

The background of the slide is a visualization of the cosmic web, showing a complex network of dark matter filaments and galaxy clusters. The filaments are depicted as thin, purple and blue lines, while the clusters are represented by bright, yellow and orange points. The overall color palette is dominated by purples and blues, with the bright points providing a contrast.

# Suche nach Dunkler Materie

Seminarvortrag  
„Schlüsselexperimente der Teilchenphysik“  
Julian Emmerich

ng

we

materie

2

är

svet

3.

orr

n D

mmanf

Juli

ric

# Gliederung

- 1. Hinweise auf Dunkle Materie
- 2. Erklärungsversuche
- 3. Mögliche Formen von Dunkler Materie
- 4. Suche nach Dunkler Materie
- 5. Zusammenfassung



A visualization of the cosmic web, showing a complex network of purple and blue filaments with bright yellow and orange nodes representing galaxy clusters and individual galaxies.

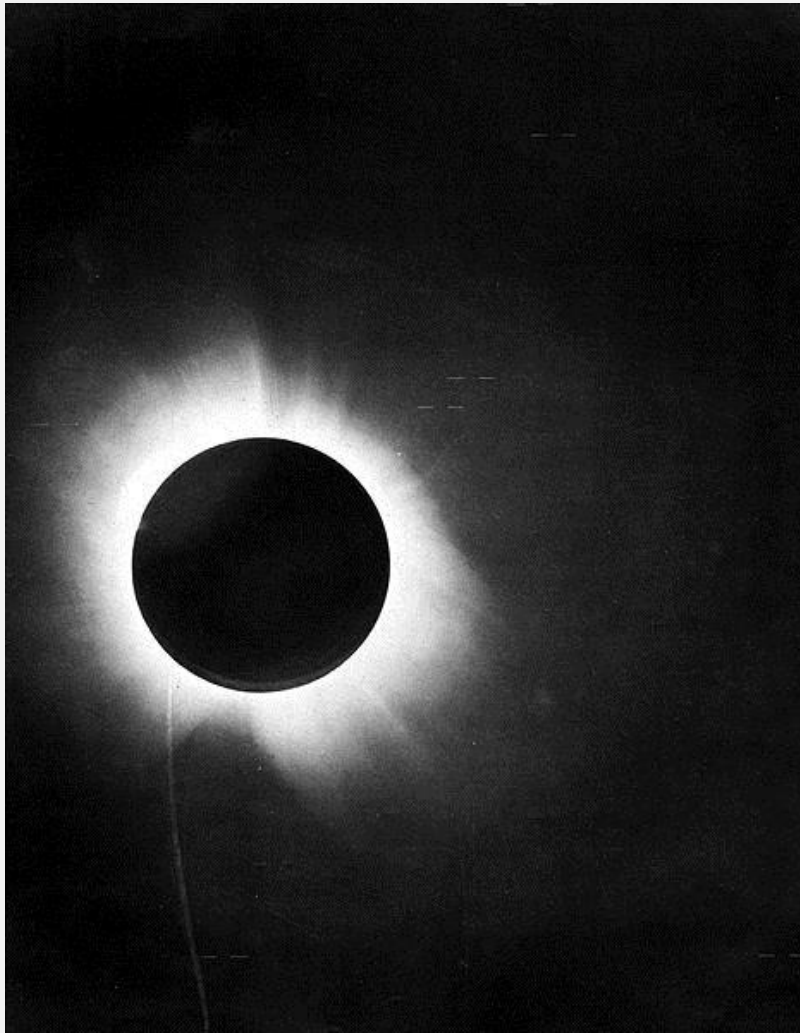
# 1. HINWEISE AUF DUNKLE MATERIE

# 1. Hinweise auf Dunkle Materie

- Gravitationslinseneffekt
- Rotationskurven von Spiralgalaxien
- Dynamik von Galaxienhaufen
- Mikrowellenhintergrund

# 1. Hinweise auf Dunkle Materie

## Gravitationslinseneffekt



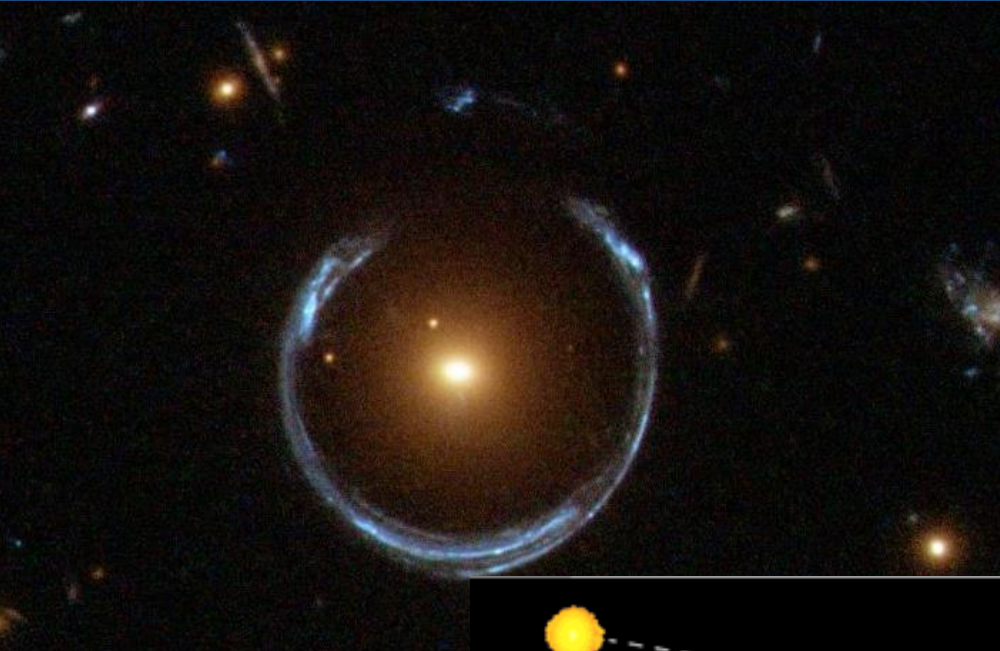
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1919\\_eclipse\\_positive.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1919_eclipse_positive.jpg)

Als er nach seiner Reaktion gefragt wurde, wenn die ART durch Eddington nicht bestätigt worden wäre, meinte Einstein spaßhaft: „Das hätte mir leid getan für den lieben Gott – die Theorie ist korrekt“.



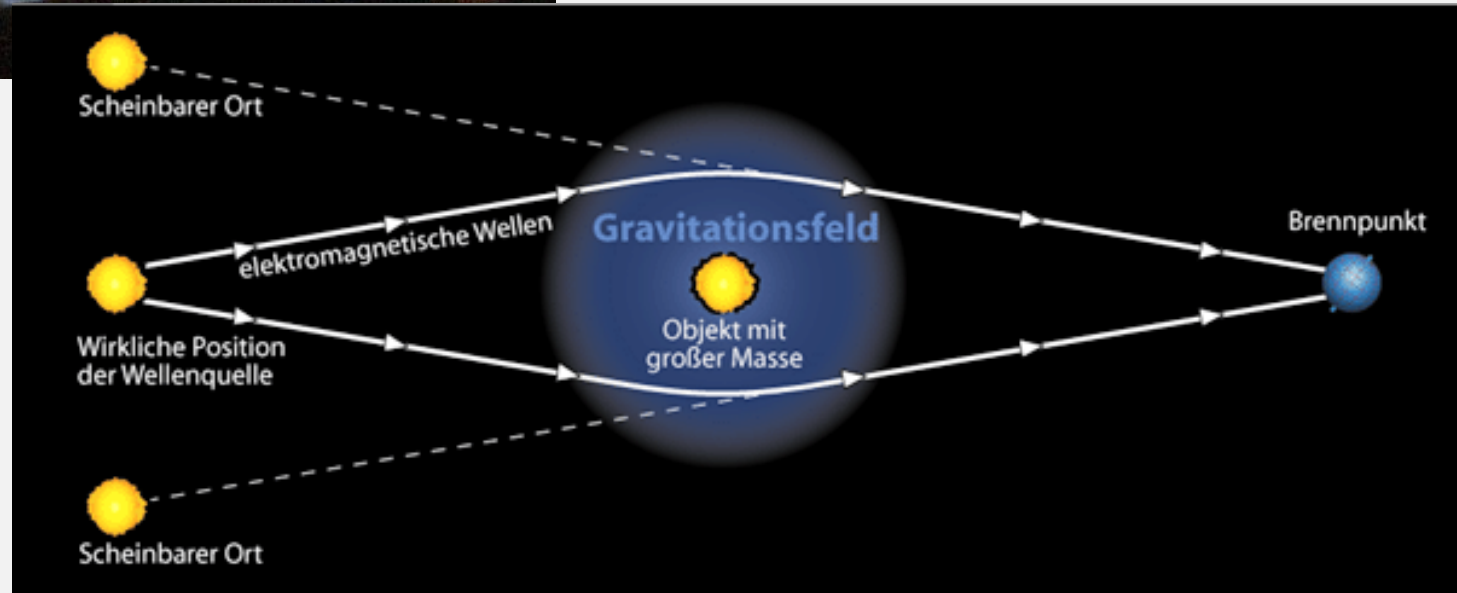
# 1. Hinweise auf Dunkle Materie

## Gravitationslinseneffekt



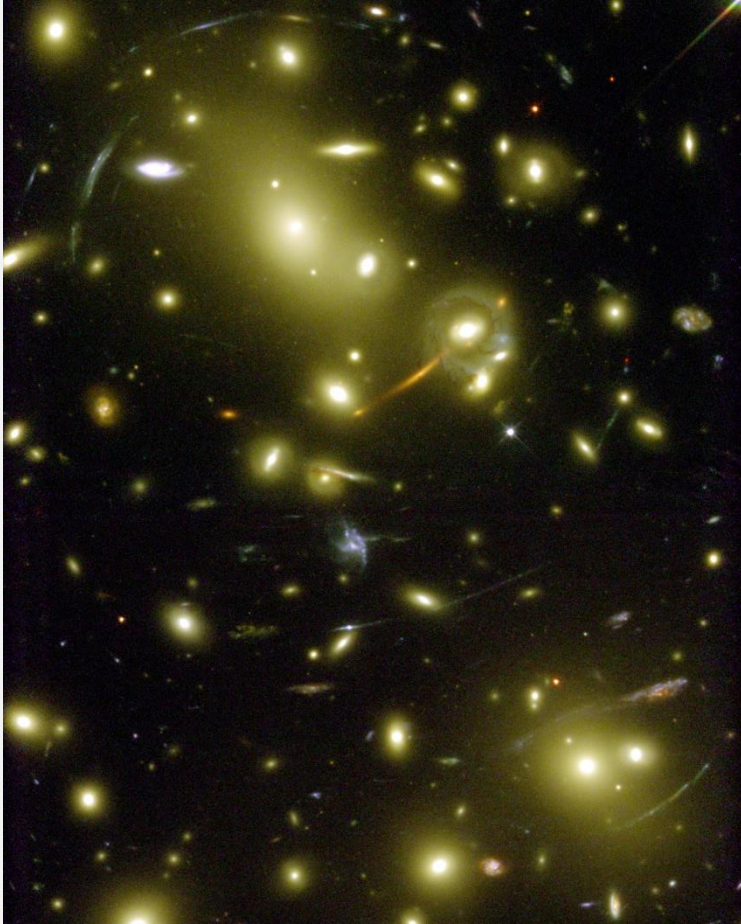
<http://de.wikipedia.org/wiki/Gravitationslinseneffekt#mediaviewer/Datei:Gravitationslinse.gif>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gravitationslinseneffekt#mediaviewer/Datei:Gravitationslinse.gif>

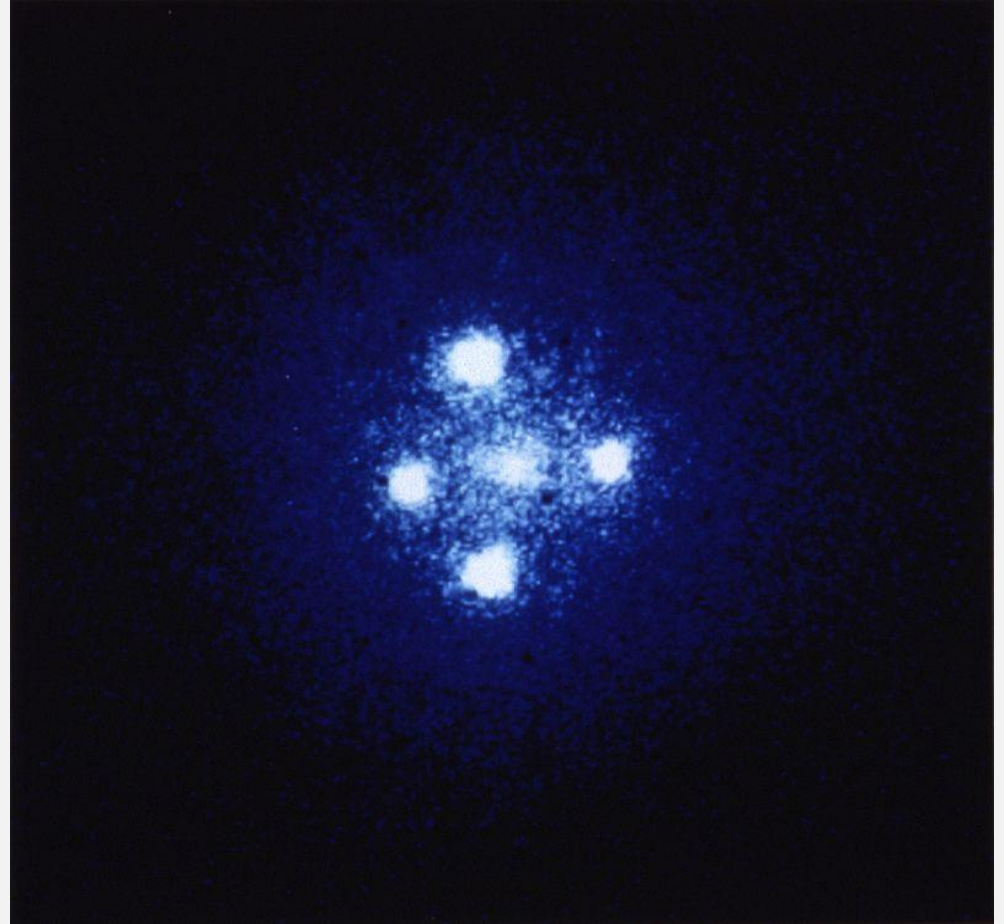


# 1. Hinweise auf Dunkle Materie

## Gravitationslinseneffekt



[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/A\\_Cosmic\\_Magnifying\\_Glass\\_-\\_Hubble\\_Space\\_Telescope\\_Center\\_Image\\_PR00-08.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/A_Cosmic_Magnifying_Glass_-_Hubble_Space_Telescope_Center_Image_PR00-08.jpg)



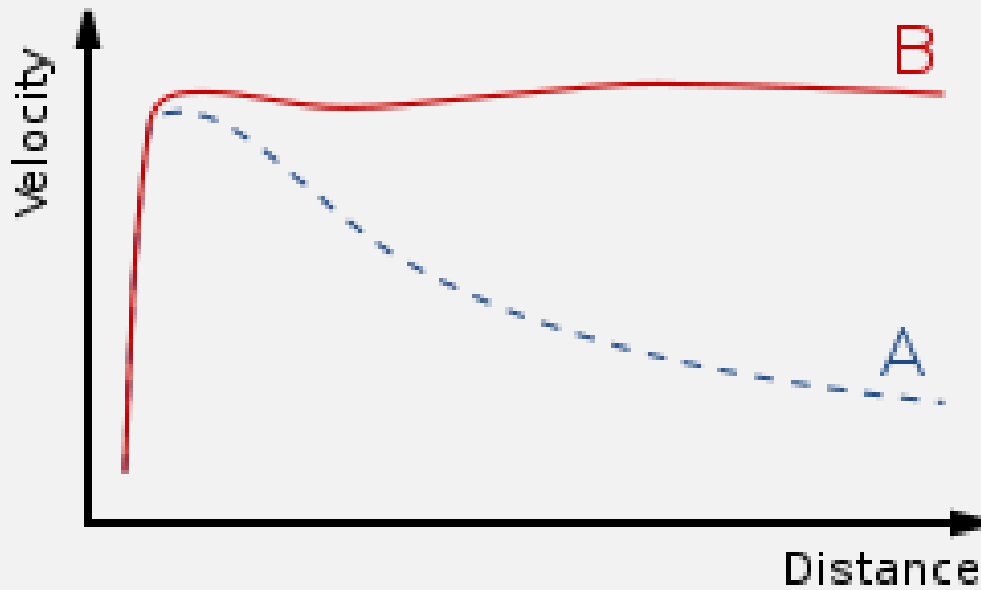
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1990/20/image/a/>





[http://www.raumfahrer.net/news/images/ngc6744\\_eso\\_big.jpg](http://www.raumfahrer.net/news/images/ngc6744_eso_big.jpg)

# 1. Hinweise auf Dunkle Materie Rotationskurven von Spiralgalaxien



<http://de.wikipedia.org/wiki/Spiralgalaxie#mediaviewer/Datei:GalacticRotation2.svg>

Tatsächliche Messung ergibt:

$$v(r) \sim \text{const.}$$
$$\rho(r) = \rho_0 e^{-\alpha r^n}.$$

Theorie:

$$v(r) = \sqrt{\frac{M_i \cdot G}{r}}$$

Innerhalb Galaxiekern:

$$M(r) = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$v(r) \sim r$$

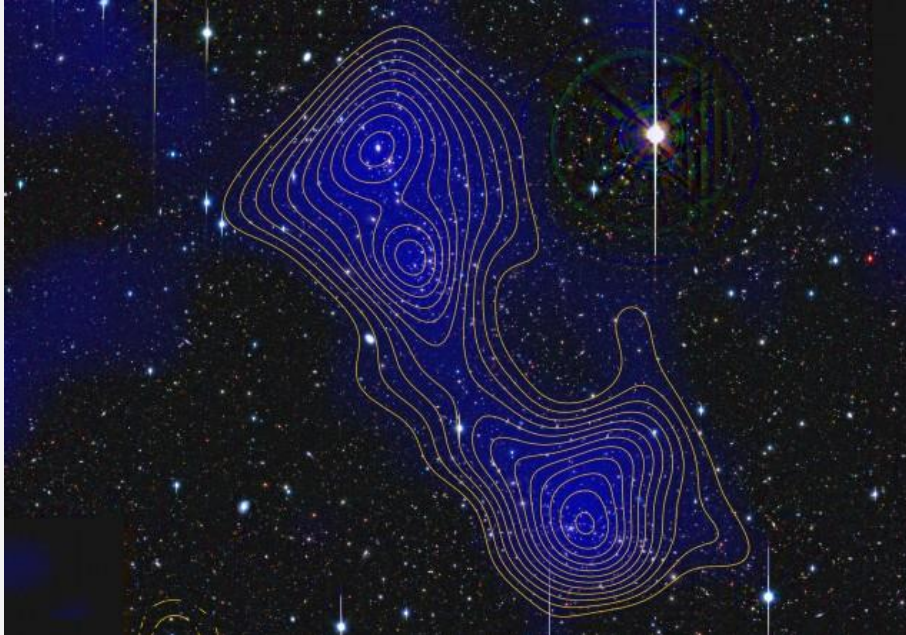
Außerhalb Galaxiekern:

$$M(r) = M_{Gal} = \text{const.}$$

$$v(r) \sim \frac{1}{\sqrt{r}}$$

# 1. Hinweise auf Dunkle Materie

## Dynamik von Galaxienhaufen

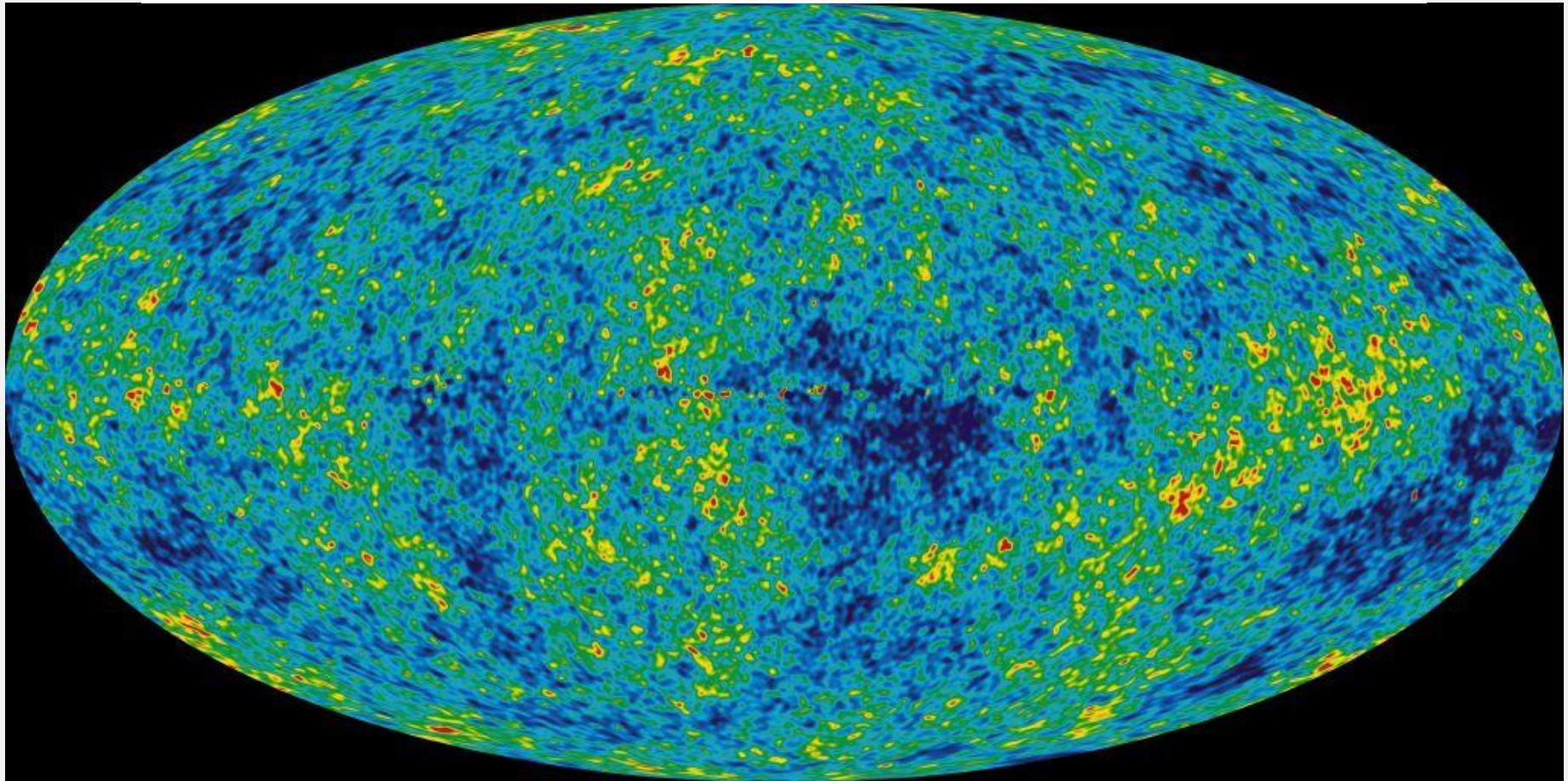
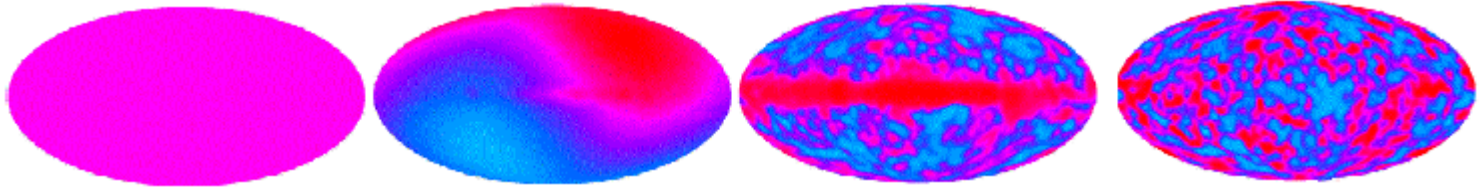


<http://www.welt.de/wissenschaft/weltraum/article107809845/Dunkle-Materie-verbindet-Galaxienhaufen.html>

Masse von  
Galaxienhaufen zu  
gering, um deren  
Dynamik erklären zu  
können



# 1. Hinweise auf Dunkle Materie Mikrowellenhintergrund





A visualization of the cosmic web, showing a dense network of purple and blue filaments with bright yellow and orange nodes representing galaxy clusters and individual galaxies.

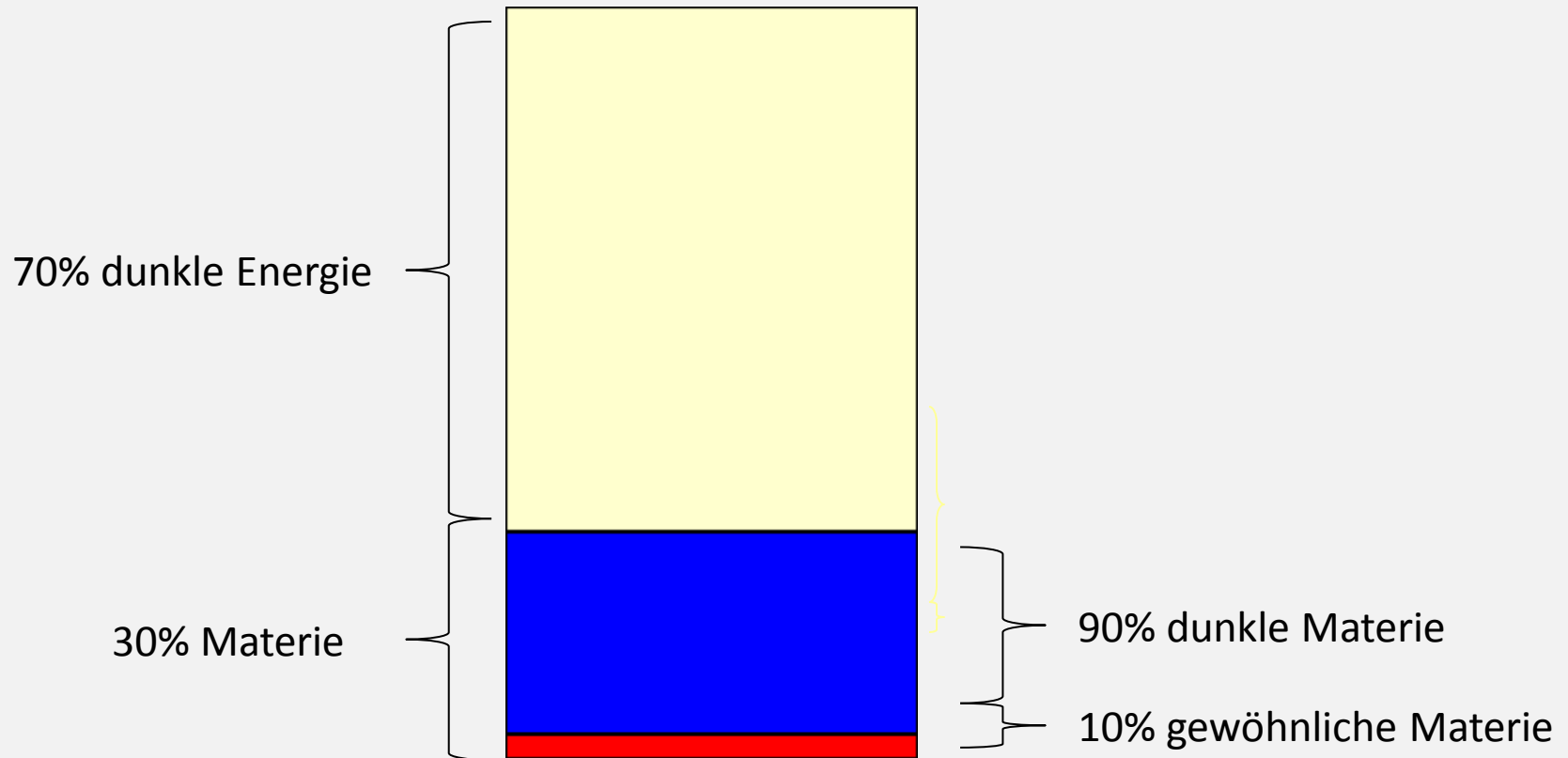
## 2. ERKLÄRUNGSVERSUCHE

## 2. Erklärungsversuche

- Entweder:  
Theorie zur Gravitation falsch
- Oder:  
Existenz von nicht sichtbarer, aber gravitativ  
wechselwirkender Materie  
-> Dunkle Materie



## 2. Erklärungsversuche Dunkle Materie



nur etwa 3% sind gewöhnliche (baryonische) Materie!



A visualization of the cosmic web, showing a complex network of purple and blue filaments with bright yellow and orange nodes representing galaxy clusters and individual galaxies.

# 3. MÖGLICHE FORMEN DUNKLER MATERIE

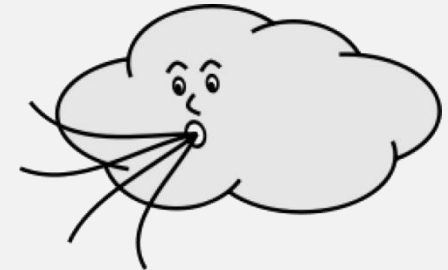


# 3. Mögliche Formen Dunkler Materie

- Baryonische Dunkle Materie
  - Gaswolken/Staubwolken
  - MACHOs
  
- Nichtbaryonische Dunkle Materie
  - heiße Dunkle Materie
  - kalte Dunkle Materie

### 3. Mögliche Formen Dunkler Materie Baryonische DM - Gaswolken

- Nur kalte Gas-/Staubwolken kämen in Frage, da diese kaum Strahlung emittieren



- Auch große Gaswolken zu geringe Masse
- Staubwolken würden Licht von anderen Sternen reemittieren und im IR strahlen

# 3. Mögliche Formen Dunkler Materie

## Baryonische DM - MACHOs

- MACHOs (Massive astrophysical compact halo objects)
  - Himmelskörper, in dem der Druck zu gering für Kernfusion ist z.B. brauner Zwerg
- > Baryonische DM generell schlechter Kandidat, da sie em wechsellwirkt und sichtbar wäre

# 3. Mögliche Formen Dunkler Materie

## NICHT-baryonische DM

- Hot Dark Matter: Neutrinowolken
  - Vorteil: Existenz geklärt
  - Nachteil: Neutrinos nahezu masselos
- Cold Dark Matter:  
massive „Kalte Teilchen“





# 3. Mögliche Formen Dunkler Materie

## NICHT-baryonische DM

- Cold Dark Matter:
  - WIMPS(**W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**articles)
- Anforderungen:
  - Nur schwache WW -> nicht sichtbar
  - Massebehaftetes Teilchen -> Hohes gravitatives Potential
  - Stabiles Teilchen
- Problem:
  - Standardmodell kennt solche Teilchen nicht
  - > Suche nach neuen Teilchen außerhalb des SM
  - > Supersymmetrie

# 3. Mögliche Formen Dunkler Materie

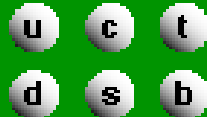
## SUSY-Teilchen

Teilchen

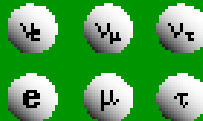
SUSY Partner

### Materieteilchen

Quarks



Leptonen



### Kräfteteilchen

Photon



W, Z Boson



Gluon

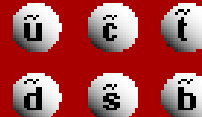


Graviton



### Sfermionen

Squarks



Sleptonen



### Gauginos

Photino



W-ino, Z-ino



Gluino



Gravitino



### Higgsteilchen



### Higgsinos



- Jedes Teilchen besitzt supersymm. Partner

[http://pferd-doc.com/html/assets/images/bild\\_mikroskope\\_SUSYspectrum.gif](http://pferd-doc.com/html/assets/images/bild_mikroskope_SUSYspectrum.gif)

# 3. Mögliche Formen Dunkler Materie

## WIMP-Kandidaten

- **Neutralino:** Überlagerungszustand verschiedener SUSY-Bosonen
- Masse typ. 50-200 GeV/c<sup>2</sup>  
(Vergleich Proton 0,94 GeV/c<sup>2</sup>)



[http://www.particlezoo.net/custom\\_particles/custom\\_particles.html](http://www.particlezoo.net/custom_particles/custom_particles.html)

A visualization of the cosmic web, showing a complex network of purple and blue filaments with bright yellow and orange nodes representing galaxy clusters and individual galaxies.

# 4. SUCHE NACH DUNKLER MATERIE

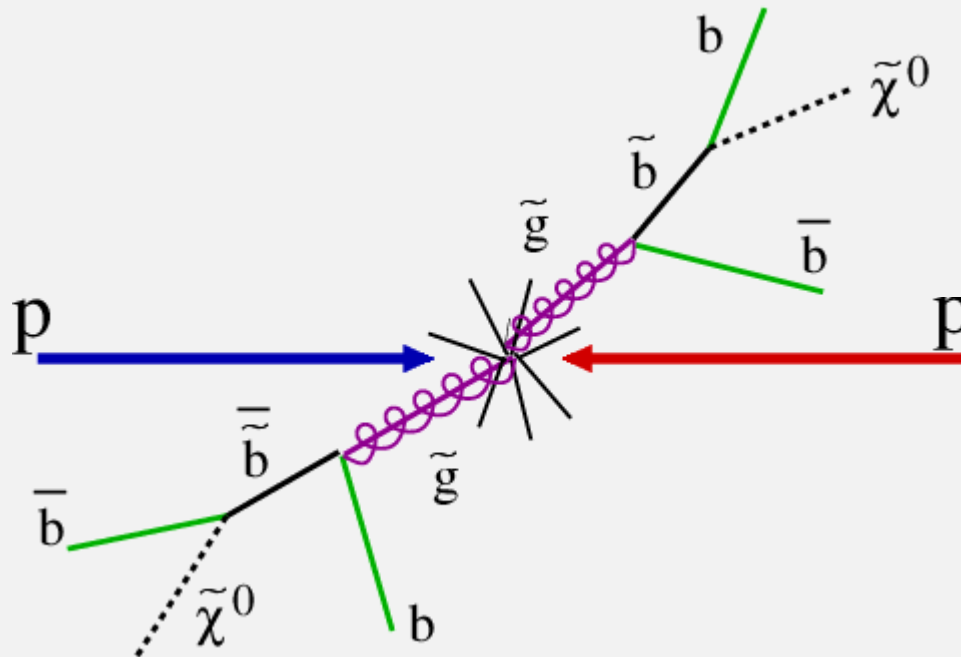


## 4. Suche nach Dunkler Materie

- Drei grundsätzlich verschiedene Arten der Suche
  - Teilchenproduktion an Beschleunigern
  - Annihilation von Neutralinos
  - Wechselwirkung von Neutralino mit Materie

# 4. Suche nach Dunkler Materie Teilchenproduktion an Beschleunigern

- Erste Experimente am LHC zur Erzeugung von Neutralino-Paaren



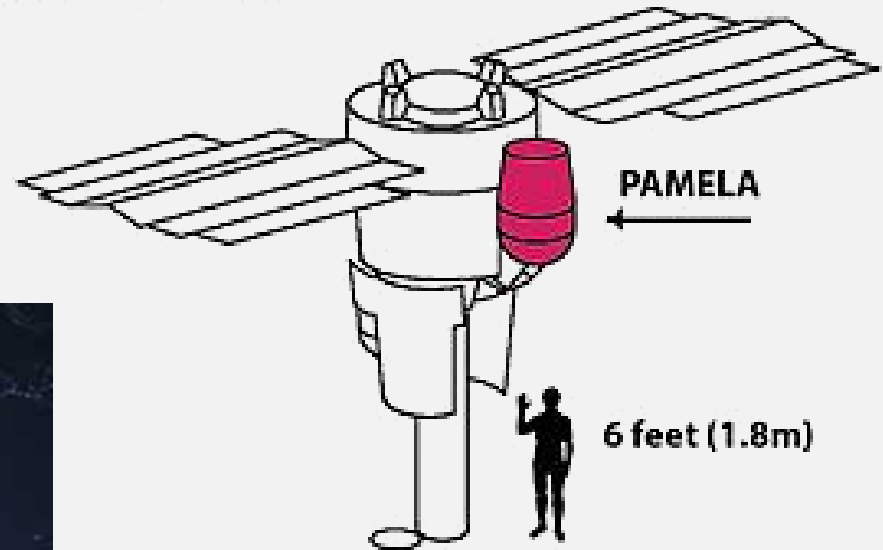
[http://1.bp.blogspot.com/\\_fqaF\\_pBXjbU/TFvC1B1XpCI/AAAAAAAAAHU/c-fuaQHcOLU/s1600/gluino\\_prod.gif](http://1.bp.blogspot.com/_fqaF_pBXjbU/TFvC1B1XpCI/AAAAAAAAAHU/c-fuaQHcOLU/s1600/gluino_prod.gif)

# 4. Suche nach Dunkler Materie

## Annihilationsprozesse

### Resurs-DK Reconnaissance Satellite

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2013/aug/23/pamela-reasserts-positron-excess>



<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1d/PAMELAonResurs-DK.jpg/310px-PAMELAonResurs-DK.jpg>

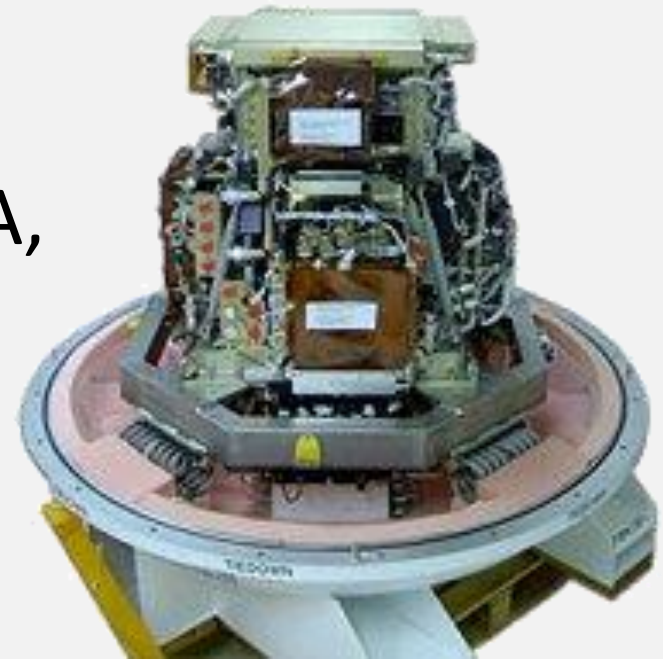
# 4. Suche nach Dunkler Materie

## Annihilationsprozesse

- Annihilationsprozess:



- Spektrometer von PAMELA, gebaut in Siegen

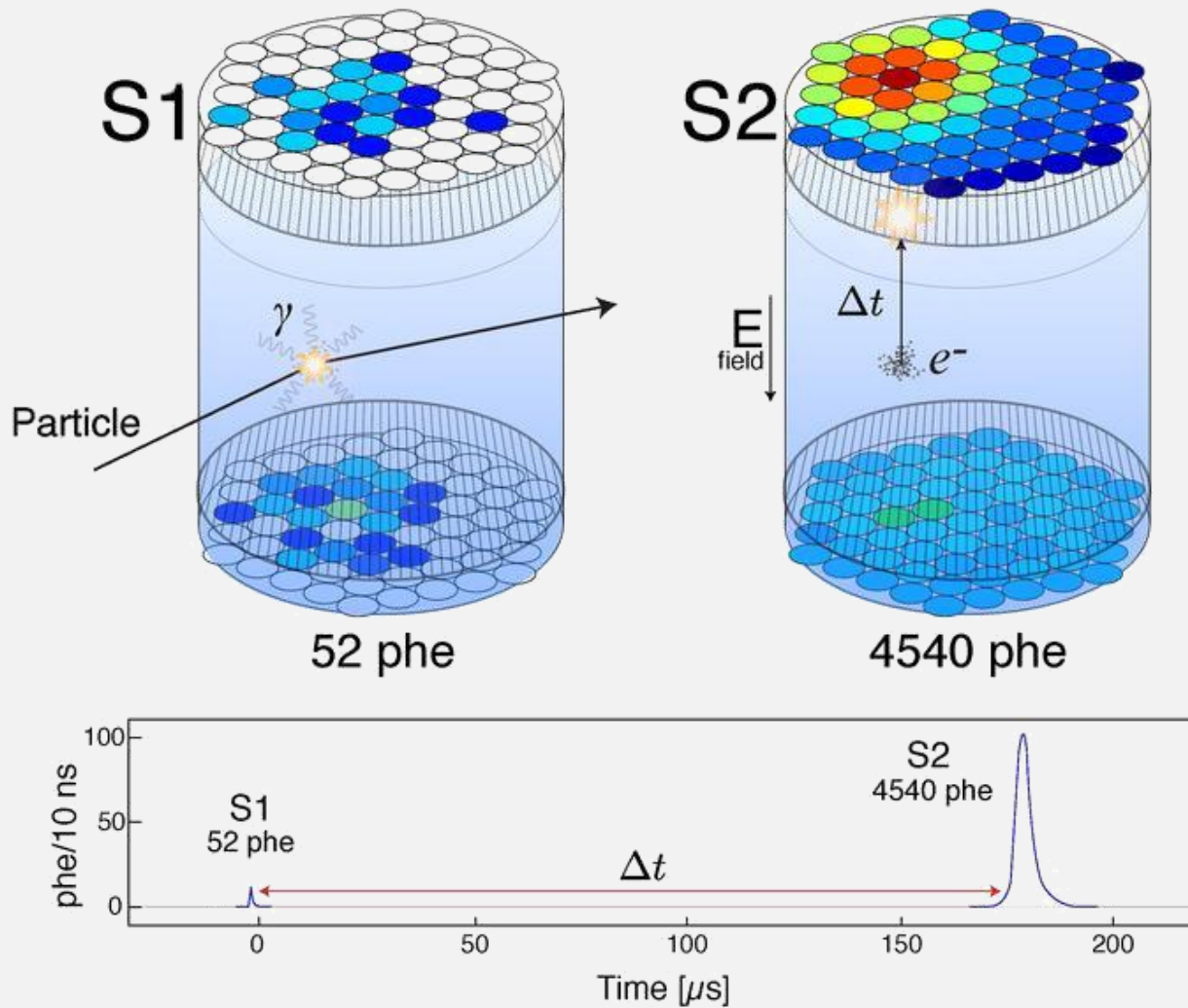


# 4. Suche nach Dunkler Materie LUX, XENON





# 4. Suche nach Dunkler Materie LUX, XENON



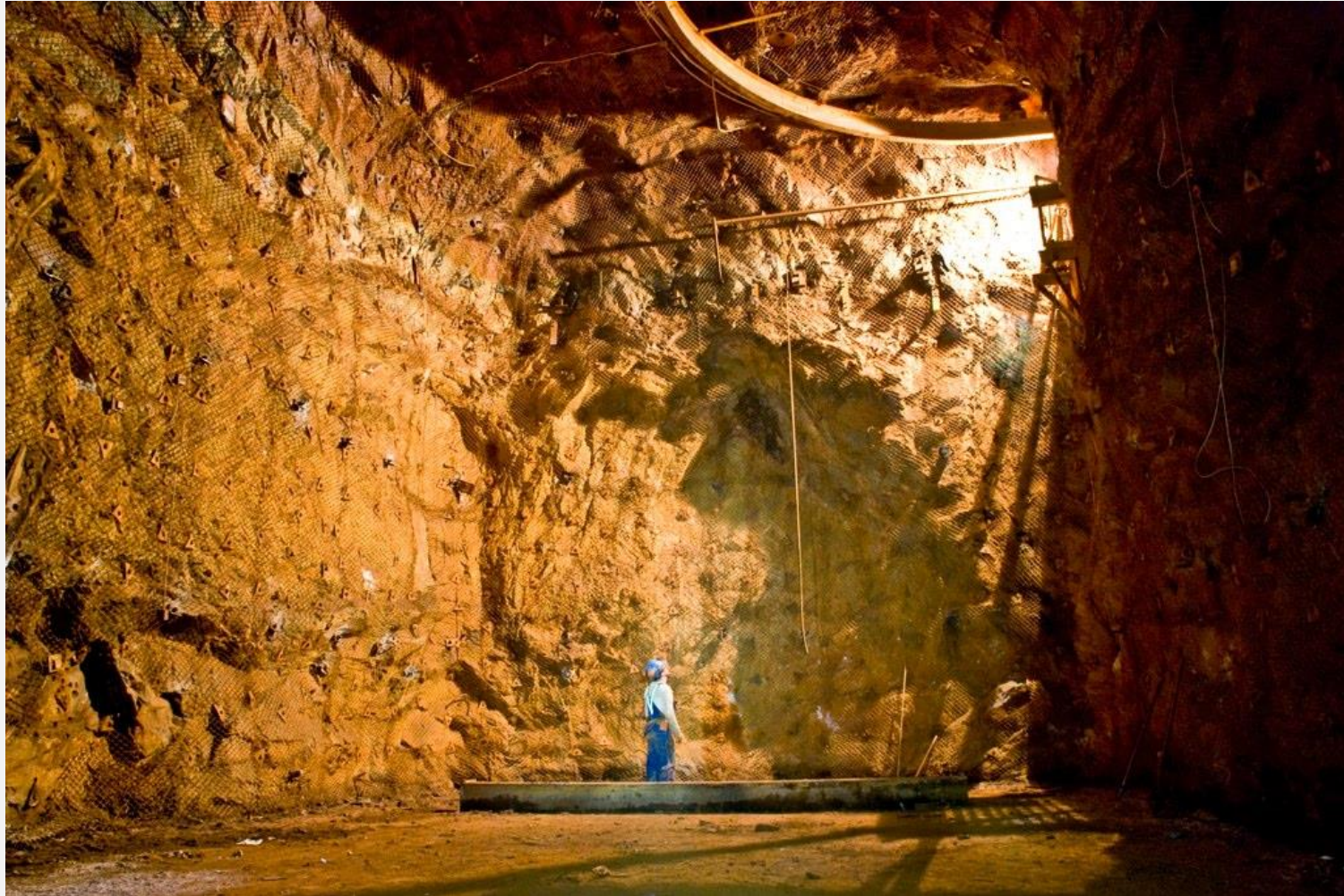
# 4. Suche nach Dunkler Materie

## LUX, XENON

- Wie filtert man DM-Ereignisse heraus?
  - Möglichst wenige Fremdereignisse, Schirmung
  - Elektronen, Photonen ergeben anderes S1/S2-Muster
  - Neutronen können mehrfach stoßen, WIMPS stoßen nur einmal
- Theoretisch Nachweis nun durchführbar, allerdings Wirkungsquerschnitt extrem klein, ca.  $10^{-20}$  b !!!

# 4. Suche nach Dunkler Materie

## LUX

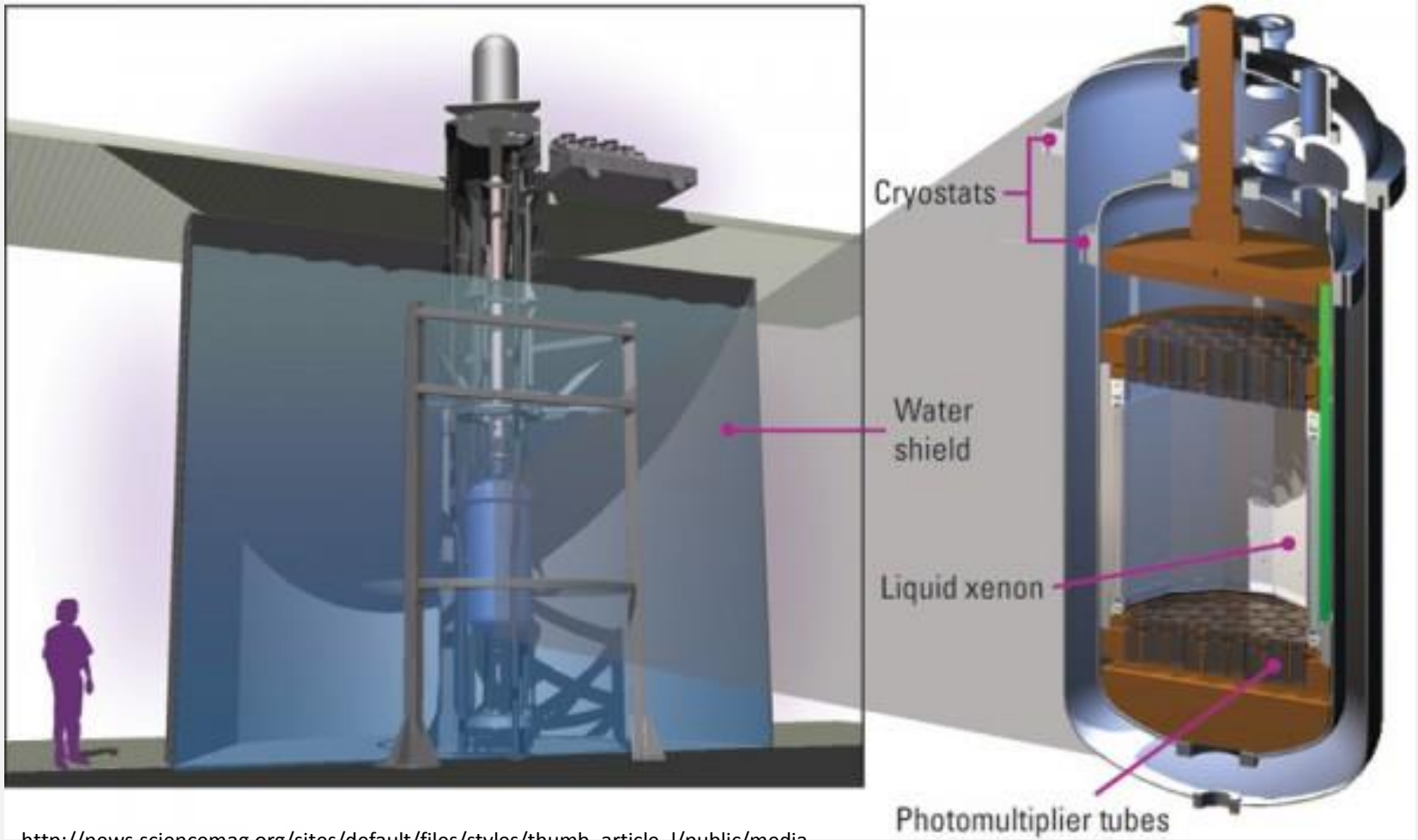


<http://www.indiatimes.com/boyz-toyz/extra-large/large-underground-xenon-lux-dark-matter-detector-finds-nothing-109464.html>



# 4. Suche nach Dunkler Materie

## LUX

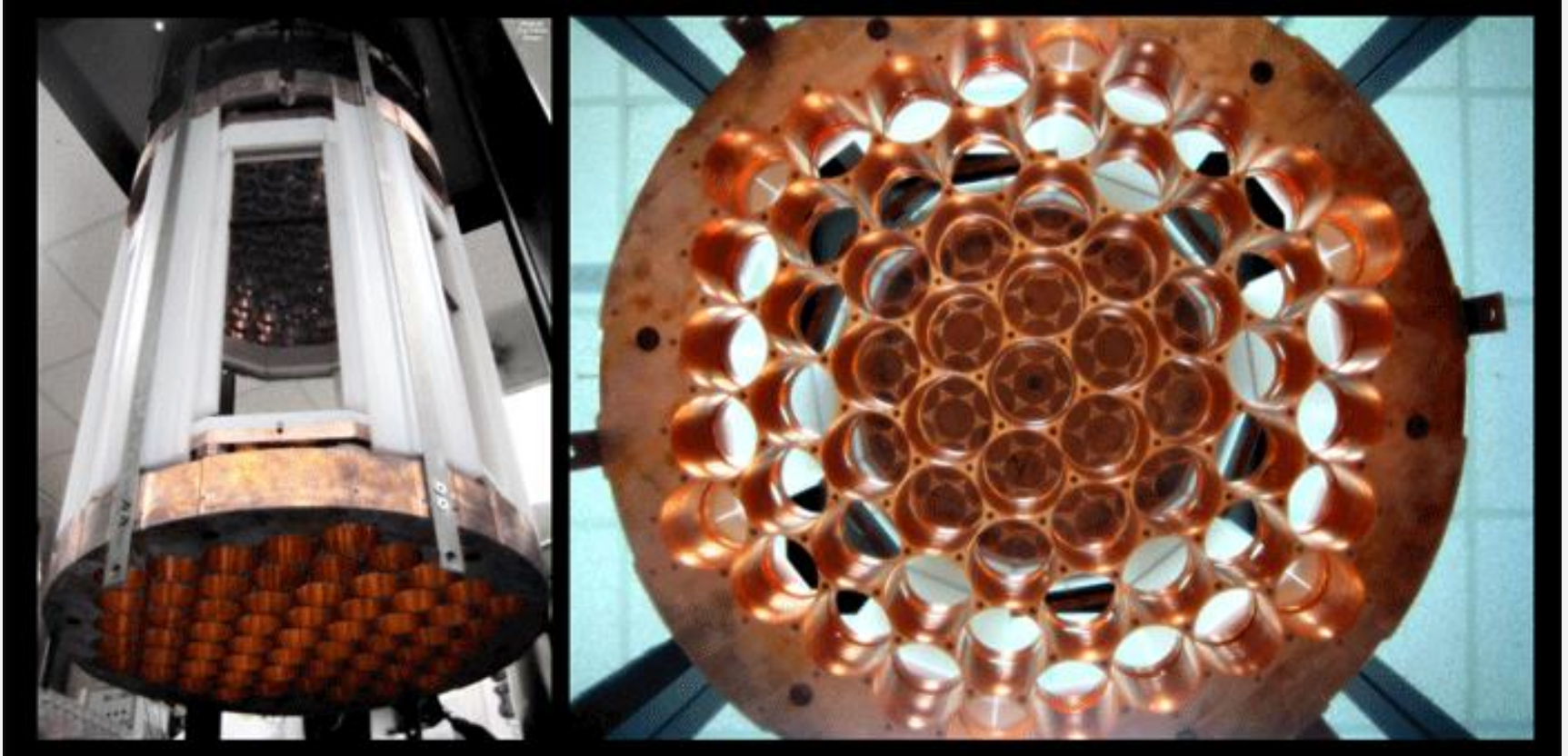


[http://news.sciencemag.org/sites/default/files/styles/thumb\\_article\\_l/public/media/sn-luxresults.jpg?itok=5\\_UUV8in](http://news.sciencemag.org/sites/default/files/styles/thumb_article_l/public/media/sn-luxresults.jpg?itok=5_UUV8in)



# 4. Suche nach Dunkler Materie

## LUX



<http://www.indiatimes.com/boyz-toyz/extra-large/large-underground-xenon-lux-dark-matter-detector-finds-nothing-109464.html>

# 4. Suche nach Dunkler Materie

## XENON



[http://www.physik.uzh.ch/groups/groupbaudis/xenon/p/xenon100\\_group.jpg](http://www.physik.uzh.ch/groups/groupbaudis/xenon/p/xenon100_group.jpg)

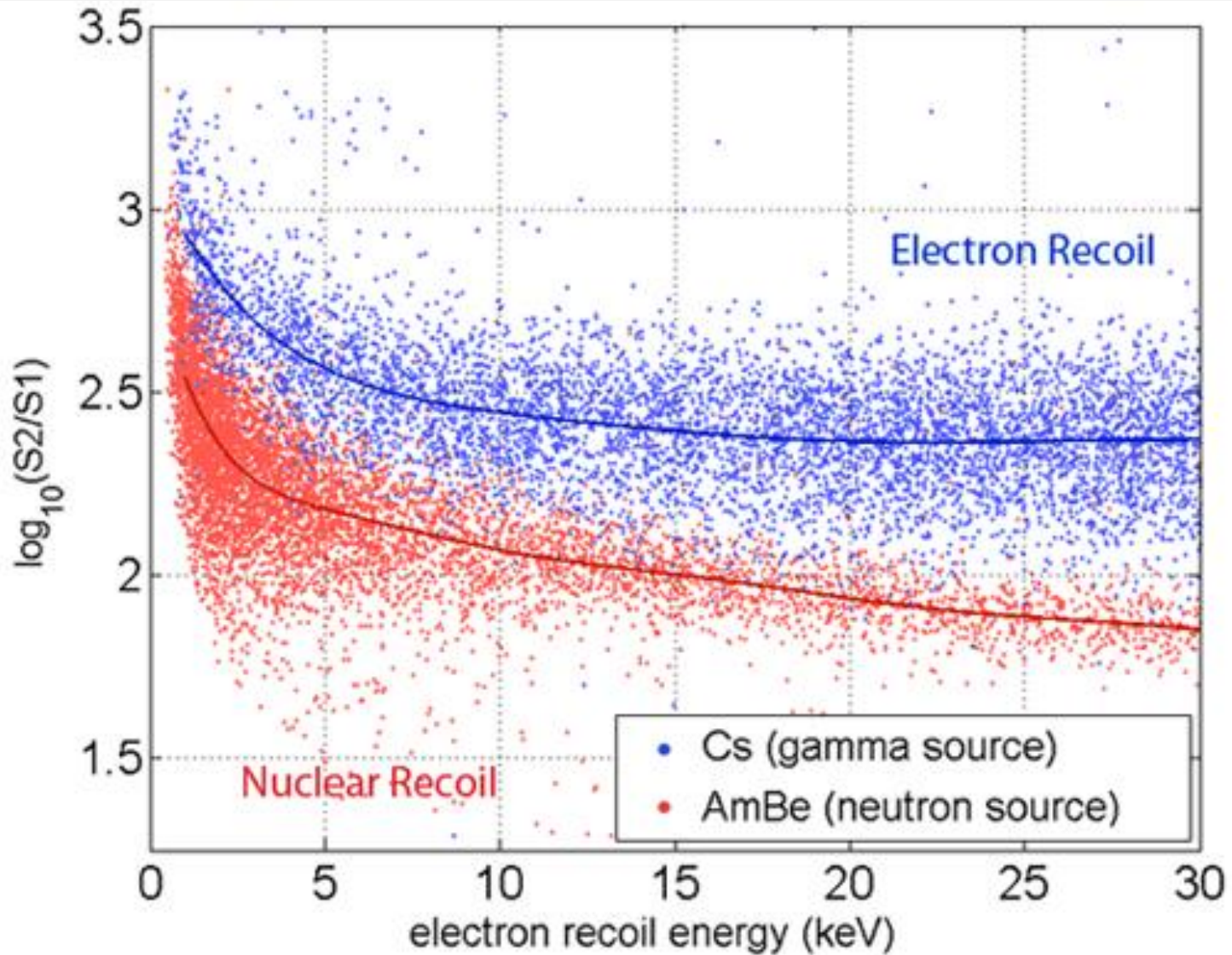


# 4. Suche nach Dunkler Materie

## XENON



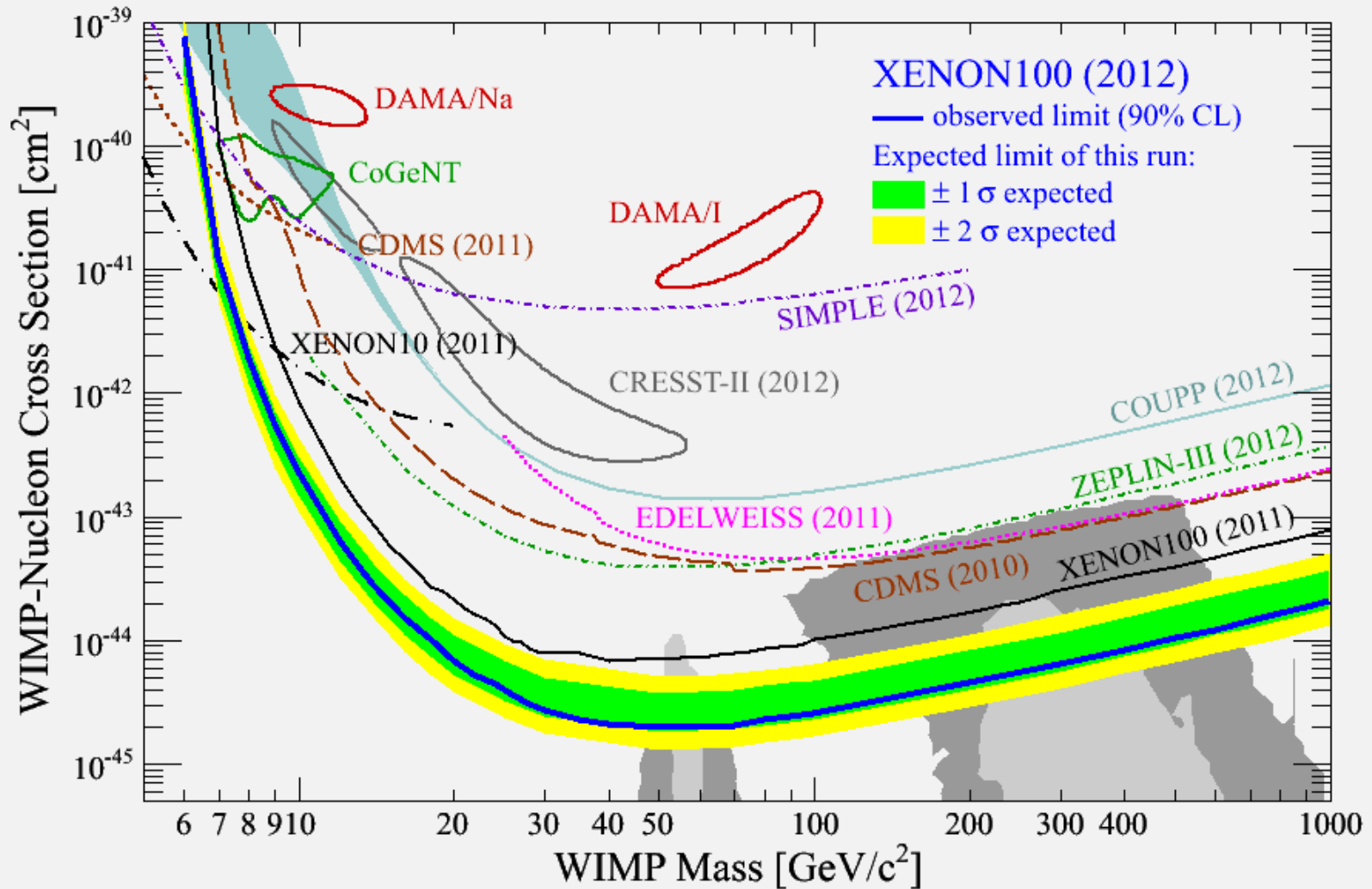
[http://www.physik.uzh.ch/groups/groupbaudis/xenon/p/xenon100\\_group.jpg](http://www.physik.uzh.ch/groups/groupbaudis/xenon/p/xenon100_group.jpg)





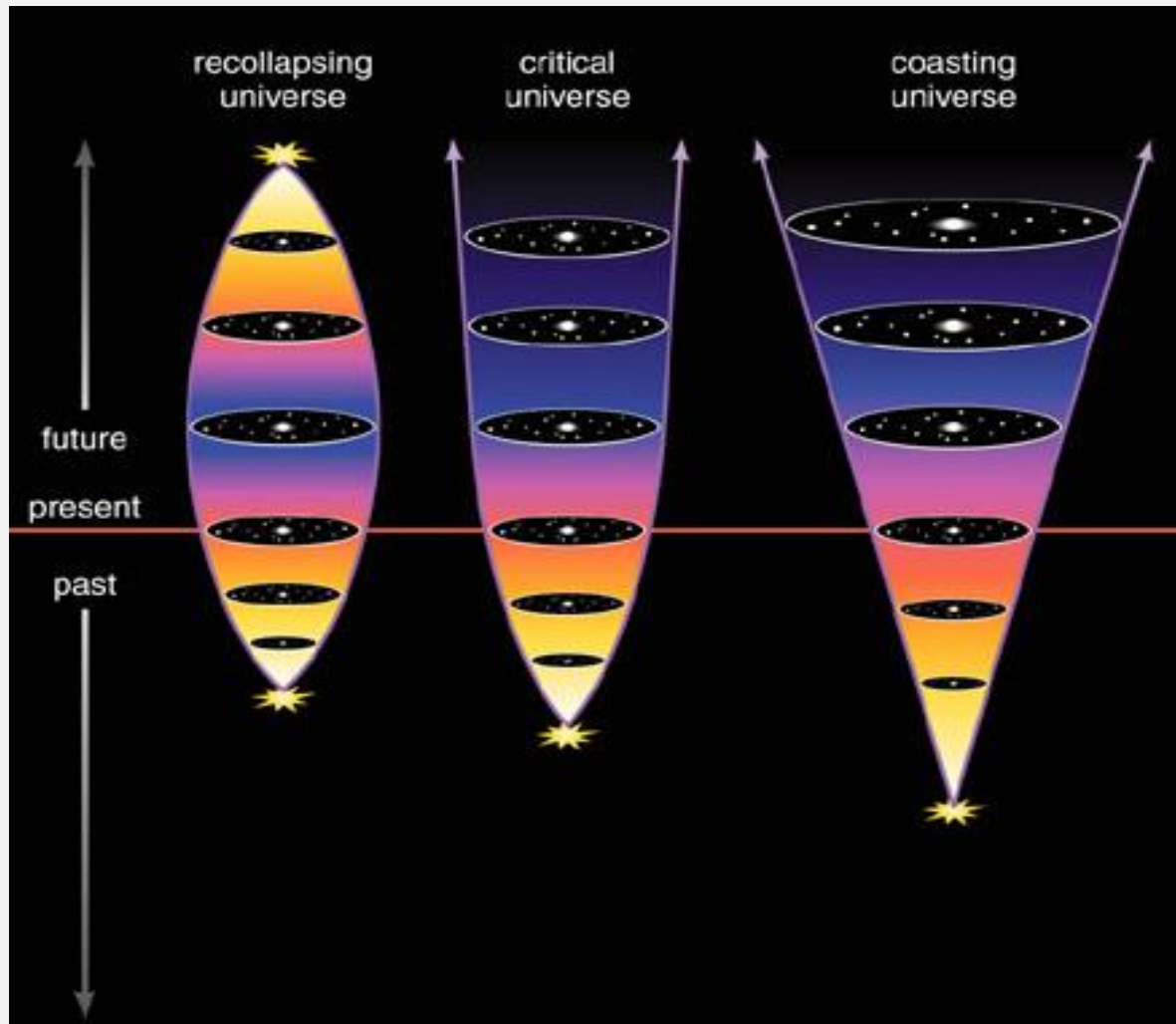
# 4. Suche nach Dunkler Materie

## Ergebnisse



[http://xenon.astro.columbia.edu/images/xenonrun10\\_limit.png](http://xenon.astro.columbia.edu/images/xenonrun10_limit.png)

# 5. Zusammenfassung



Schicksal des Universums hängt von der Menge der Dunklen Materie ab

Viel Dunkle Materie

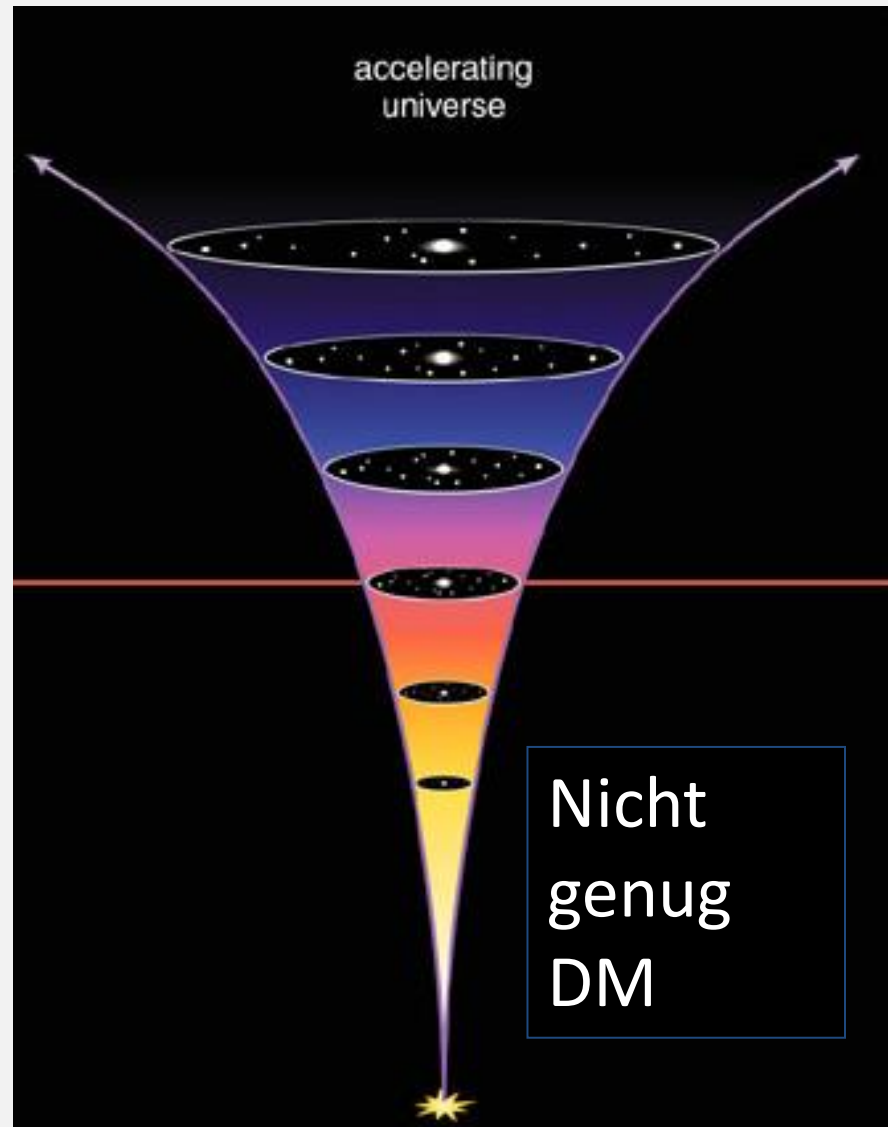
Kritische Dichte

Nicht genug Dunkle Materie

# 5. Zusammenfassung

Scheinbar ist die Ausdehnung des Universums sogar beschleunigt!

Dunkle Energie?



## 5. Zusammenfassung

- Wir wissen nicht, wonach wir genau suchen sollen
- Wir wissen nicht, wie wir danach suchen sollen
- ... und gefunden haben wir auch noch nichts

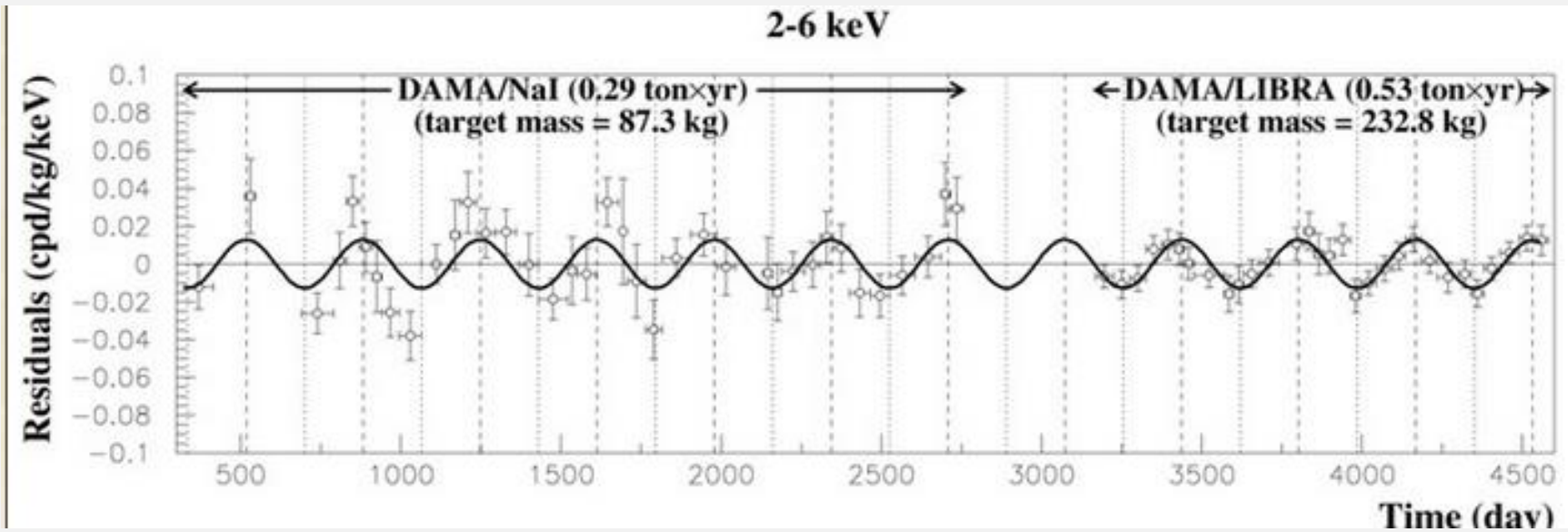


Vielen Dank  
für Eure  
Aufmerksamkeit



# 4. Suche nach Dunkler Materie

## Ergebnisse



Georg Raffelt, Max-Planck-Institut für Physik, München 50-Jahr Feier, MPI Physik, 2.  
Juli 2008, München Geheimnis der dunklen Materie Das Geheimnis der.

