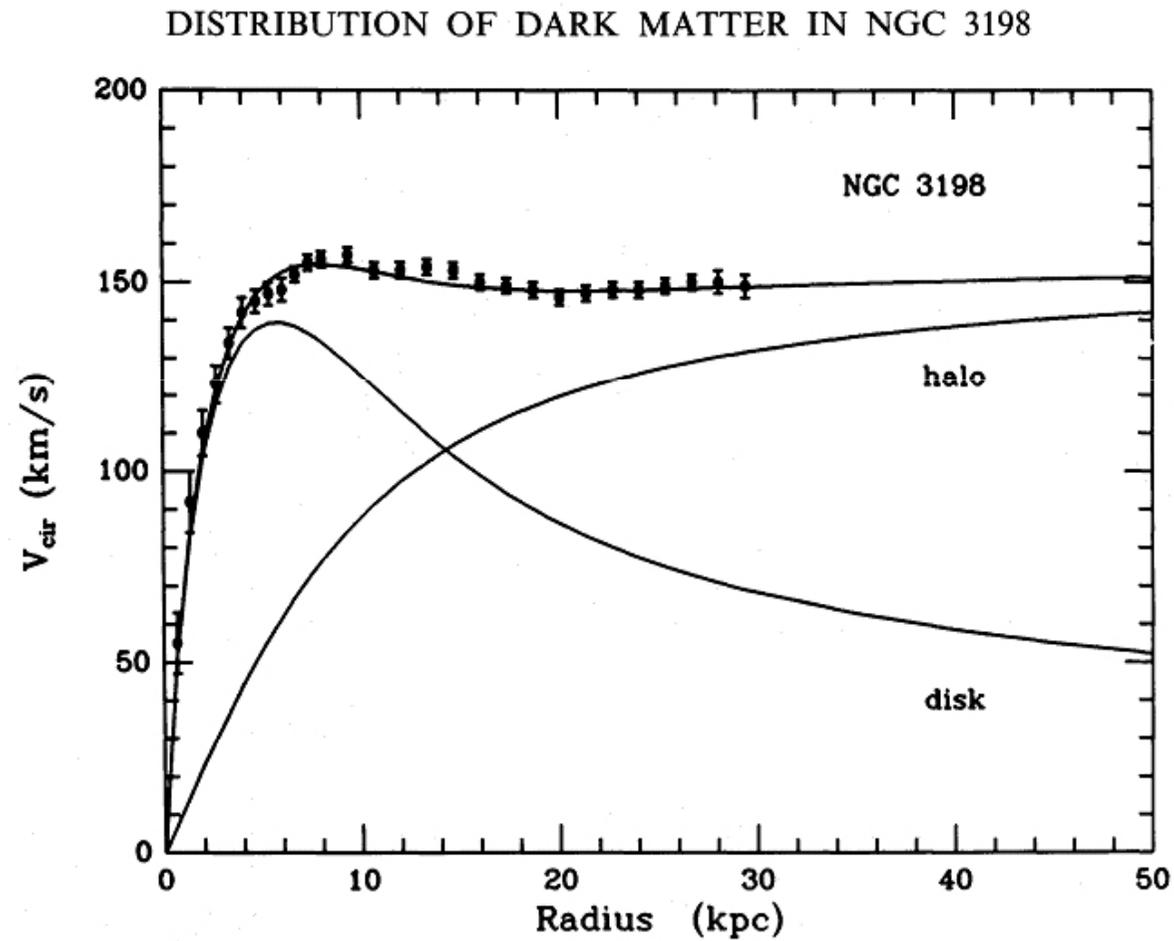
Meiste Masse im Zentrum einer Galaxie konzentriert

⇒ Erwartung: Kurve ähnlich Sonnensystem

ABER: flache Rotationskurven, selbst für große Entfernungen vom galaktischen Zentrum!

⇒ Halo muss 90% der Masse der Galaxie enthalten

Rotationskurven von Spiralgalaxien



Elliptische Galaxien

Massenbestimmung 1

- Anisotropes Geschwindigkeitsfeld
 - Gravitativ gebundenes System im hydrostat. Gleichgewicht
- ⇒ Berechnung der Masse über Virialsatz:

$$2\langle E_{\text{kin}} \rangle + \langle E_{\text{pot}} \rangle = 0 \quad E_{\text{kin}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad E_{\text{pot}} = -\frac{1}{2} \sum_{i \neq j} \frac{G m_i m_j}{r_{ij}}$$

N Sterne in der Galaxie:

$$M = \sum_i m_i \quad \text{Gesamtmasse}$$

$$r = 2M^2 \left(\sum_{i \neq j} \frac{m_i m_j}{r_{ij}} \right)^{-1} \quad \text{gravitativer Radius}$$

$$\langle v^2 \rangle = \frac{1}{M} \sum_i m_i v_i^2 \quad \text{massengewichtete Geschwindigkeitsdispersion}$$

Elliptische Galaxien

Massenbestimmung 2

$$\Rightarrow E_{\text{kin}} = \frac{M}{2} \langle v^2 \rangle \quad E_{\text{pot}} = -\frac{GM^2}{r}$$

$$\text{Virialsatz} \Rightarrow M = \frac{r \langle v^2 \rangle}{G}$$

Problem: weder Abstände noch Geschw. in 3D messbar!

Ann.: Abstand und Bewegung unkorreliert

$$\langle v^2 \rangle = 3\sigma_v^2 \quad \sigma_v = \text{1D-Geschwindigkeitsdispersion}$$

$$r = \frac{\pi}{2} R \quad R = 2M^2 \left(\sum_{i \neq j} \frac{m_i m_j}{R_{ij}} \right)^{-1}$$

R_{ij} = projizierter Abstand zw. den Sternen

$$\sigma_v \text{ und } R_{ij} \text{ direkt beobachtbar} \quad \Rightarrow M = \frac{3\pi R \sigma_v^2}{2G}$$

Elliptische Galaxien

Hinweis auf DM

Vergleich von berechneter und sichtbarer Masse:

⇒ 10 mal mehr als sichtbare Materie

⇒ Hinweis auf DM



Galaxienhaufen

Massenbestimmung

- Massenbestimmung analog ellipt. Galaxien über Virialsatz:
⇒ gleiches Ergebnis
 - Röntgenstrahlung:
heißes diffuses Gas ($T \sim 10^8 \text{ K}$)
⇒ Geschwindigkeit > Fluchtgeschwindigkeit
⇒ Gas müsste entweichen
- ⇒ Hinweis auf DM!

Galaxienhaufen

Zusammensetzung

⇒ M » sichtbare Masse

- ca. 3% Sterne
- ca. 15% intergalaktisches Gas
- ca. 80% DM



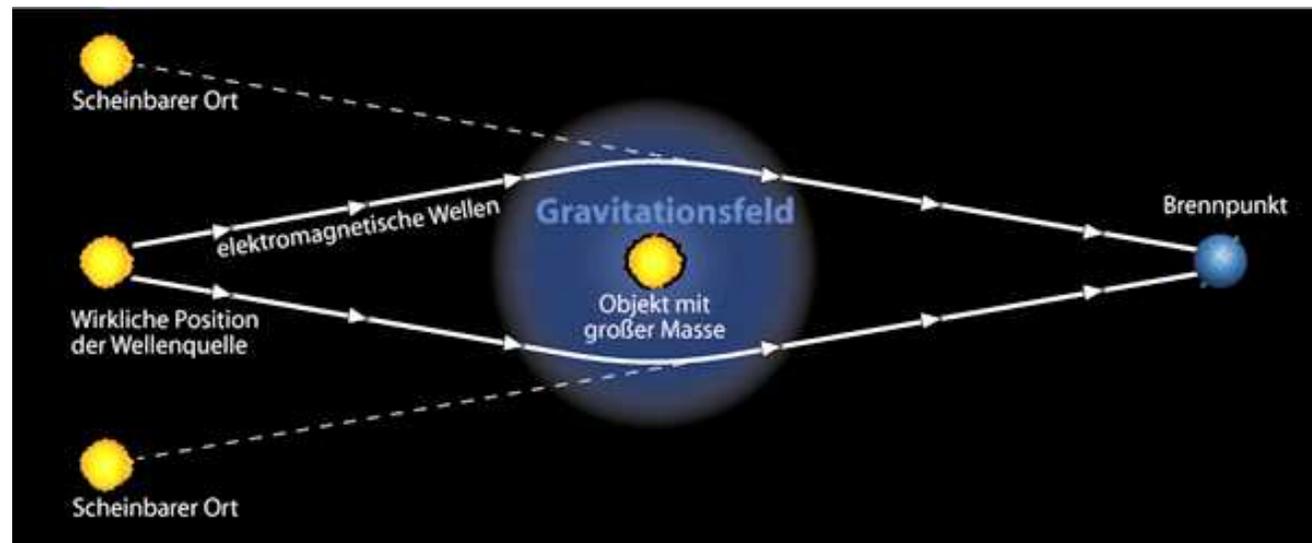
Gravitationslinseneffekt

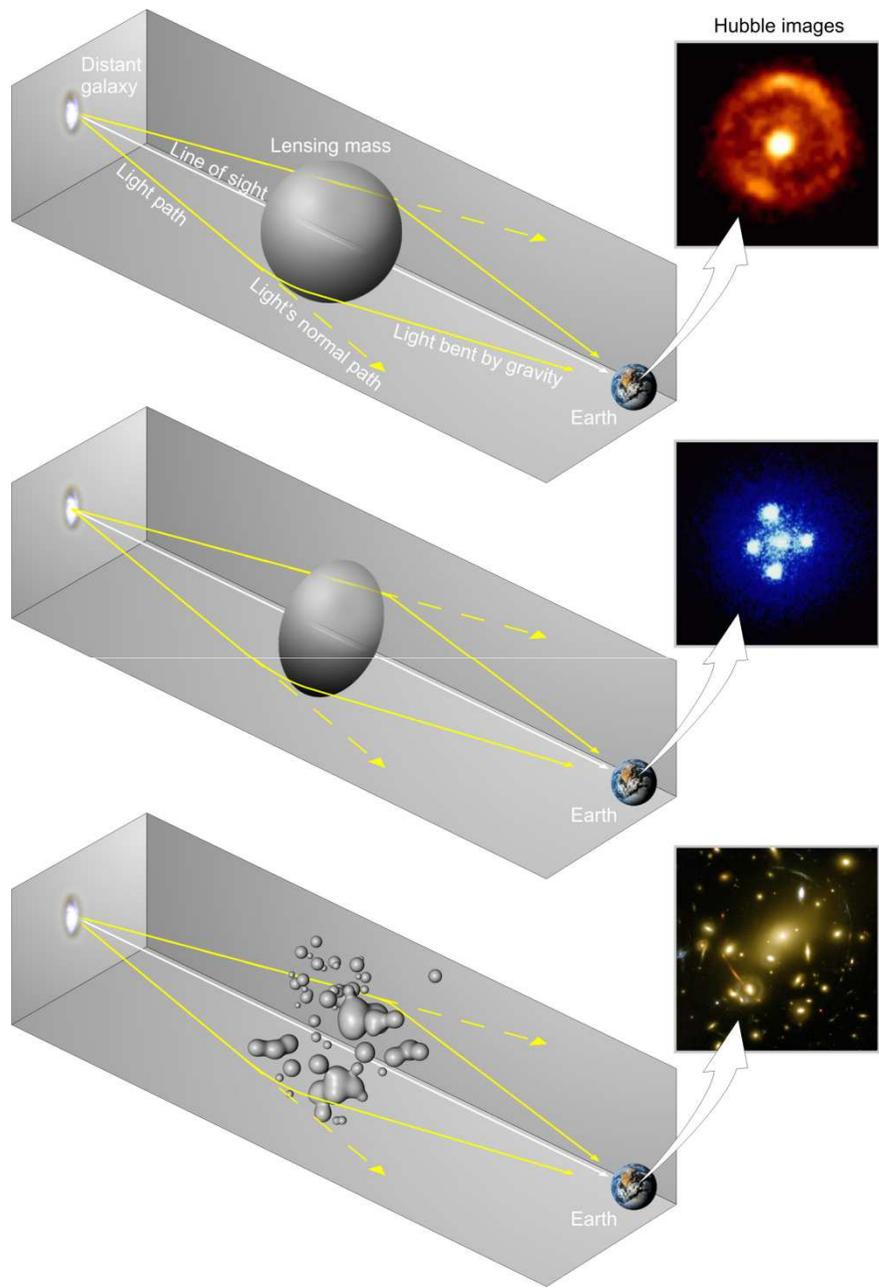
ART \Rightarrow Krümmung des Raums durch massereiche Objekte

- Licht wird abgelenkt

- Ablenkung stärker, als die durch Leuchtkraft bestimmte Masse

\Rightarrow unsichtbare Masse

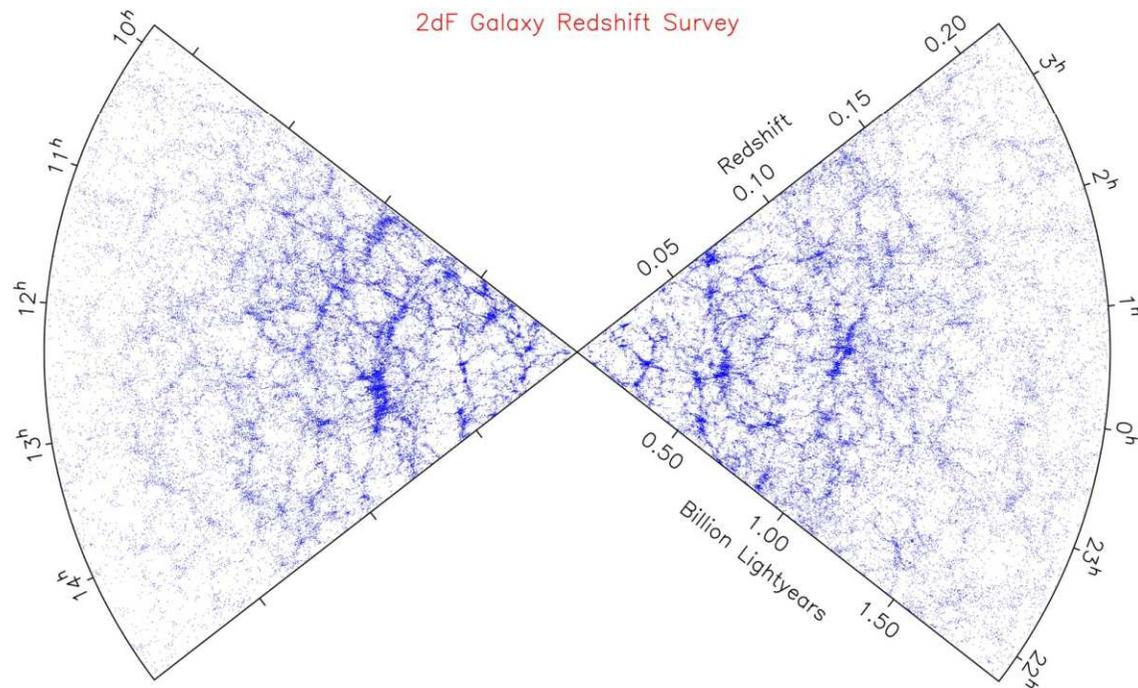




Strukturbildung

- Galaxien bilden schwammähnliche Strukturen
- Strukturen bei kleineren Rotverschiebungen (in jüngerer Vergangenheit) ausgeprägter
- Baryonische Materie allein kann dafür nicht verantwortlich sein

⇒ sichtbare Materie in
größere Strukturen
DM eingebettet



2. Was könnte DM sein?

- Baryonische DM (BDM)
 - MACHO's (weiße Zwerge, NS, BH ...)
- heiße DM (HDM)
 - Neutrinos
- kalte DM (CDM)
 - WIMPs (LSP, schwere Neutrinos, primordiale BH)
 - Axionen

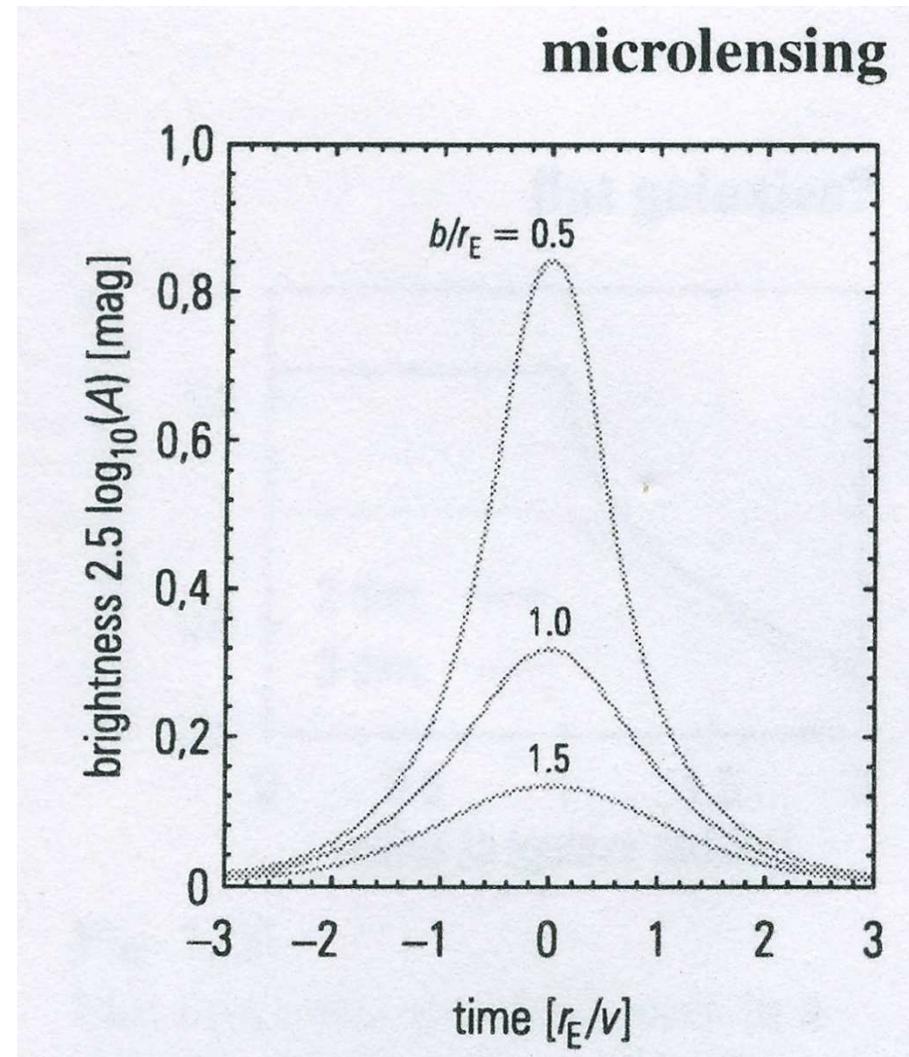
Baryonische DM

- MAAssive Compact Halo Objects (MACHO`s)
- Planeten, Zwergsterne, Neutronensterne, Schwarze Löcher
- Planeten: Masse viel zu gering
- NS, BH: Widerspruch zur chem. Zusammensetzung v. Galaxien
- Braune Zwerge: Suche über Mikrolinseneffekt:
Aus Lichtkurve: Masse
 $\Rightarrow \sim 0,5 M_{\odot}$
Schätzung: ca. 20% der DM
Fehler: +30%, -12%

\Rightarrow geringer Anteil an gesamter DM

Baryonische DM Lichtkurve

- Helligkeitszunahme eines Sterns, wenn Brauner Zwerg Sichtlinie passiert
- abhängig davon, wie nah Brauner Zwerg dieser kommt



Heiße DM

„Heiß“ \triangleq „relativistische Geschwindigkeiten“

⇒ könnten Neutrinos sein

Neutrinos:

- geringe Masse (meV), relativistisch
- wurden in Frühphase fast so zahlreich gebildet wie Photonen

⇒ Führt nicht zu beobachteten Strukturen!

⇒ kein guter Kandidat für DM

Kalte DM

WIMP`s: LSP

LSP (Lightest Supersymmetric Particle):

- Erweiterung des Standardmodells:
Teilchen haben supersymm. Partner
- R-Parität: erhaltene multiplikative QZ
 $R = 1$ (Teilchen), $R = -1$ (S-Teilchen)
- aus R-Parität: \exists stabiles SUSY-Teilchen: LSP
- Kandidat:
Neutralino: Fermion, el. neutral, Mischung aus Photino, Zino
und 2 neutralen Higgsinos $(\tilde{\gamma}^0, \tilde{Z}^0, \tilde{H}_{1,2}^0)$
- schwer zu messen, Hoffnung: LHC
- Hauptkandidat

Kalte DM

WIMP`s: weitere Kandidaten

Weitere WIMP`s (Weakly Interacting Massive Particles):

schwere Neutrinos:

- Masse $> 1\text{MeV}$
- schwer mit Teilchenphysik in Einklang zu bringen

primordiale Schwarze Löcher:

- während Urknall, noch vor Nukleosynthese entstanden
- Mechanismus ihrer Entstehung unklar

Kalte DM

Axionen

Axionen:

- QCD \Rightarrow CP-Verletzung möglich
- tritt jedoch nicht auf
- Wäre z.B. bemerkbar durch: elektrisches Dipolmoment von Neutronen

- mögliche Lösung:

Einführung zusätzlicher Felder, Symmetrien \Rightarrow Axion

Masse: μeV - meV \Rightarrow Dichte $>10^{10} \text{ cm}^{-3}$

\Rightarrow bis jetzt nicht gefunden!

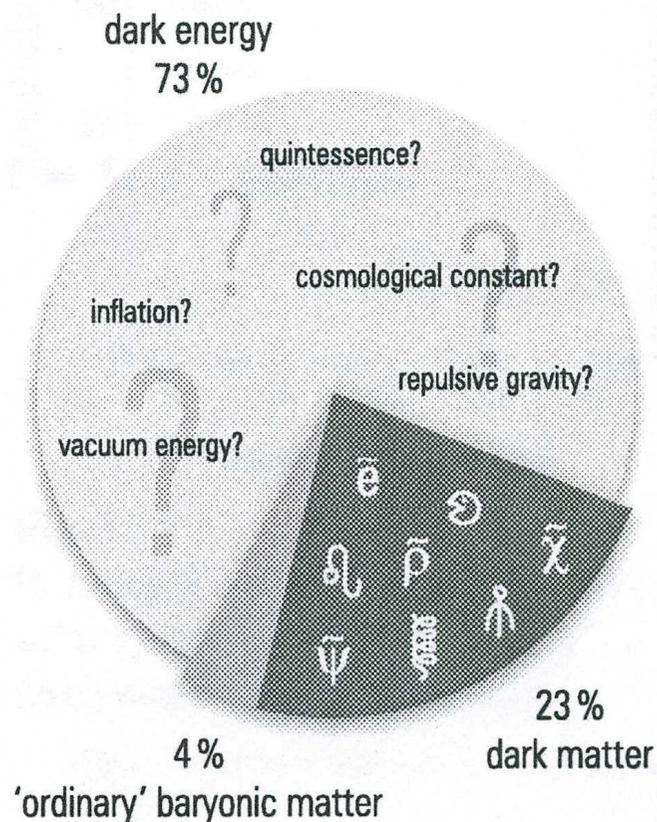
Zusammenfassung

- kopernikanische Revolution: wir befinden uns nicht an einem ausgezeichneten Punkt im Universum
- Jetzt: wir bestehen nicht einmal aus dem Stoff, der Materiedichte dominiert!

- 4% baryonische Materie
⇒ davon ca. 1% sichtbare Materie !

„If it`s not DARK, it doesn`t MATTER“

energy content of the universe



3. Experimente

Suche nach WIMP`s:

- DAMA (DARk MATter)
- AMANDA und IceCube

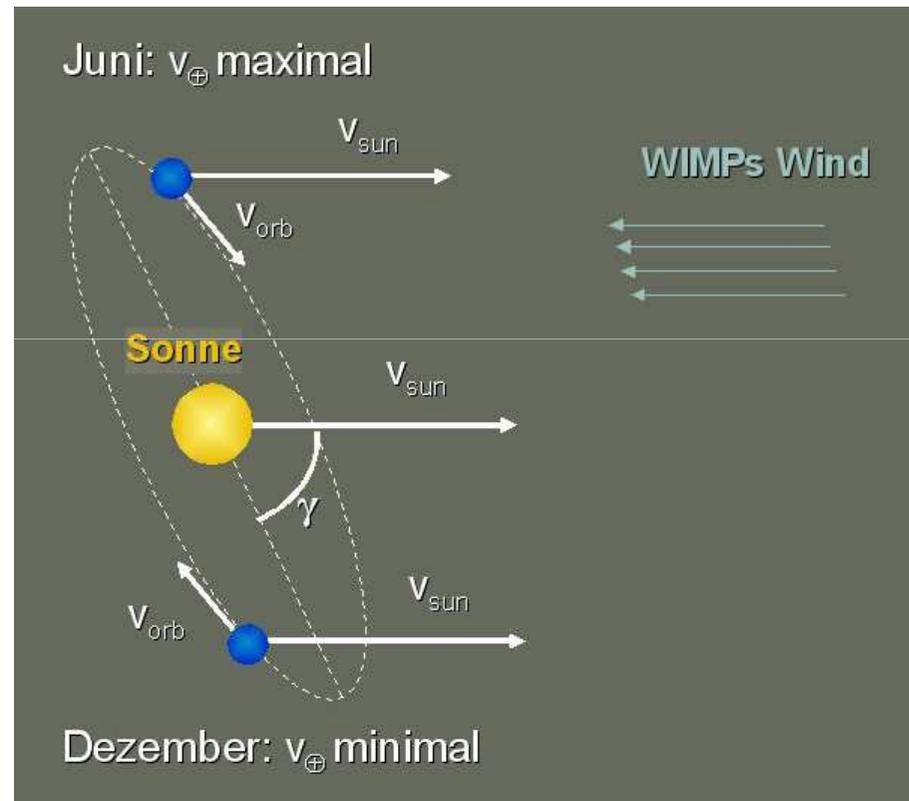
Suche nach Axionen:

- CAST



DAMA

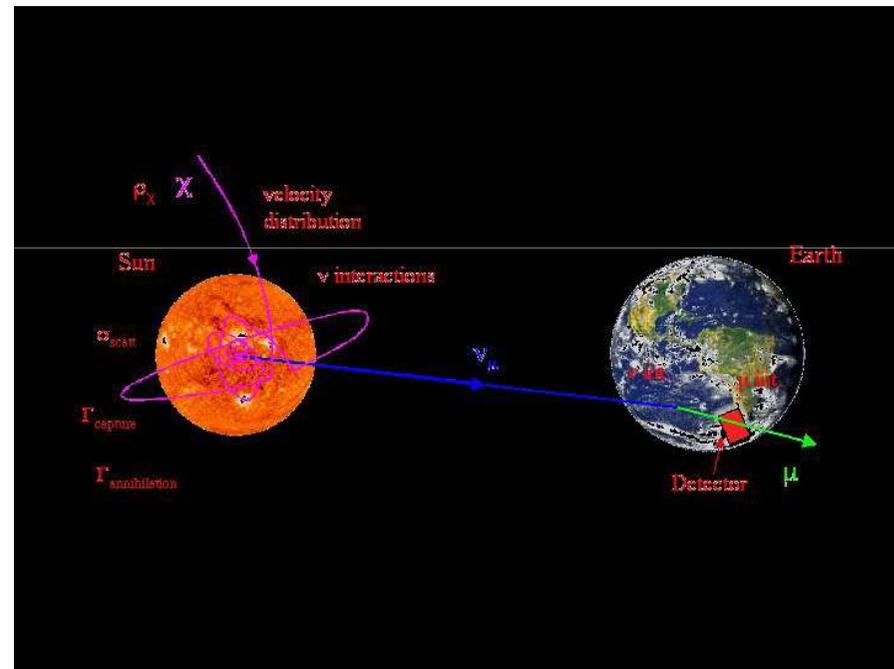
- in Gran Sasso ca. 1,5 km unter der Erde
 - Szintillationsdetektor soll jahreszeitliche Schwankung der WIMP-Ereignisse nachweisen
 - Modulation gemessen, konnte jedoch nicht bestätigt werden
- ⇒ DAMA/Libra versucht Ergebnisse zu verifizieren



AMANDA und IceCube

Antarctic Muon And Neutrino Detector Array

- Antarktis, 1500-2000 m unter Eis
- Ziel: Nachweis von Myonen und damit indirekt von DM
- bis jetzt: nur Neutrinos aus der Atmosphäre
- Nachfolger: IceCube:
1km³ groß
soll bis 2010 fertig sein



CAST

CERN Axion Solar Telescope

- Suche nach Axionen, die im Inneren der Sonne entstehen
 - WW von Axion und starkem Magnetfeld \Rightarrow (Röntgen)Photon
- \Rightarrow bis jetzt keine Axionen gefunden



Literaturverzeichnis

Bücher:

- Einführung in die moderne Kosmologie v. Andrew Liddle
2009 WILEY-VCH Verlag, ISBN: 978-3-527-40882-5
- Astroparticle Physics v. Claus Grupen
2005 Springer-Verlag, ISBN: 3-540-25312-2

Internetseiten:

- <http://www.icecube.wisc.edu/info/>
- <http://pulsar.sternwarte.uni-erlangen.de>
- <http://people.roma2.infn.it/~dama/web/home.html>
- <http://www.physik.rwth-aachen.de>
- http://nuastro-zeuthen.desy.de/e13/index_ger.html
- <http://www.weltderphysik.de/de/5087.php>
- http://www.ecap.physik.uni-erlangen.de/~katz/german/uk_TOP_german.html