

Dunkle Materie und Teilchenphysik

Michael Grefe

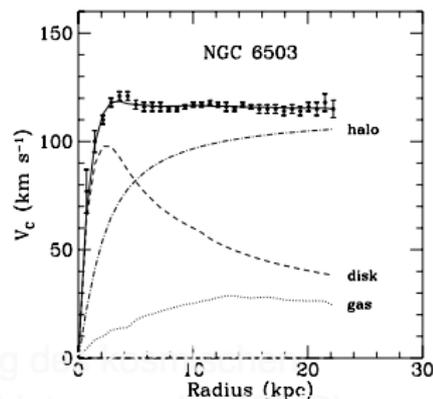
Universität Hamburg

Weihnachtliche Festveranstaltung

Department Physik – 17. Dezember 2008

Woher weiß man, dass es Dunkle Materie gibt?

- Sichtbare Materie in Galaxien (Sterne, Gas) kann nicht die beobachteten Rotationsgeschwindigkeiten erklären!
- ⇒ Zusätzliche, unsichtbare („dunkle“) Materie benötigt.

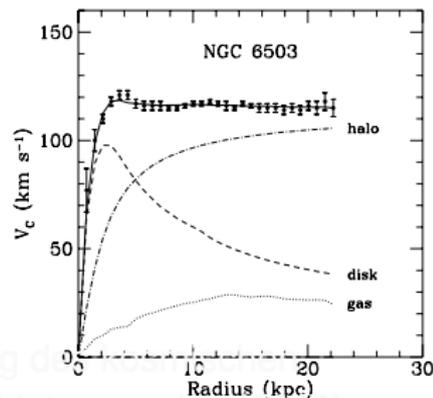


- Beobachtung der Rotationskurve (Rotation speed vs. Radius) deutet auf die Existenz von Dunkler Materie (und Dunkler Energie) hin.

Es gibt starke Hinweise für die Existenz Dunkler Materie!

Woher weiß man, dass es Dunkle Materie gibt?

- Sichtbare Materie in Galaxien (Sterne, Gas) kann nicht die beobachteten Rotationsgeschwindigkeiten erklären!
- ⇒ Zusätzliche, unsichtbare („dunkle“) Materie benötigt.

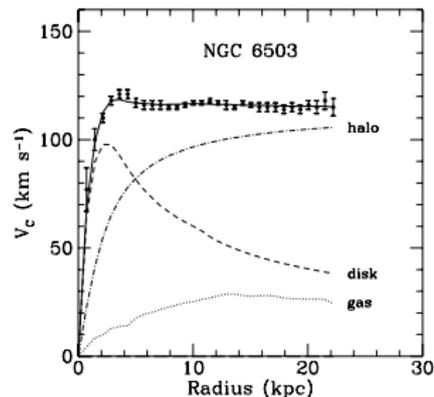
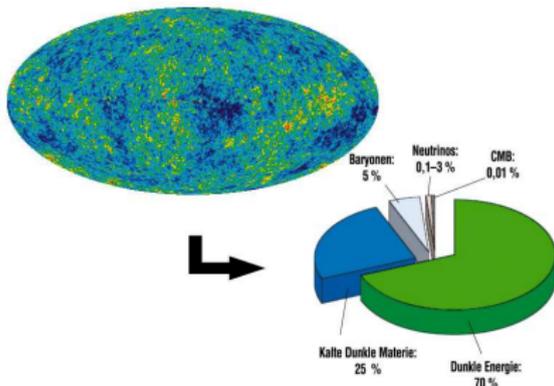


- Beobachtung der Rotationskurve einer Galaxie (z.B. NGC 6503) deutet auf die Existenz von Dunkler Materie (und Dunkler Energie) hin.

Es gibt starke Hinweise für die Existenz Dunkler Materie!

Woher weiß man, dass es Dunkle Materie gibt?

- Sichtbare Materie in Galaxien (Sterne, Gas) kann nicht die beobachteten Rotationsgeschwindigkeiten erklären!
- ⇒ Zusätzliche, unsichtbare („dunkle“) Materie benötigt.

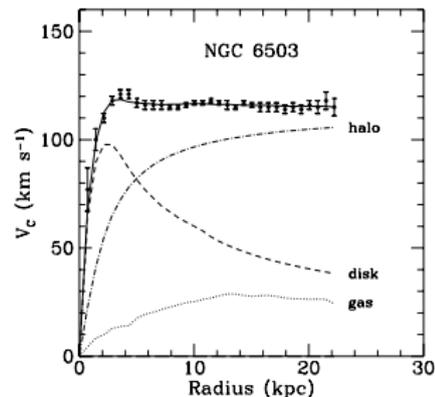
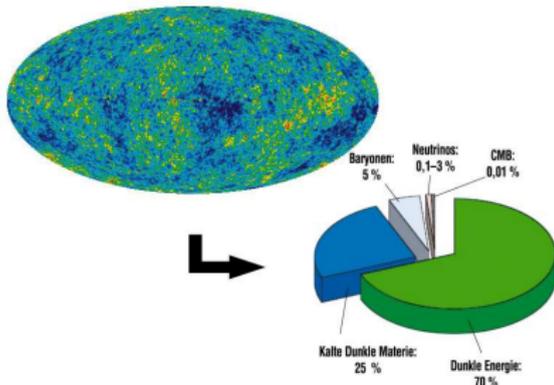


- Beobachtung des kosmischen Mikrowellenhintergrundes (CMB) deutet auf die Existenz von Dunkler Materie (und Dunkler Energie) hin.

Es gibt starke Hinweise für die Existenz Dunkler Materie!

Woher weiß man, dass es Dunkle Materie gibt?

- Sichtbare Materie in Galaxien (Sterne, Gas) kann nicht die beobachteten Rotationsgeschwindigkeiten erklären!
- ⇒ Zusätzliche, unsichtbare („dunkle“) Materie benötigt.



- Beobachtung des kosmischen Mikrowellenhintergrundes (CMB) deutet auf die Existenz von Dunkler Materie (und Dunkler Energie) hin.

Es gibt starke Hinweise für die Existenz Dunkler Materie!

Elementarteilchen als Kandidaten für Dunkle Materie

- (super-) Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)
 - Keine elektromagnetische Ladung (dunkel)
 - Wechselwirkung durch Gravitation (+ schwache WW)
 - Schwer („kalte“ Dunkle Materie)
 - Nicht-baryonisch (neue, unbekannte Materie)
 - Stabil / Lebensdauer größer als Alter des Universums (10^{17} s)

Standardmodell

Materie			Kräfte
e	μ	τ	γ
ν_e	ν_μ	ν_τ	W^\pm, Z^0
u	c	t	g
d	s	b	G

+

Supersymmetrische Partner

S-Materie			S-Kräfte
\tilde{e}	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\gamma}$
$\tilde{\nu}_e$	$\tilde{\nu}_\mu$	$\tilde{\nu}_\tau$	$\tilde{W}^\pm, \tilde{Z}^0$
\tilde{u}	\tilde{c}	\tilde{t}	\tilde{g}
\tilde{d}	\tilde{s}	\tilde{b}	\tilde{G}

Supersymmetrie bietet Kandidaten für Dunkle Materie.

Elementarteilchen als Kandidaten für Dunkle Materie

- (super-) Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)
 - Keine elektromagnetische Ladung (dunkel)
 - Wechselwirkung durch Gravitation (+ schwache WW)
 - Schwer („kalte“ Dunkle Materie)
 - Nicht-baryonisch (neue, unbekannte Materie)
 - Stabil / Lebensdauer größer als Alter des Universums (10^{17} s)

Standardmodell

Materie			Kräfte
e	μ	τ	γ
ν_e	ν_μ	ν_τ	W^\pm, Z^0
u	c	t	g
d	s	b	G

+

Supersymmetrische Partner

S-Materie			S-Kräfte
\tilde{e}	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\gamma}$
$\tilde{\nu}_e$	$\tilde{\nu}_\mu$	$\tilde{\nu}_\tau$	$\tilde{W}^\pm, \tilde{Z}^0$
\tilde{u}	\tilde{c}	\tilde{t}	\tilde{g}
\tilde{d}	\tilde{s}	\tilde{b}	\tilde{G}

Supersymmetrie bietet Kandidaten für Dunkle Materie.

Elementarteilchen als Kandidaten für Dunkle Materie

- (super-) Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)
 - Keine elektromagnetische Ladung (dunkel)
 - Wechselwirkung durch Gravitation (+ schwache WW)
 - Schwer („kalte“ Dunkle Materie)
 - Nicht-baryonisch (neue, unbekannte Materie)
 - Stabil / Lebensdauer größer als Alter des Universums (10^{17} s)

Standardmodell			
Materie			Kräfte
e	μ	τ	γ
ν_e	ν_μ	ν_τ	W^\pm, Z^0
u	c	t	g
d	s	b	G

+

Supersymmetrische Partner			
S-Materie			S-Kräfte
\tilde{e}	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\gamma}$
$\tilde{\nu}_e$	$\tilde{\nu}_\mu$	$\tilde{\nu}_\tau$	$\tilde{W}^\pm, \tilde{Z}^0$
\tilde{u}	\tilde{c}	\tilde{t}	\tilde{g}
\tilde{d}	\tilde{s}	\tilde{b}	\tilde{G}

Supersymmetrie bietet Kandidaten für Dunkle Materie.

Elementarteilchen als Kandidaten für Dunkle Materie

- (super-) Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)
 - Keine elektromagnetische Ladung (dunkel)
 - Wechselwirkung durch Gravitation (+ schwache WW)
 - Schwer („kalte“ Dunkle Materie)
 - Nicht-baryonisch (neue, unbekannte Materie)
 - Stabil / Lebensdauer größer als Alter des Universums (10^{17} s)

Standardmodell

Materie			Kräfte
e	μ	τ	γ
ν_e	ν_μ	ν_τ	W^\pm, Z^0
u	c	t	g
d	s	b	G

+

Supersymmetrische Partner

S-Materie			S-Kräfte
\tilde{e}	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\gamma}$
$\tilde{\nu}_e$	$\tilde{\nu}_\mu$	$\tilde{\nu}_\tau$	$\tilde{W}^\pm, \tilde{Z}^0$
\tilde{u}	\tilde{c}	\tilde{t}	\tilde{g}
\tilde{d}	\tilde{s}	\tilde{b}	\tilde{G}

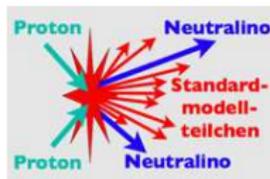
Supersymmetrie bietet Kandidaten für Dunkle Materie.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
 - Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)
 - Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
 - Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, Neutrinos etc.
- Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
- Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)

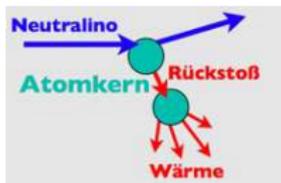
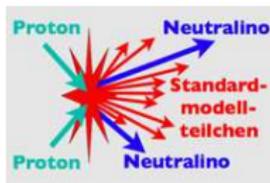


- Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
- Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, Neutrinos etc.

Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
- Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)

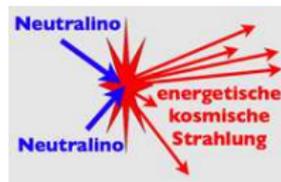
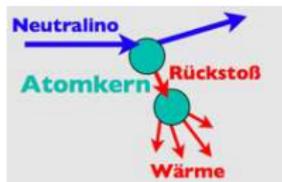
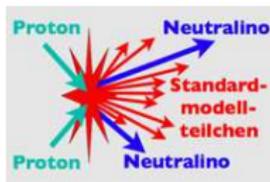


- Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
- Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, Neutrinos etc.

Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
- Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)

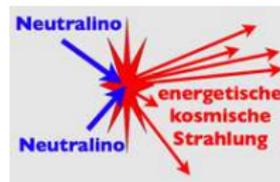
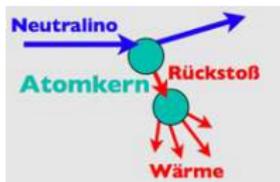
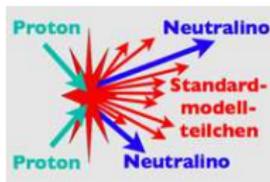


- Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
- Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, Neutrinos etc.

Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
- Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)

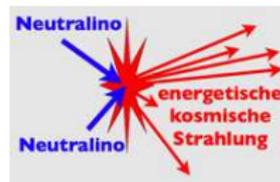
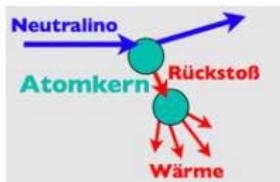
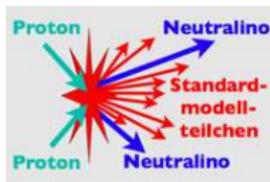


- Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
- Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, Neutrinos etc.

Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
- Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)

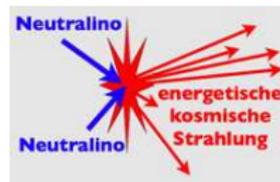
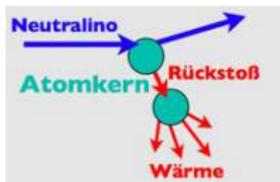
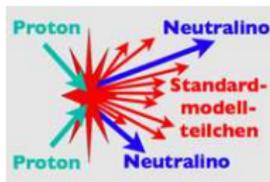


- Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
- Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, **Neutrinos** etc.

Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Welcher Kandidat ist der Richtige?

- Suchen konzentrieren sich auf stabile Kandidaten.
- Unterschiedliche Signaturen in
 - Beschleunigerexperimenten
 - Direkten WIMP-Suchen (elastische Streuung an Kernen)
 - Indirekten Suchen (Beitrag zu kosmischer Strahlung)

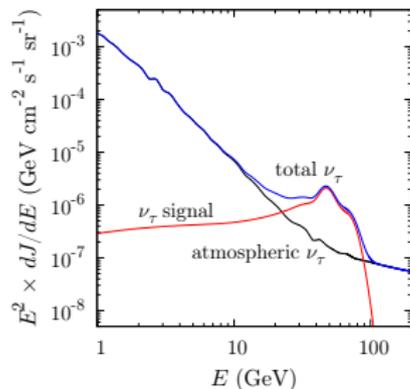
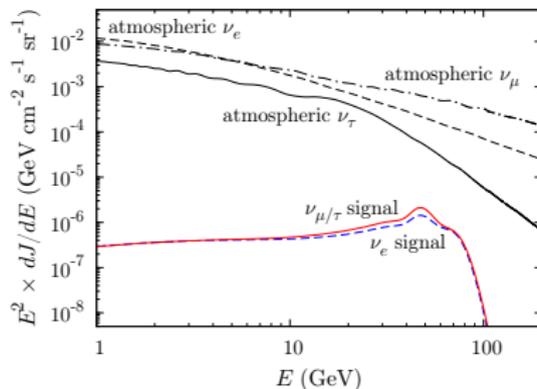


- Aber auch nicht-stabile, langlebige Gravitinos möglich.
→ Nachweis über Zerfallsprodukte.
- Zerfälle in der Milchstraße liefern Beitrag zu kosmischer Strahlung:
→ Photonen, Positronen, **Neutrinos** etc.

Suche nach Signalen von Gravitinos in kosmischer Strahlung.

Signale von nicht-stabilen Gravitinos

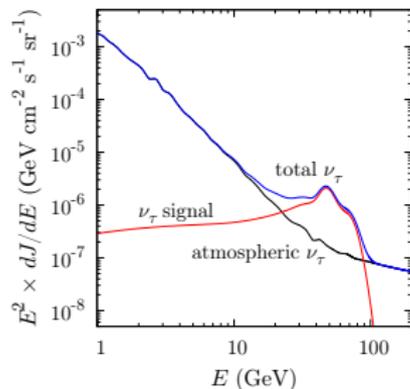
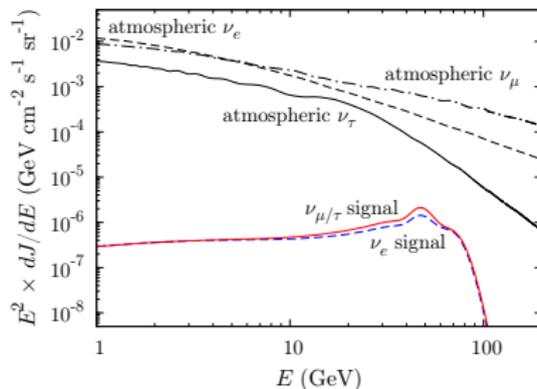
- Thema dieser Diplomarbeit
 - Berechnung der möglichen Zerfälle von Gravitinos.
 - Bestimmung der Neutrinosignale.
- ⇒ Kein Widerspruch zu Beobachtungen.
- ⇒ Vielleicht in zukünftigen Experimenten beobachtbar.



Weiterer Test für Dunkle Materie aus Gravitinos.

Signale von nicht-stabilen Gravitinos

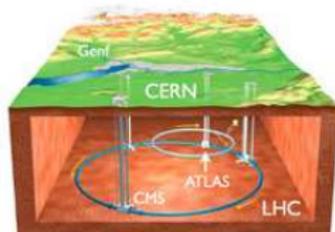
- Thema dieser Diplomarbeit
 - Berechnung der möglichen Zerfälle von Gravitinos.
 - Bestimmung der Neutrinosignale.
- ⇒ Kein Widerspruch zu Beobachtungen.
- ⇒ Vielleicht in zukünftigen Experimenten beobachtbar.



Weiterer Test für Dunkle Materie aus Gravitinos.

Zusammenfassung: Dunkle Materie

- Interessante Schnittstelle zwischen
 - Kosmologie (Physik des Universums als Ganzem)
 - Teilchenphysik (Kleinste Bausteine der Materie)
- Es gibt eine Reihe guter theoretischer Kandidaten.
- Aber: Bisher keine experimentellen Nachweise.
- In den kommenden Jahre viele neue Erkenntnisse durch
 - Beschleunigerexperimente (LHC, ILC)
 - Astrophysikalische Experimente (Kosmische Strahlung)
 - ...



- Interessante Schnittstelle zwischen
 - Kosmologie (Physik des Universums als Ganzem)
 - Teilchenphysik (Kleinste Bausteine der Materie)
- Es gibt eine Reihe guter theoretischer Kandidaten.
- Aber: Bisher keine experimentellen Nachweise.
- In den kommenden Jahre viele neue Erkenntnisse durch
 - Beschleunigerexperimente (LHC, ILC)
 - Astrophysikalische Experimente (Kosmische Strahlung)
 - ...

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Zusatz: Photonen und Positronen

- Zusätzliche Photonen und Positronen aus Zerfällen von Gravitinos können experimentelle Ergebnisse erklären.

