


Vom Elementarteilchen zum Universum

**Verbindungen zwischen den Welten
des ganz Kleinen und
des ganz Großen**

**Werner Hofmann
MPI für Kernphysik
Heidelberg**

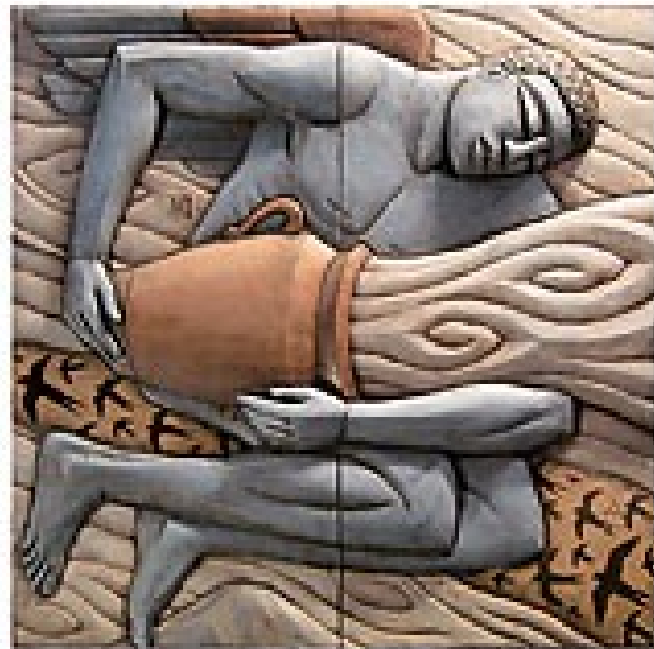




Animationen erfordern spezielle Software
und sind nicht enthalten!

© Roberta Weir





Neue Horizonte der Teilchenphysik: Neutrinos - “Geisterteilchen” - aus der Sonne



**Neue Horizonte der Teilchenphysik:
Neutrinos - "Geisterteilchen" - aus der Sonne**



**Die große Frage:
Woraus besteht der Kosmos
oder
Die dunkle Seite des
Universums**

Reise zum ganz Kleinen





Charm Quark

Top Quark

Strange

Bottom

Die "Starke Kraft" bindet Quarks zu Atomkernen

Die "Elektromagnetische Kraft" bindet Atomkerne zu Atomen
 Kristalle
 Molekülen

"Kraft" in andere
 Neutrinos

My friend - Physikalische up 24. 0393
 Abschrift/15.12.56

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift
 Physikalisches Institut
 der Eidg. Technischen Hochschule
 Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
 Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

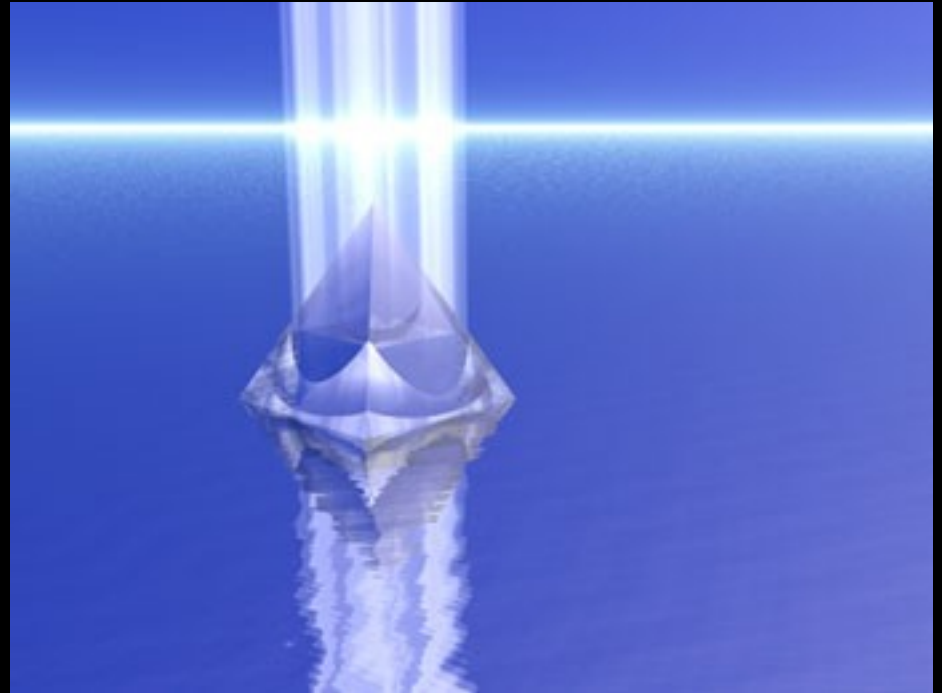
Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich halbvollst anzuhören bitte, Ihnen das näheren auseinanderzusetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N - und $Li-6$ Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzwefelten Ausweg verfallen um den "Wechselatz" (1) der Statistik und den Energienatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in dem Iernan existieren.

Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unabkömmlich bin.

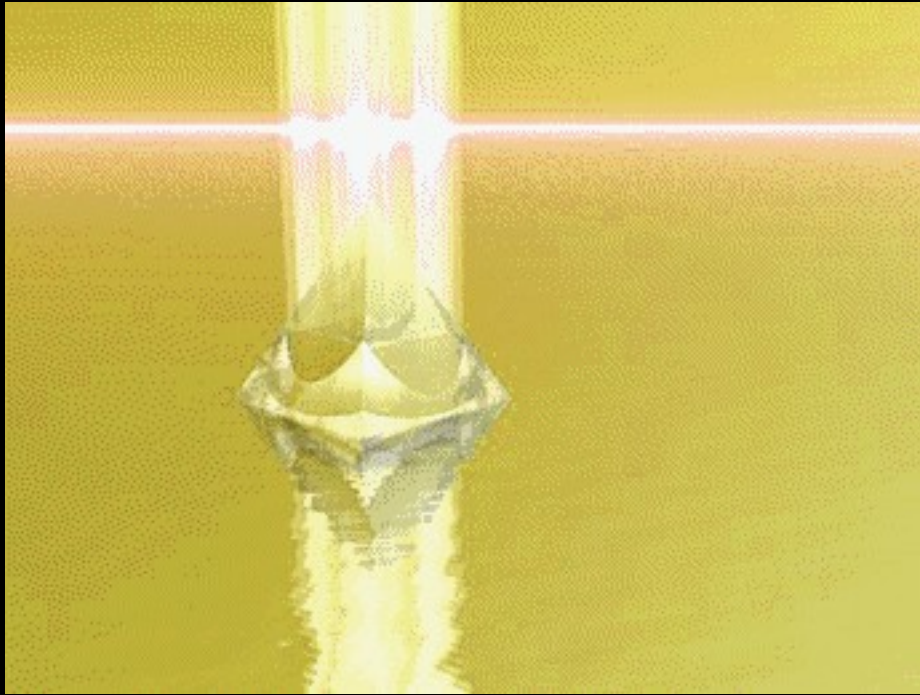
Mit vielen Grüßen an Euch,
 Euer untertänigster Diener,

W. Pauli

Eichkräfte: Eleganz der Naturgesetze



Kräfte folgen aus
Invarianz der
Naturgesetze
unter Transformationen



Eichtransformationen:
Transformationen
interner Freiheitsgrade

Kräfte ergeben sich aus
Invarianz unter "lokalen"
Eichtransformationen



aber ...

0.00051099892
0.105658369
1.77699
0.006
0.003
0.110
1.290
4.206
177.900
137.03599911
0.118
0.0000116637
91.1876
0.2243
0.0413
0.0037
1.05
...



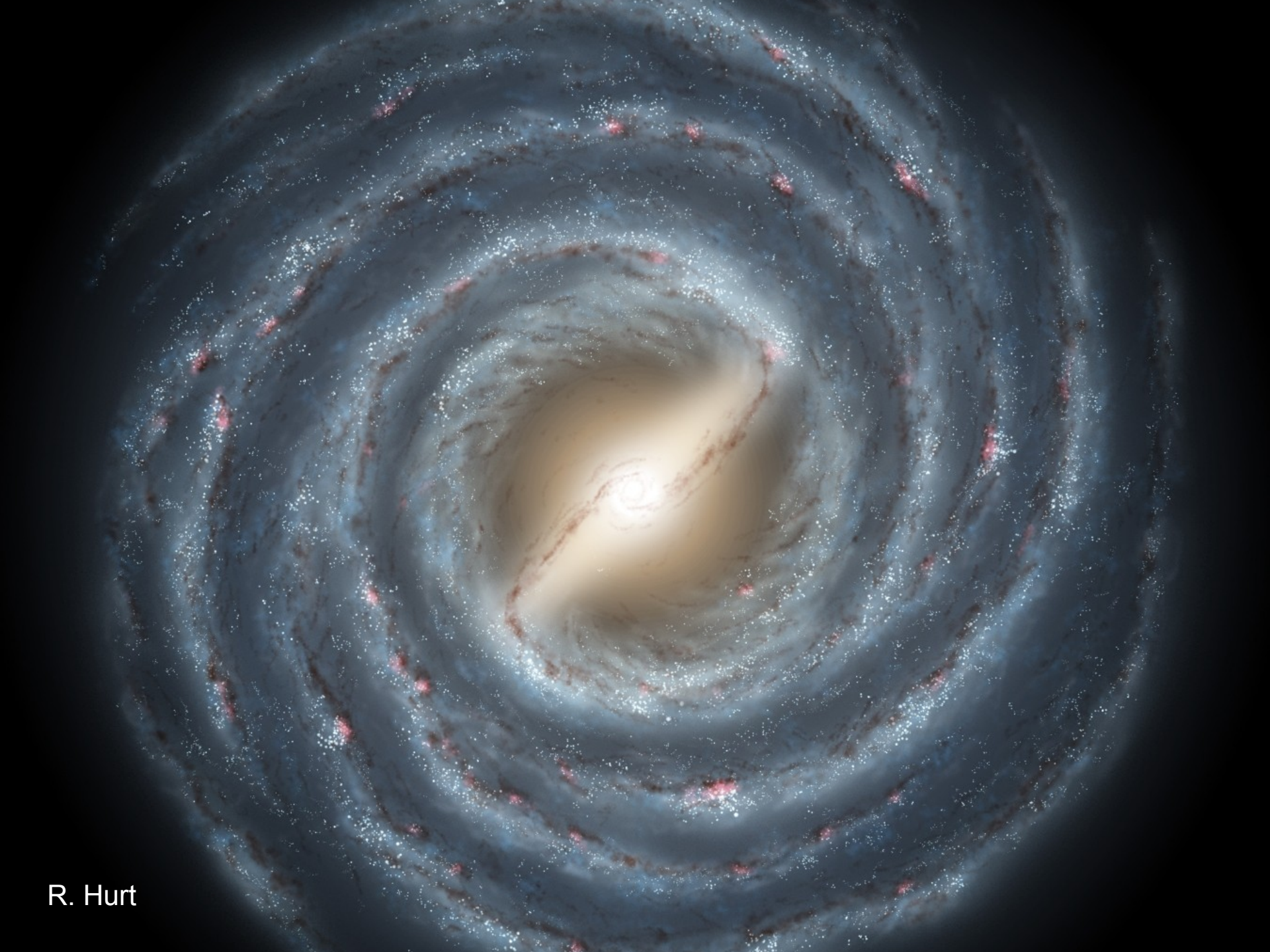


Abhilfe:
antropisches Prinzip ?

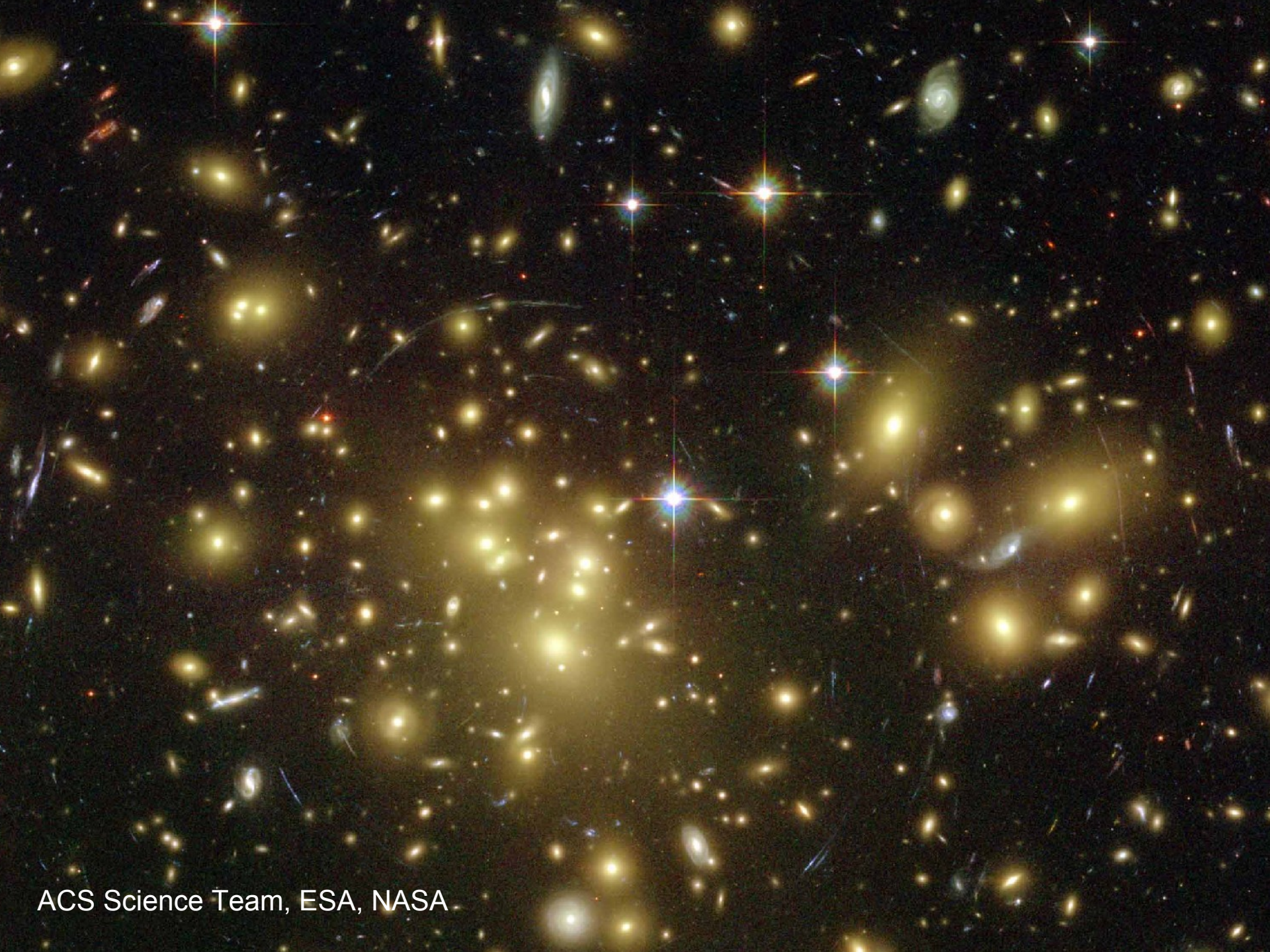
from M. Tegmark

**... zum
ganz Großen**



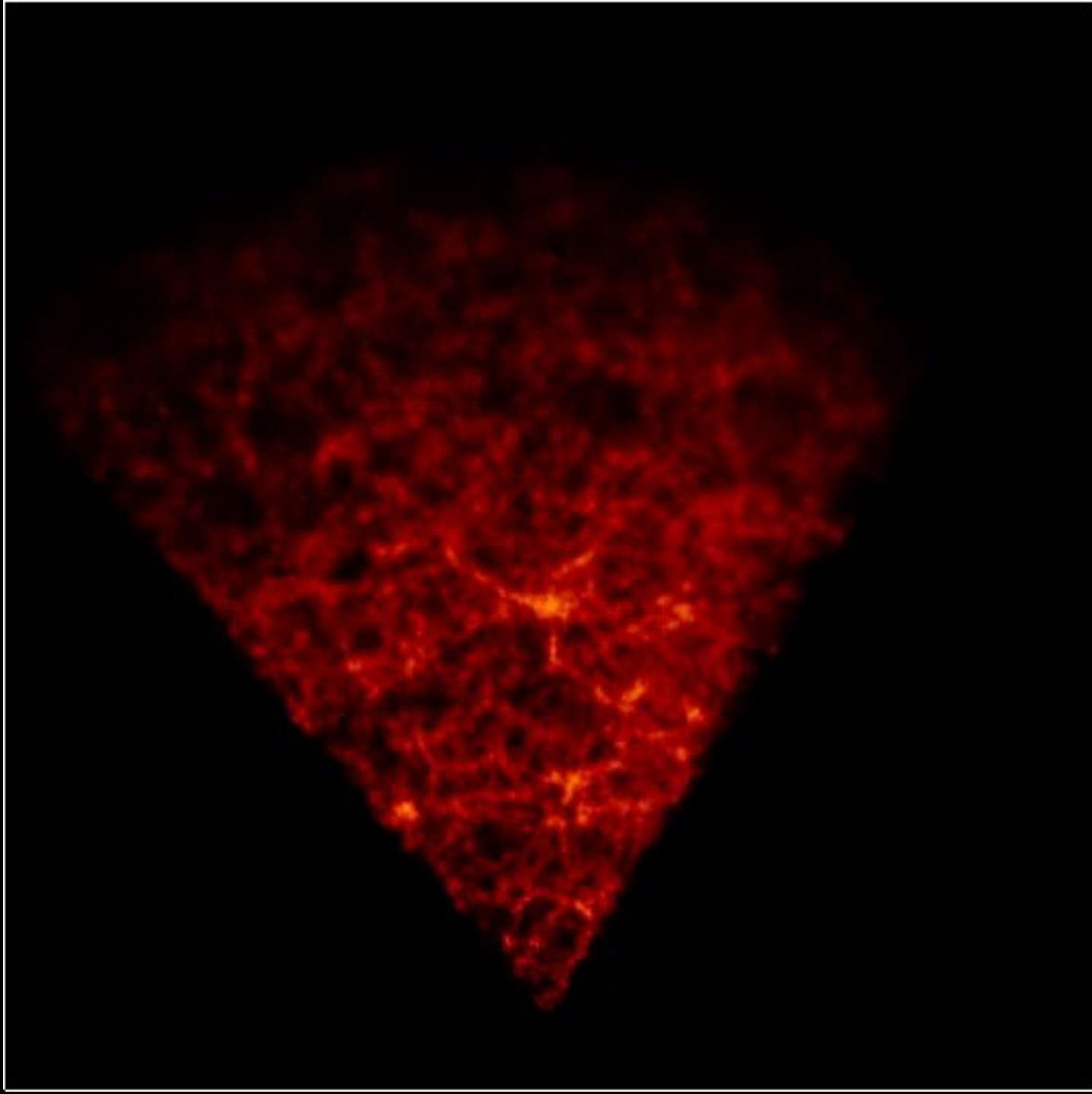


R. Hurt



ACS Science Team, ESA, NASA

2dF
Survey



Expansion des Universums

Expansionsgeschwindigkeit: ca. 70 km/s / Mpc (Hubble-Parameter)

durch die Expansion des Universums würden wir alle etwa einen Atomdurchmesser pro Jahr wachsen, wenn nicht ...

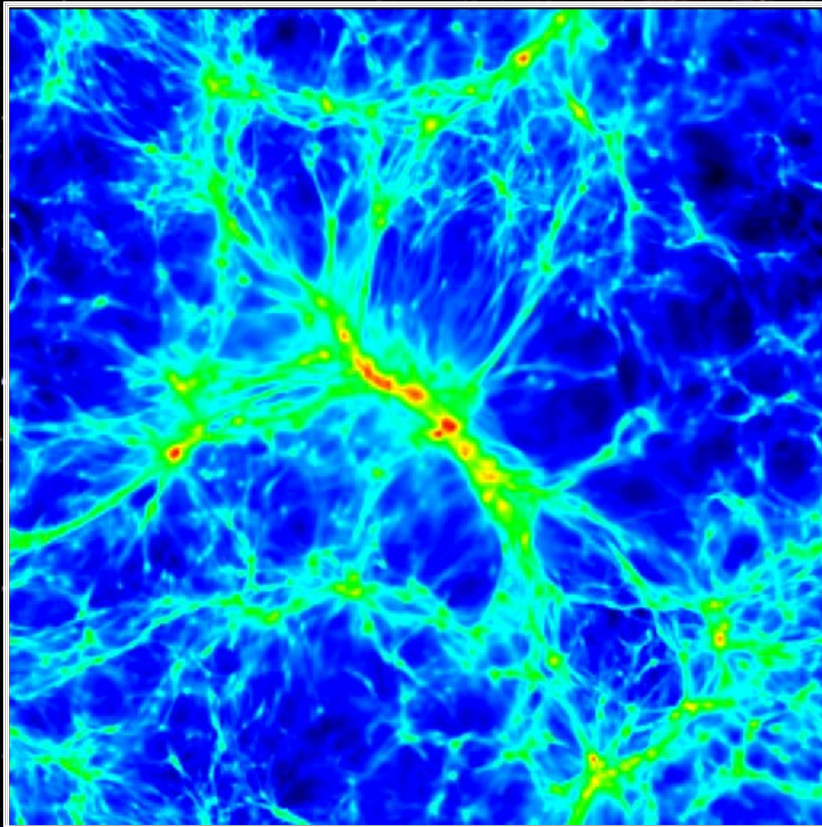


**... zurück
zum Anfang**



- (lange) vor der ersten Sekunde:
Protonen und Neutronen entstehen
- in der ersten Minuten:
die Elemente entstehen
- nach einigen 100000 Jahren:
Atome entstehen

Entstehung der Strukturen



- Nach etlichen 100 Millionen Jahren: Die Gravitationskraft gewinnt den Kampf gegen die Expansion des Universums ...
... aber ...

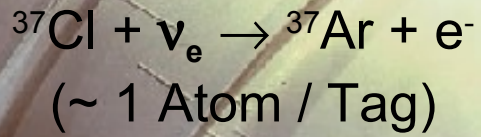
**Ein erster Blick
hinter die Kulissen des “Standardmodells”:
Neutrinos aus der Sonne**



2002: Davis & Koshiba

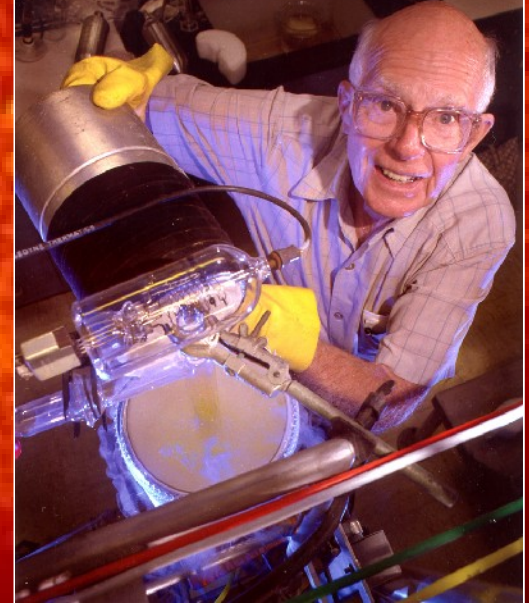
$\sim 10000000000000000000000 \nu/\text{Tag}$

ν_e



100000 Gallonen
Tetrachlorethen
... in Mine, 1500 m tief

Ray Davis



Target: 50000 t Wasser
40 m Ø, 40 m Höhe
1000 m tief in Kamioka Mine
11200 Photomultiplier

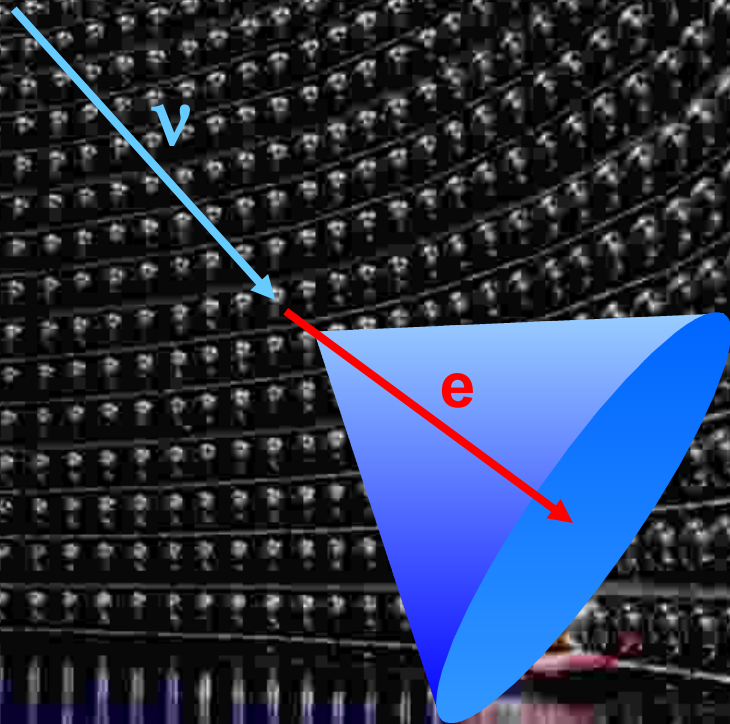
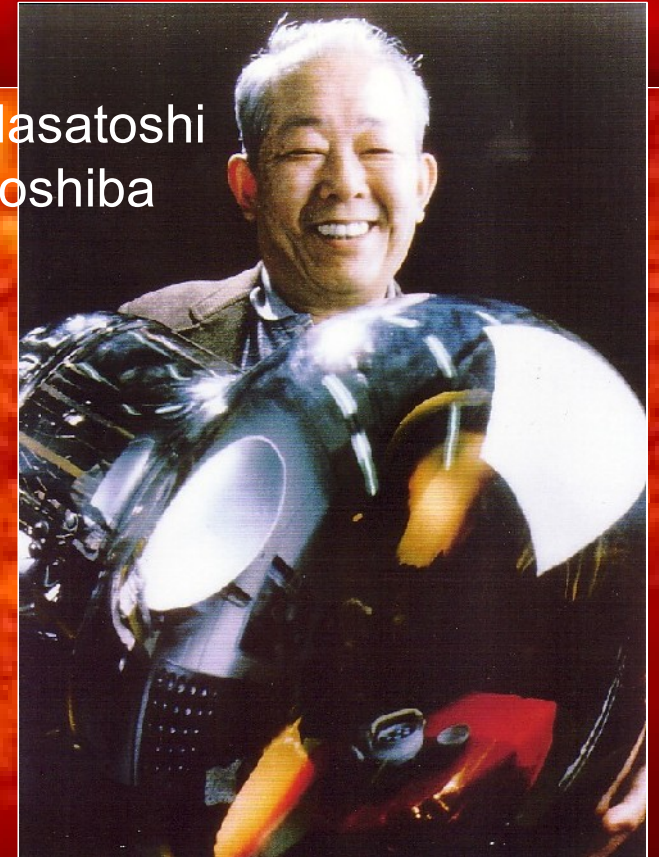


Bild der Sonne im Neutrinolicht



Masatoshi
Koshiwa

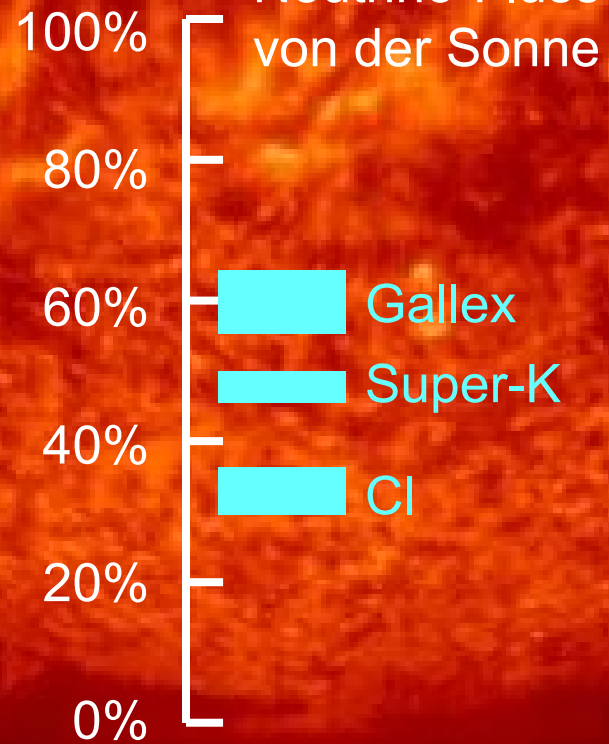
Ray Davis



Super-K (Koshiwa)



Neutrino-Fluss
von der Sonne



Neutrino-Oszillationen ?



Elektron-Neutrino:
induziert $^{37}\text{Cl} \rightarrow \text{Ar}$



Myon-Neutrino:
in radiochemischen Experimenten
nicht sichtbar!

► **Neutrinos haben eine Masse!**

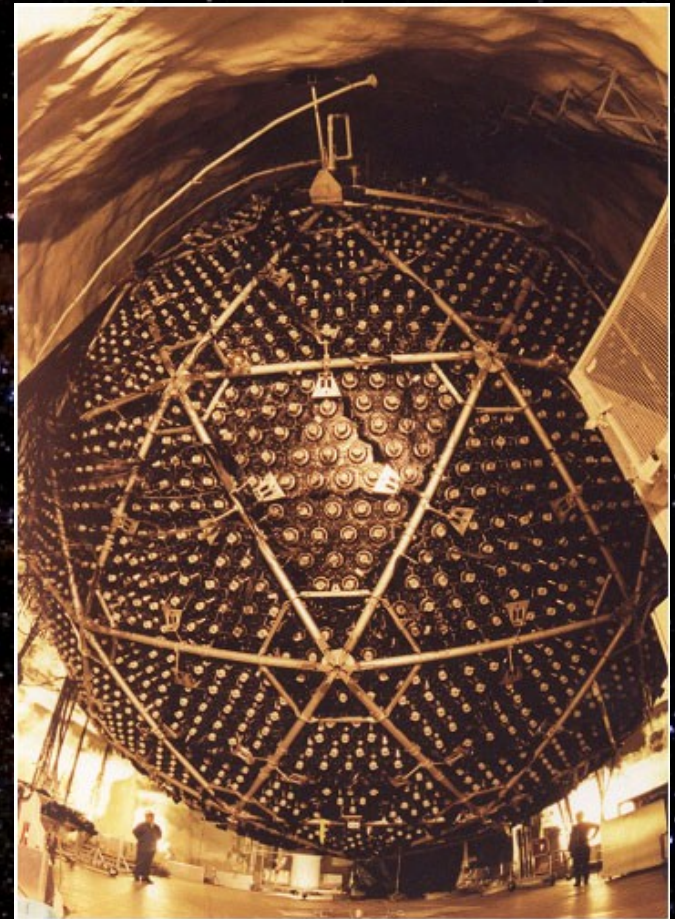
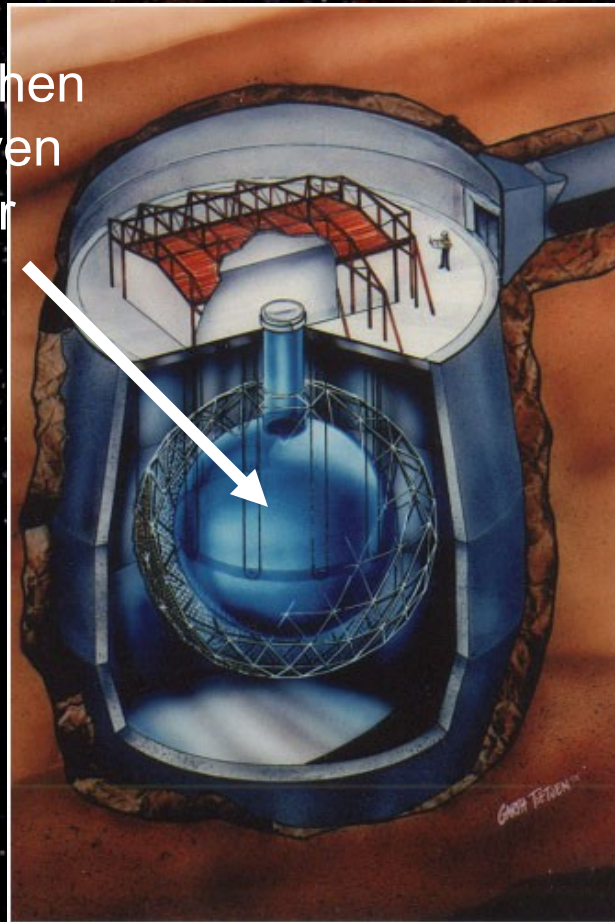
Neutrino-Oszillationen ?

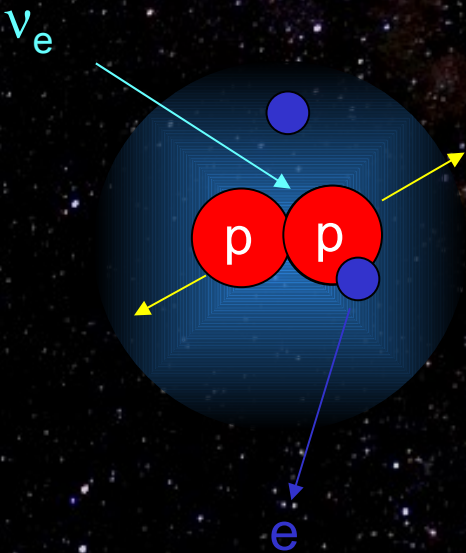


Ein Teil der kanadischen strategischen Reserven an schwerem Wasser (D_2O)

Wert: 300 Millionen \$

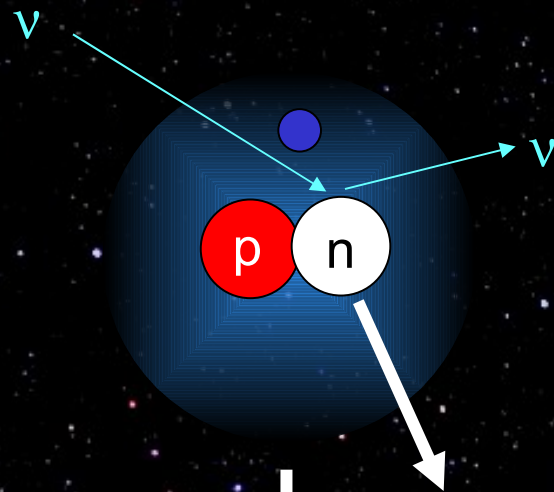
**SNO:
Sudbury
Neutrino
Observatory**





Reaktion zählt nur ν_e

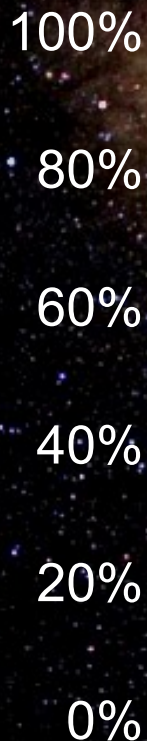
Deuterium-Atome im SNO Tank



Neutrino-Fluss von der Sonne



Reaktion zählt alle ν



Neutrinos wandeln sich auf dem Weg von der Sonne zur Erde um !



Neutrino-Oszillationen

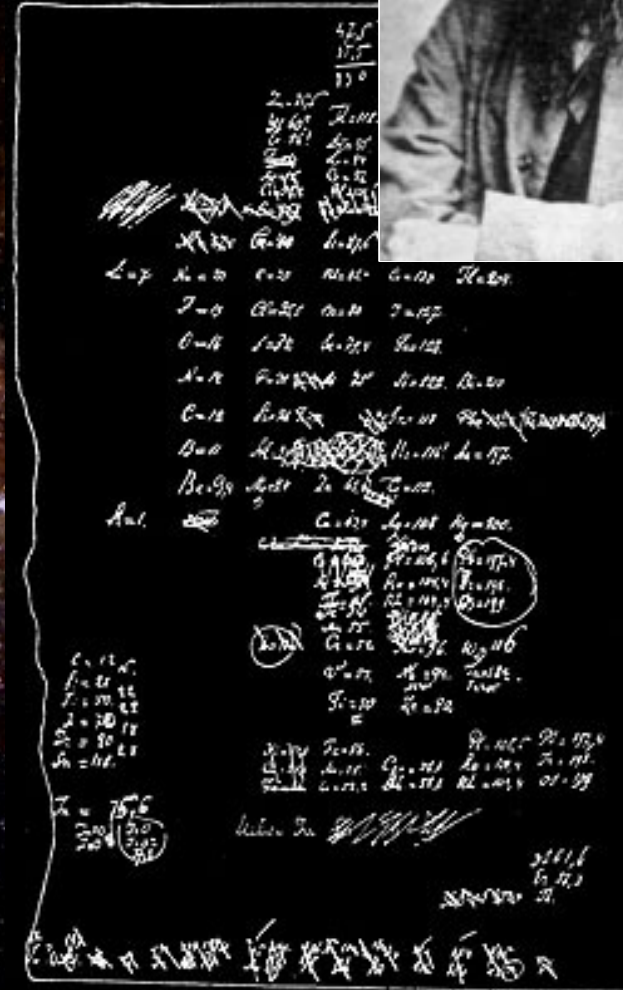


Neutrino-Oszillationen leichtgemacht



Warum ist das so aufregend ?

sieben weitere {unverstandene}
Zahlen, welche die Beziehung
der drei Teilchengenerationen
charakterisieren ...



Warum ist das so aufregend ?

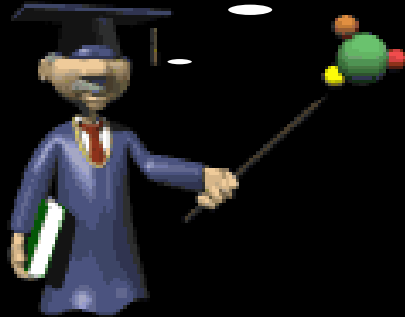
The Cosmic Connection

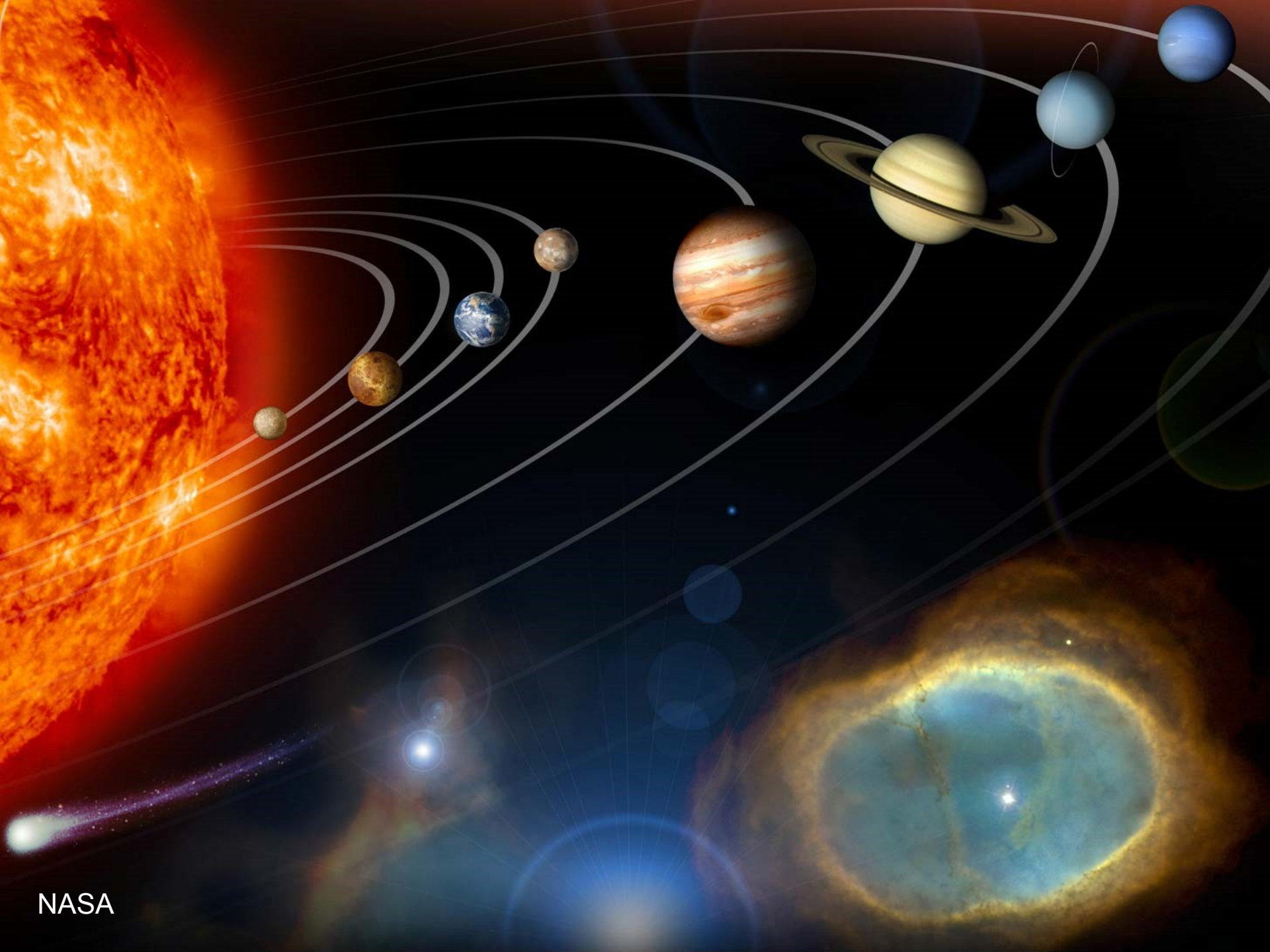
Symmetrie
zwischen
Materie
und Antimaterie

Sphaleron!

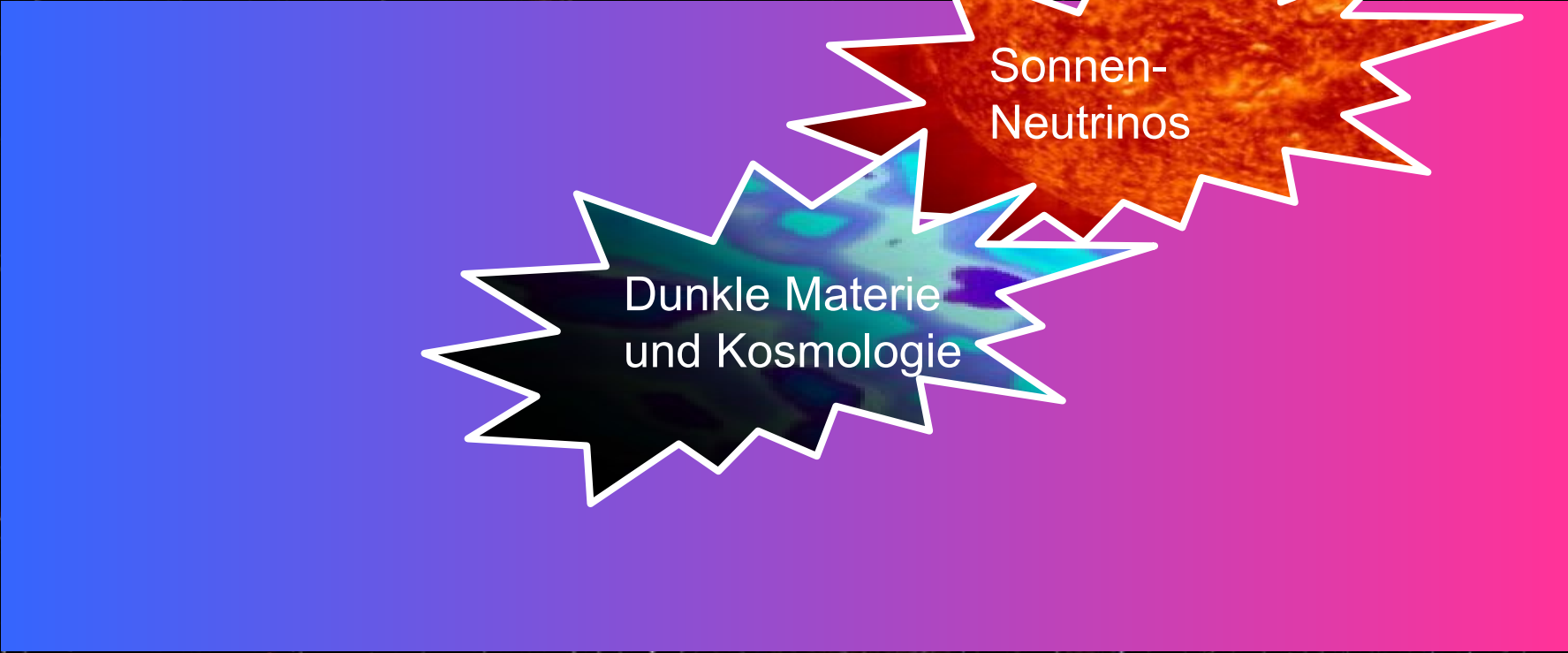
Materie-dominiertes
Universum

- Neutrinos haben eine Masse
- Die Zahl der Elektronen ist keine Erhaltungsgröße
- ▶ Verletzung der Materie-Antimaterie-Symmetrie (falls es mindestens 3 Neutrino-Generationen gibt)
- ▶ Materie-Überschuss (Leptogenese)





NASA

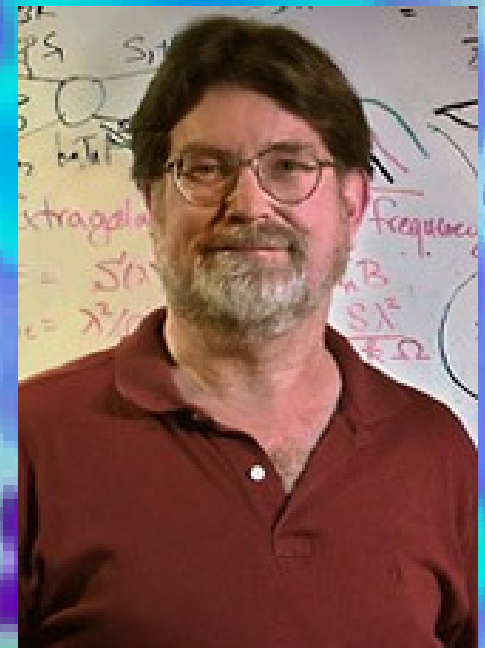
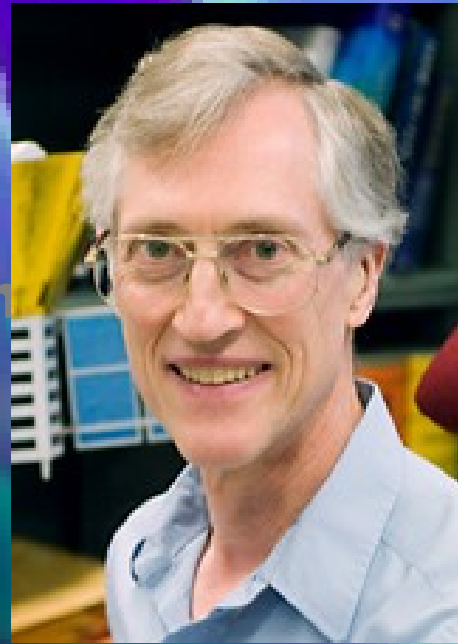


Teilchenphysik

Astroteilchenphysik

Astrophysik

Eine Erfolgs-Story: Neutrinos aus der Sonne



**Die große Frage:
Woraus besteht der Kosmos
oder
Die dunkle Seite des
Universums**

2006: Smoot & Mather

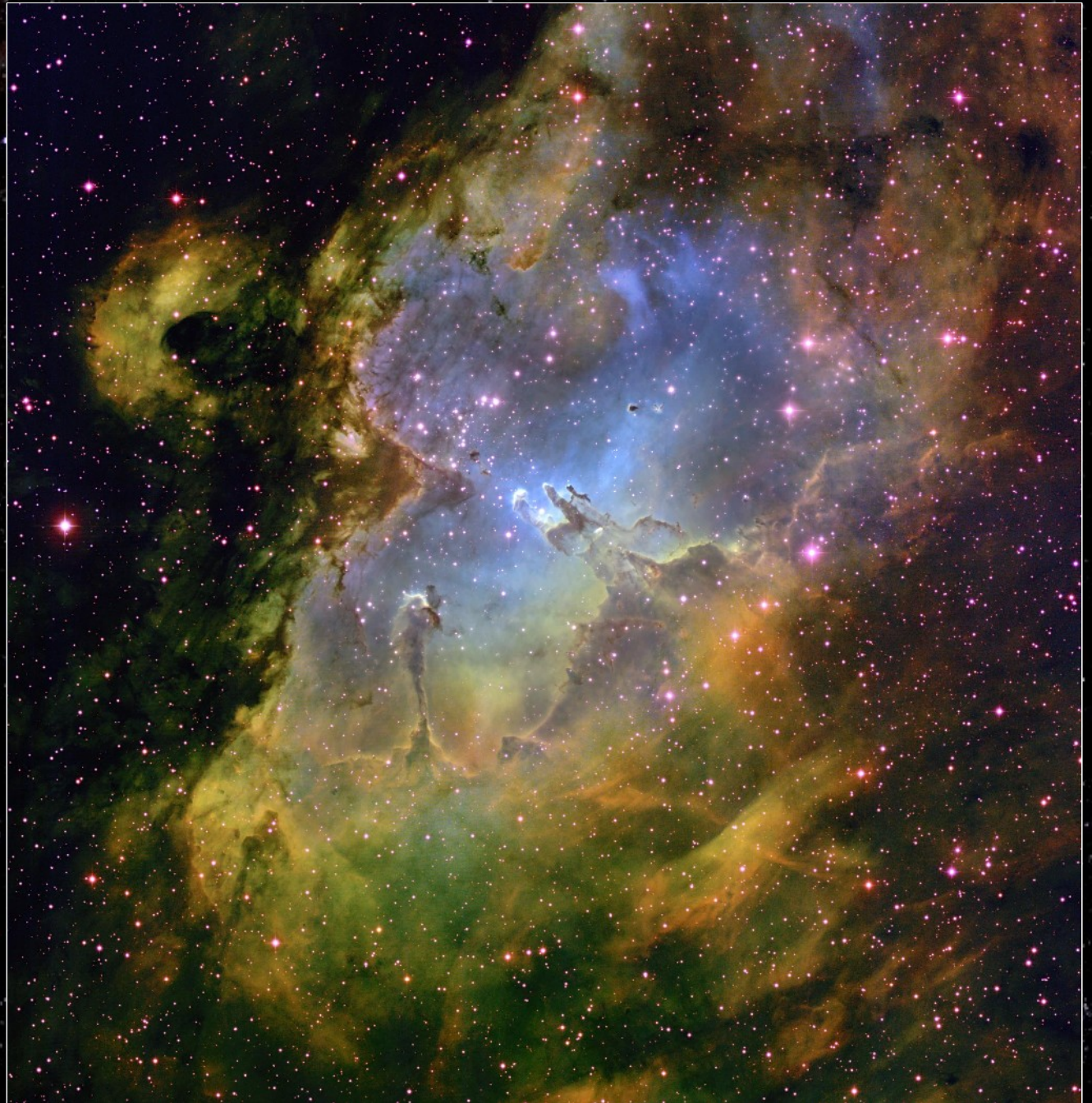
Sagittarius
Region

Hubble
Space
Telescope

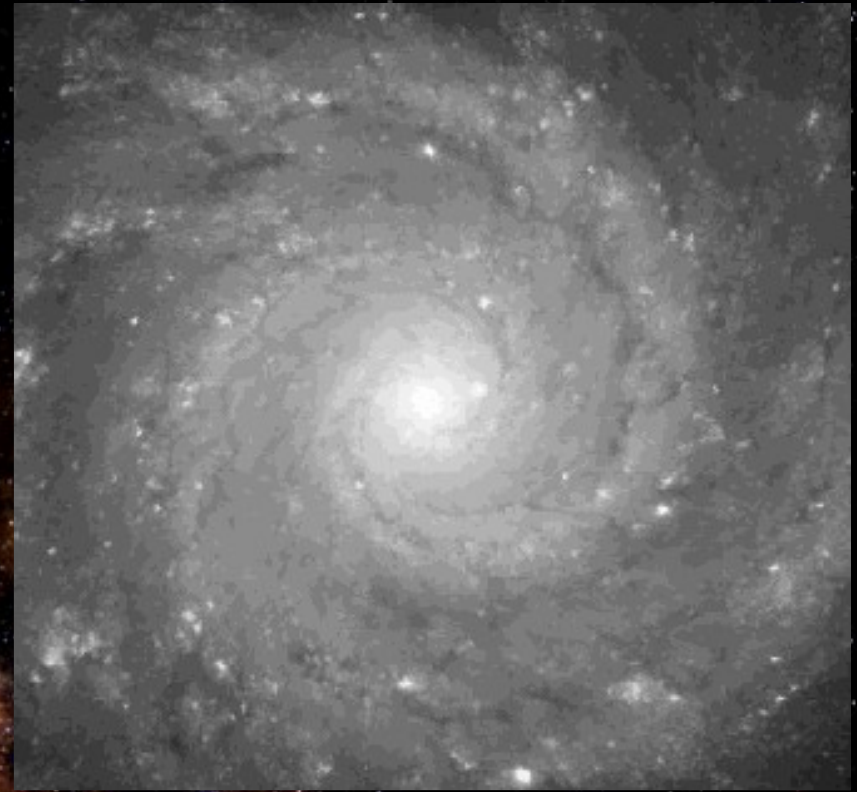
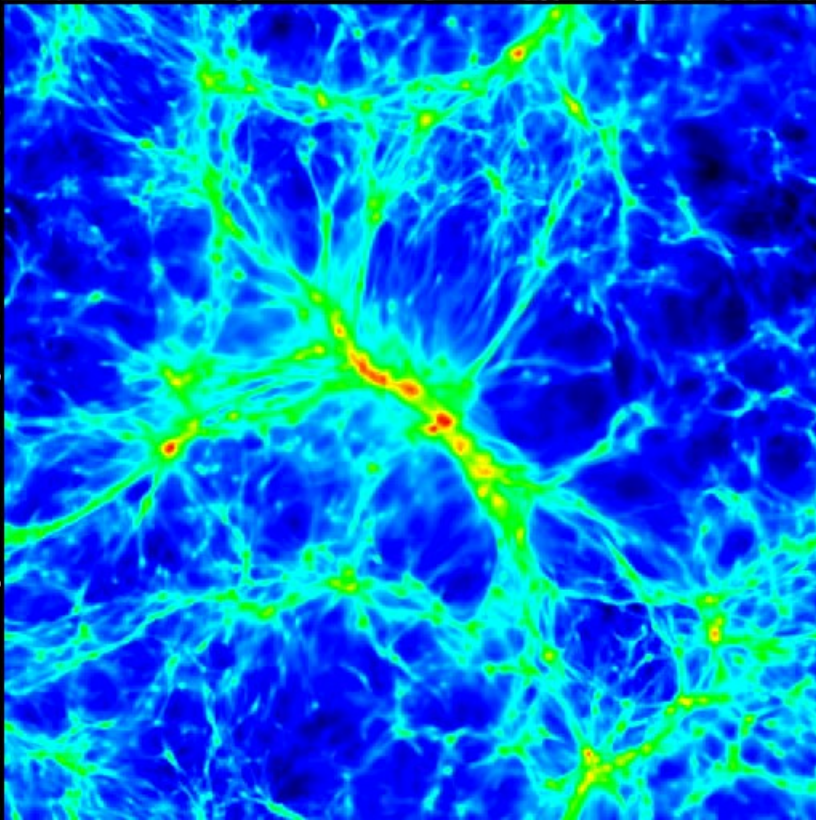


Eagle Nebula

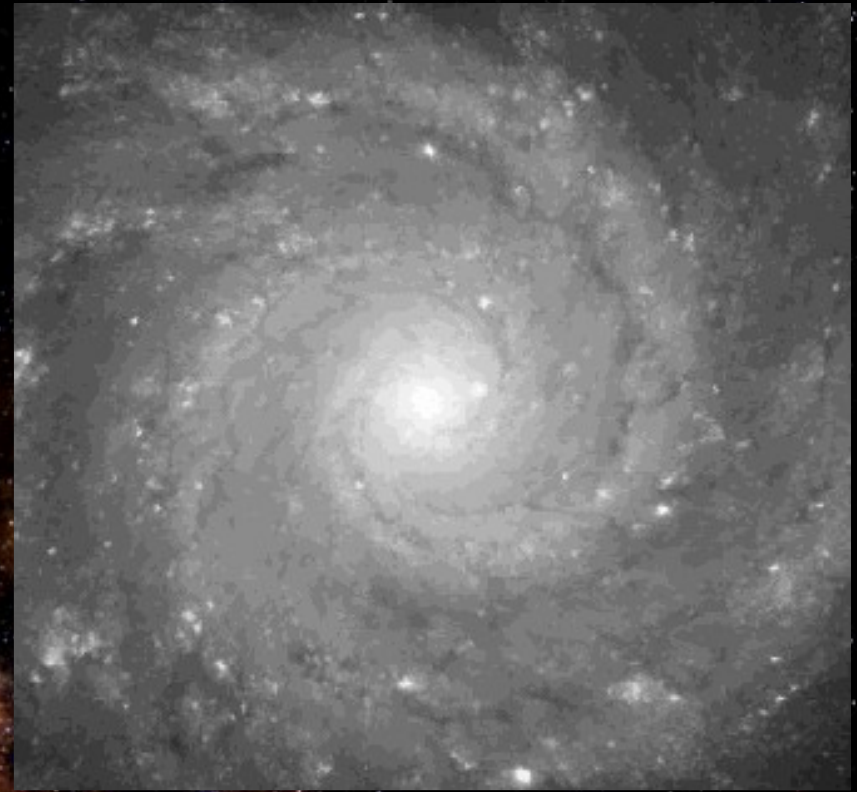
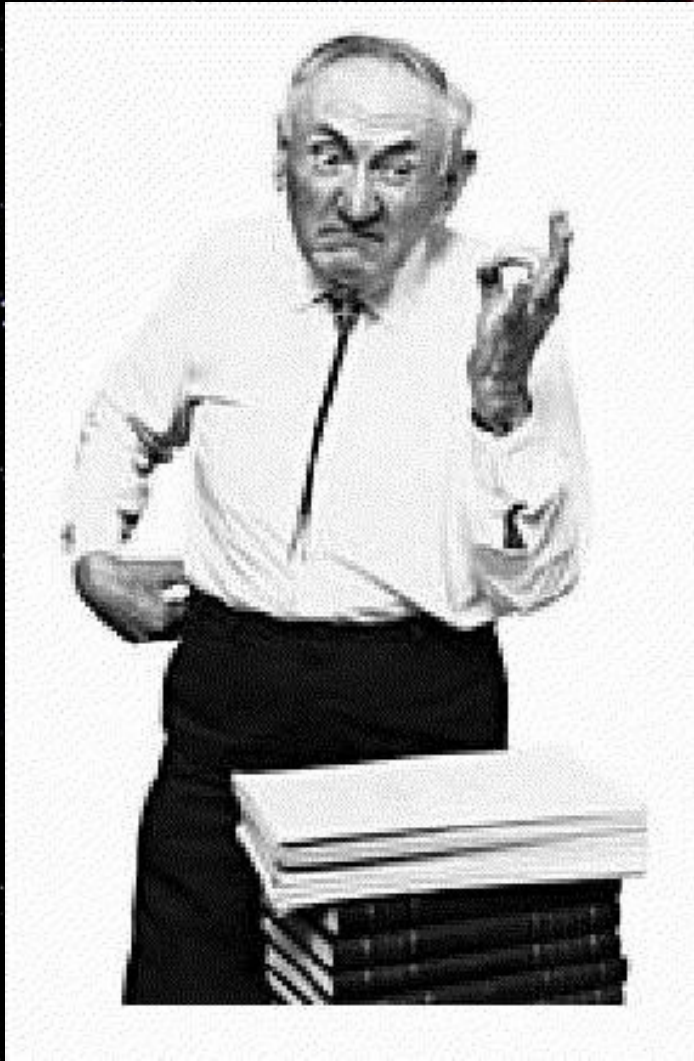
T.A. Rector &
B.A. Wolpa
NOAO



**das Universum muss
aber noch mehr
Materie enthalten...**

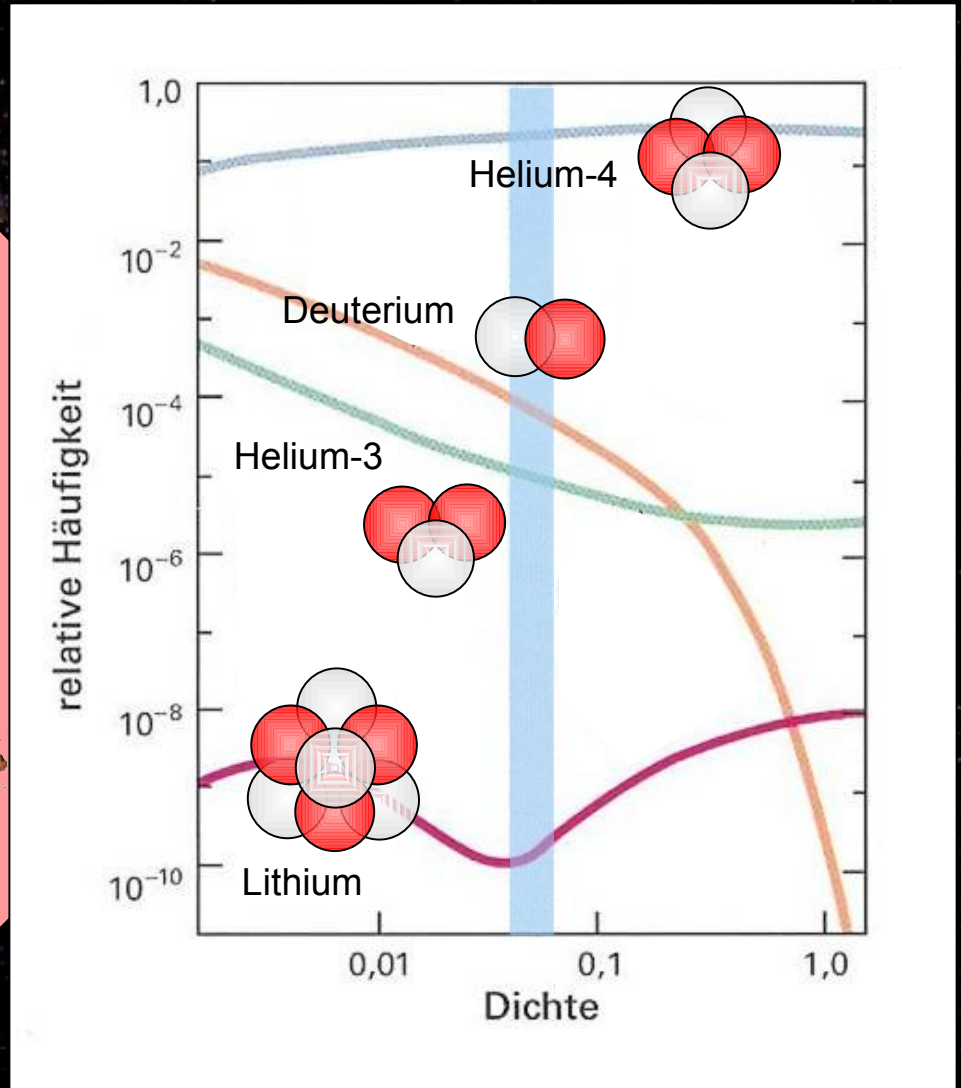
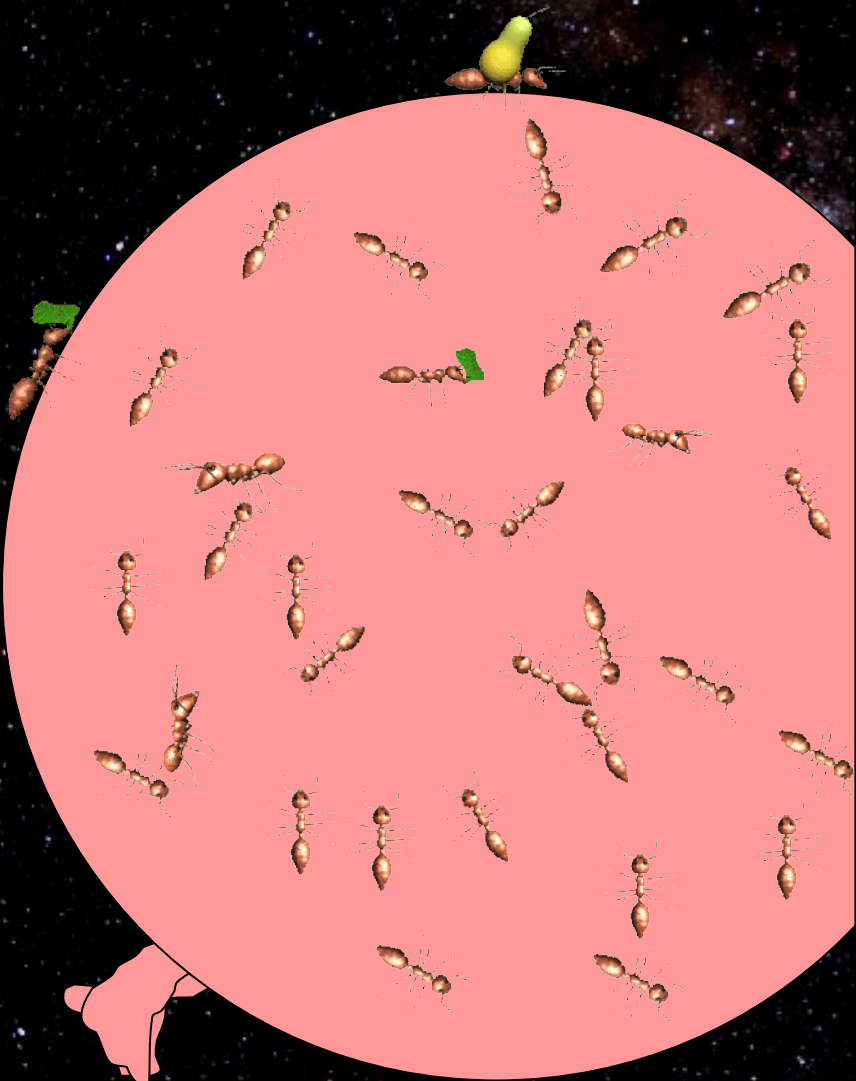
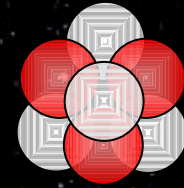


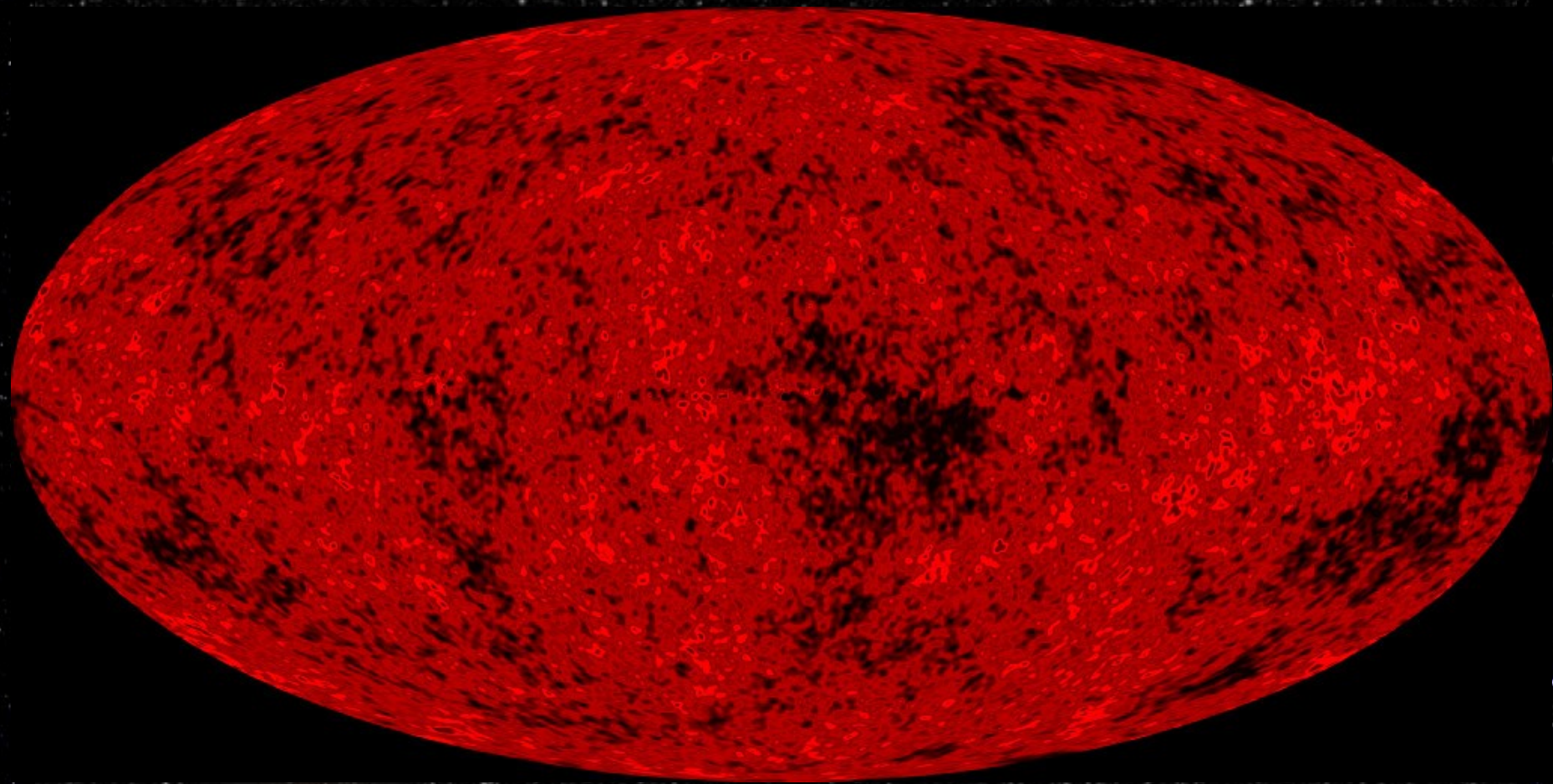
**das Universum muss
aber noch mehr
Materie enthalten...**



- ▶ **Dunkle Materie**
- ▶ ist nicht sichtbar
- ▶ besteht nicht aus Quarks und Elektronen

Einige Minuten nach dem Urknall – die Entstehung der Elemente





WMAP

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (NASA)



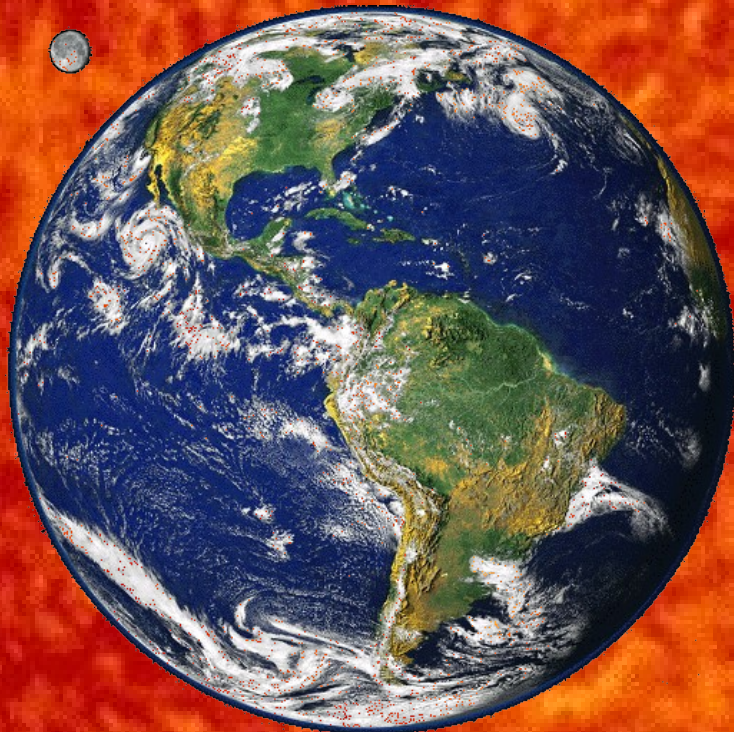


SN 1987 A

explodierte vor
50000 Jahren!



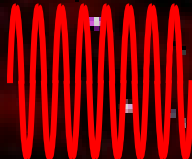
Andromeda
vor 2 Millionen Jahren



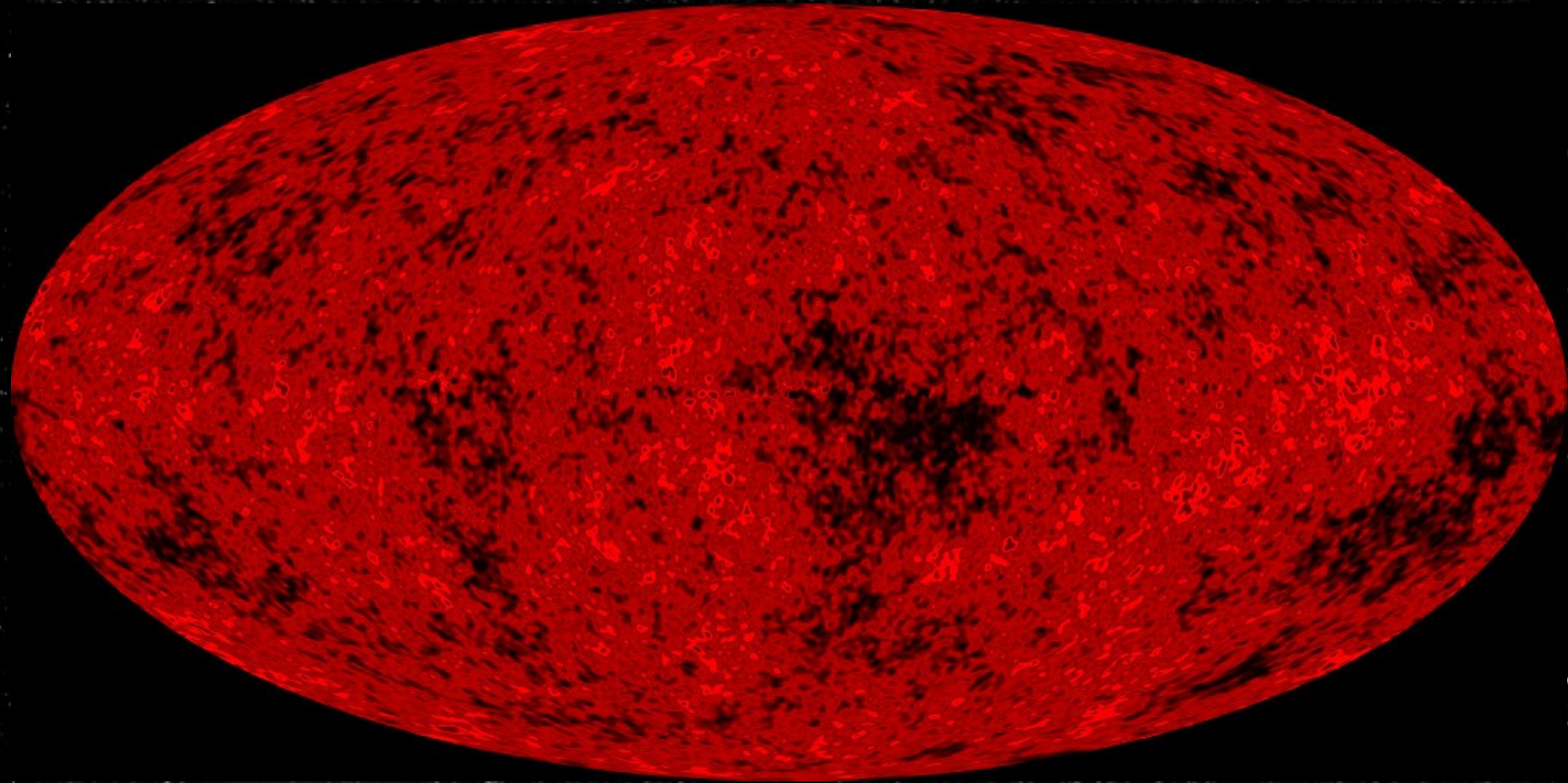
**Urknall
vor 13.7 Milliarden Jahren**



**Urknall
vor 13.7 Milliarden Jahren**



Mikrowellen



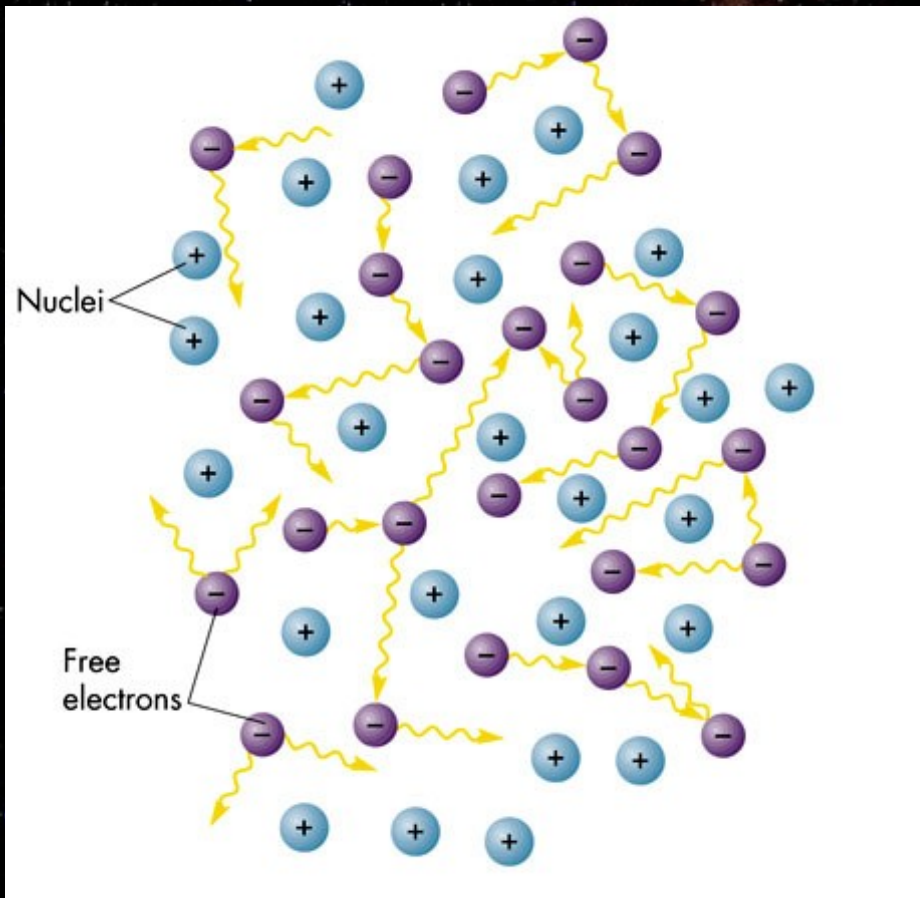
WMAP

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (NASA)



Einige 100000 Jahre nach dem Urknall

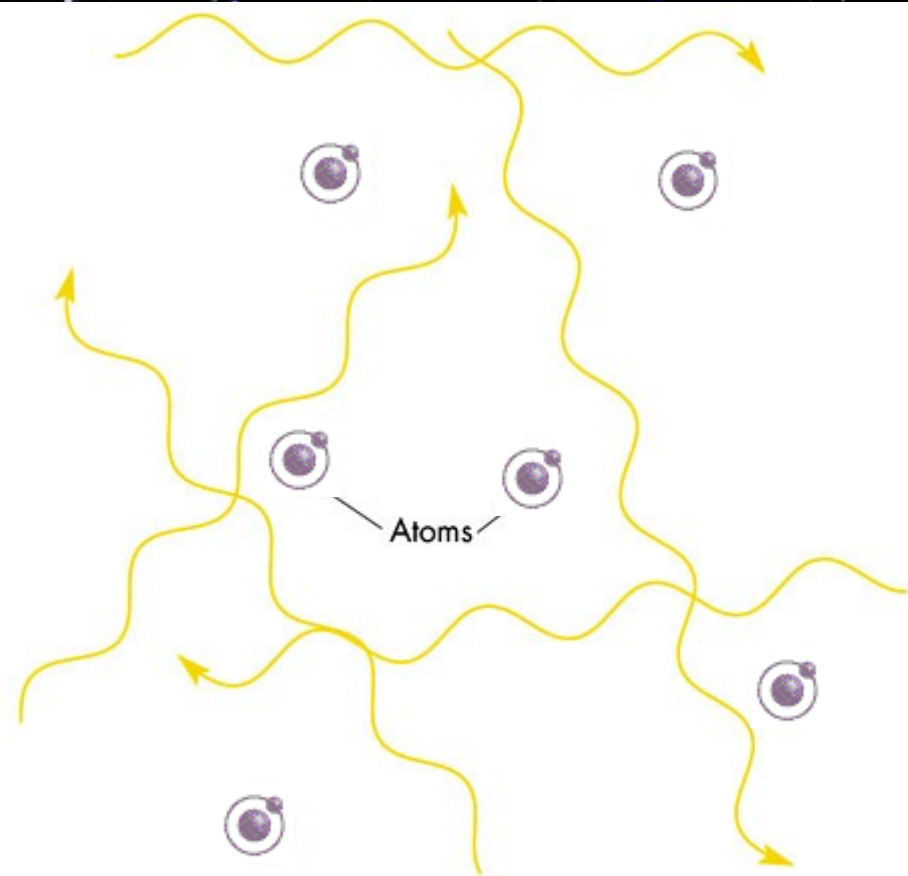
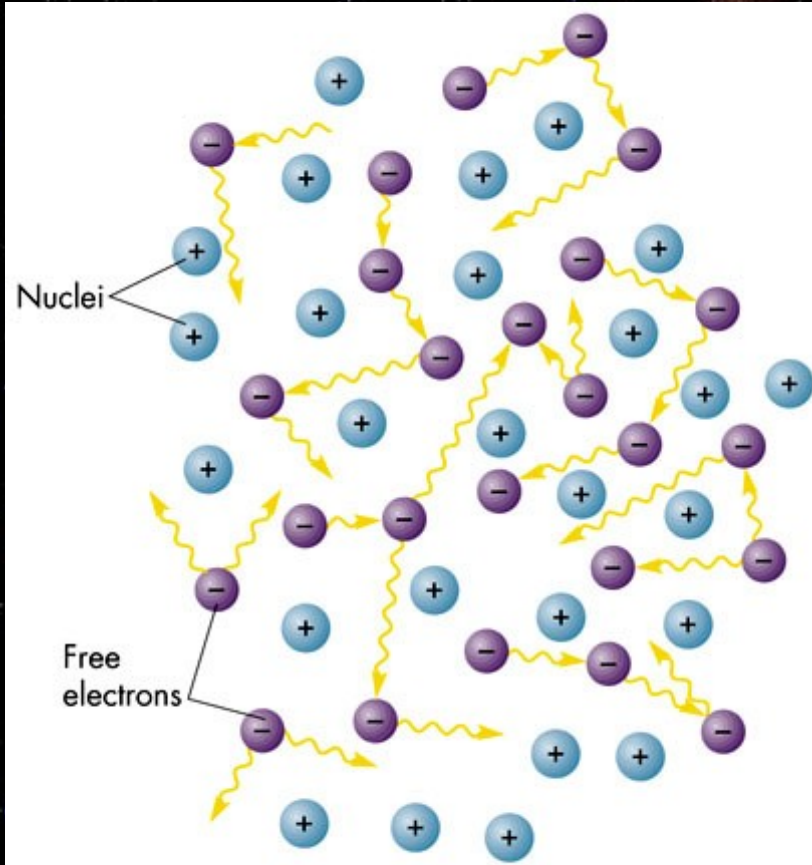
- Das Universum ist kalt genug (etwa 3000°), dass sich Kerne und Elektronen zu Atomen verbinden
- Das Universum wird damit transparent für Licht



Vorher:
Strahlung an Materie gekoppelt

Einige 100000 Jahre nach dem Urknall

- Das Universum ist kalt genug (etwa 3000°), dass sich Kerne und Elektronen zu Atomen verbinden
- Das Universum wird damit transparent für Licht



Vorher:
Strahlung an Materie gekoppelt

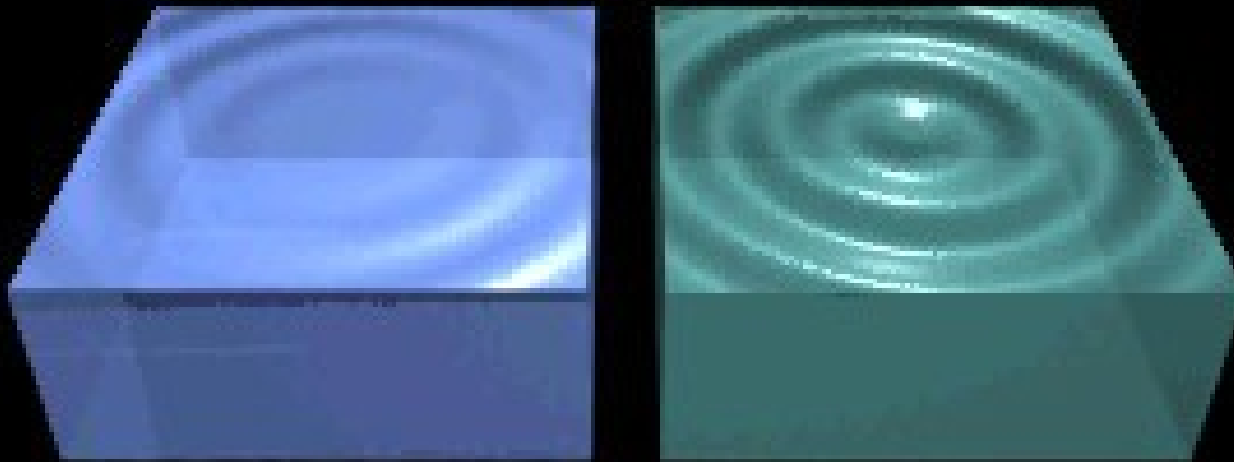
Seither:
Strahlung breitet sich frei aus

Analogie: Sonne

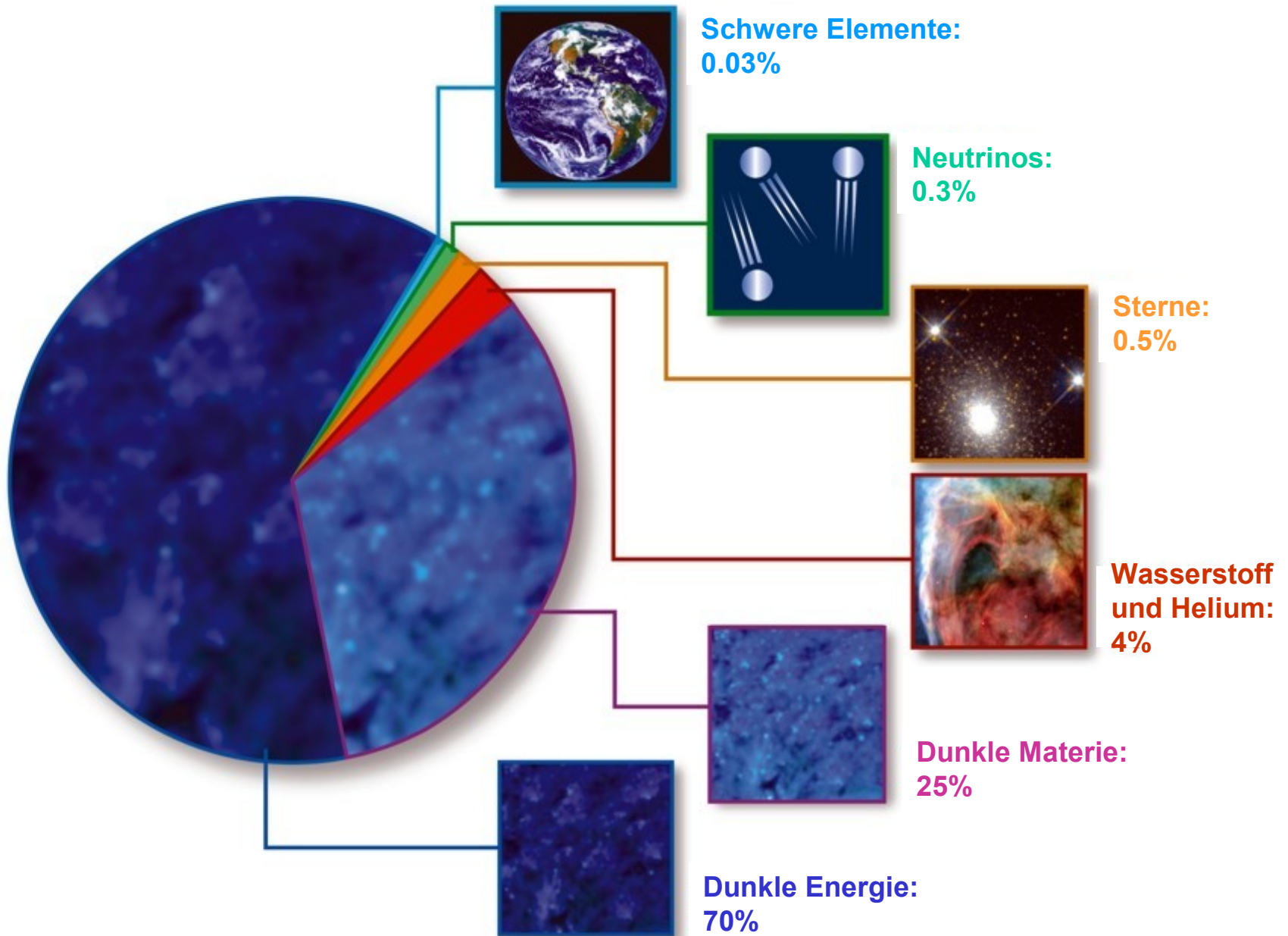
- Die Energie der Sonne wird tief in ihrem Inneren erzeugt
- Aber wir sehen nur die leuchtende Oberfläche



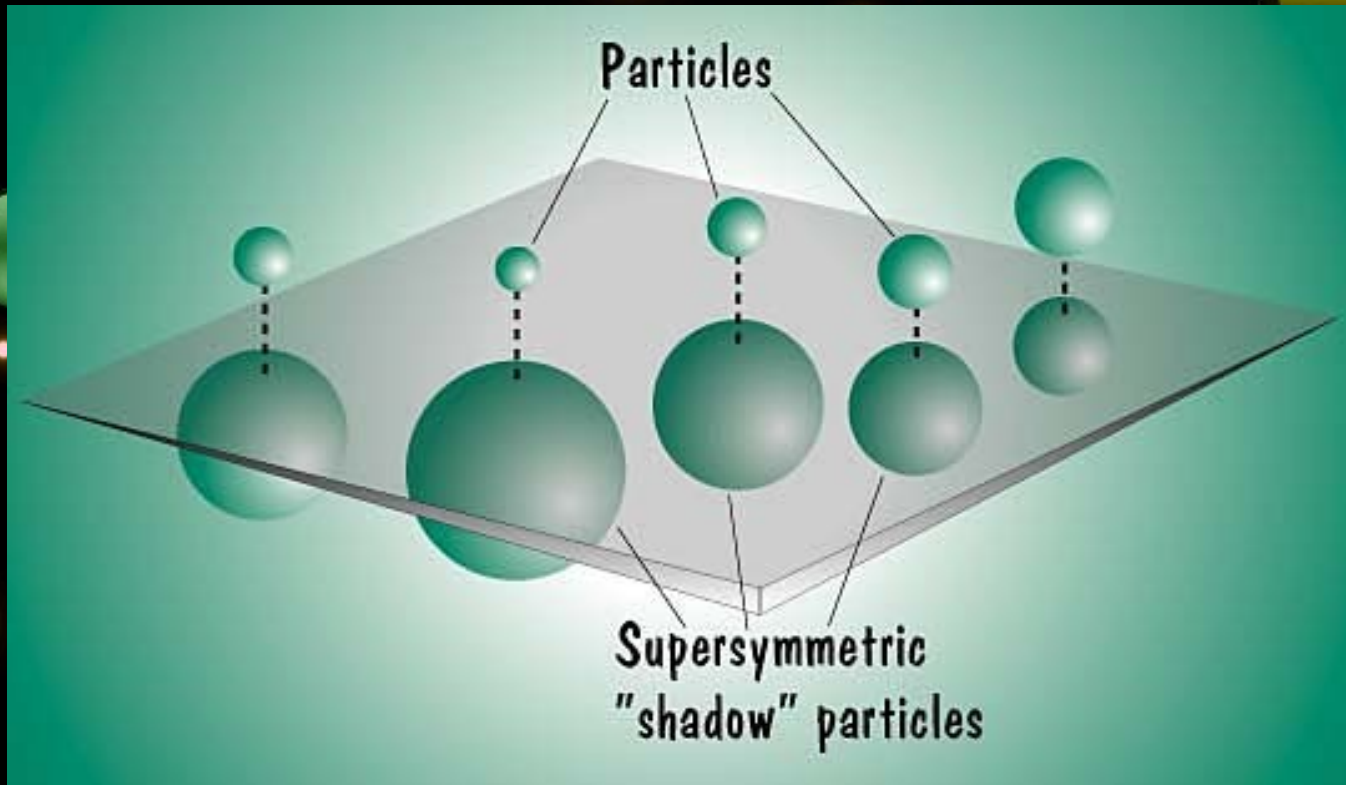
MAP sieht "Wellen im Urknall"



COMPOSITION OF THE COSMOS



Supersymmetrische Teilchen als Dunkle Materie



- Im Urknall erzeugt (mit "bekannter" Rate)
- wechselwirken mit normaler Materie nur über Gravitation und die schwache Wechselwirkung
... genau wie Neutrinos ...

Sie sind unter uns ...

$v \approx 300 \text{ km/s}$

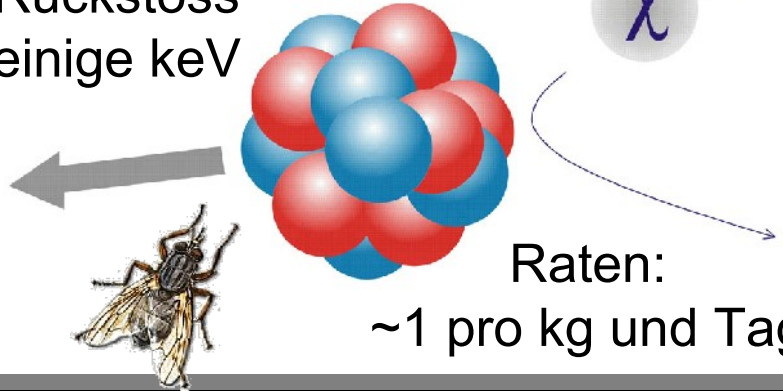
→ einige 1000 pro m^3

→ einige 10000 pro $\text{cm}^2 \text{ s}$



DM-Detektoren

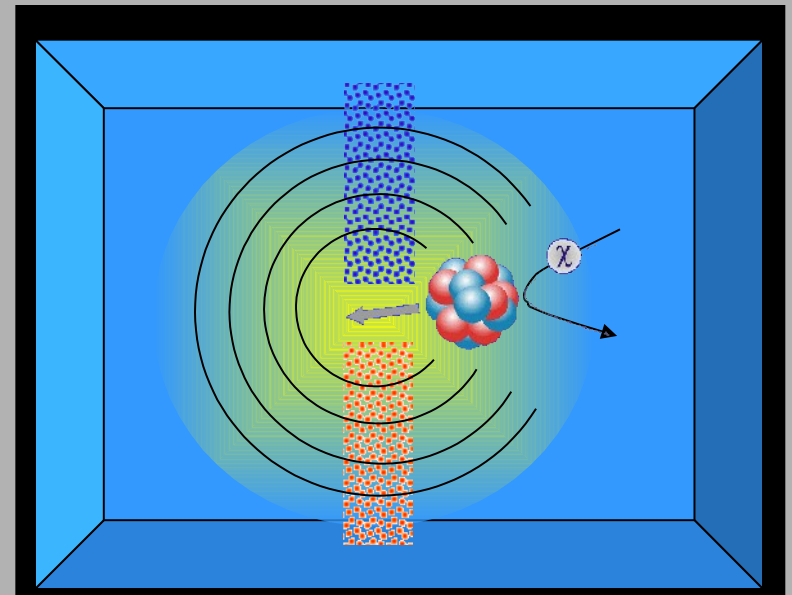
Rückstoss
einige keV



Raten:
~1 pro kg und Tag

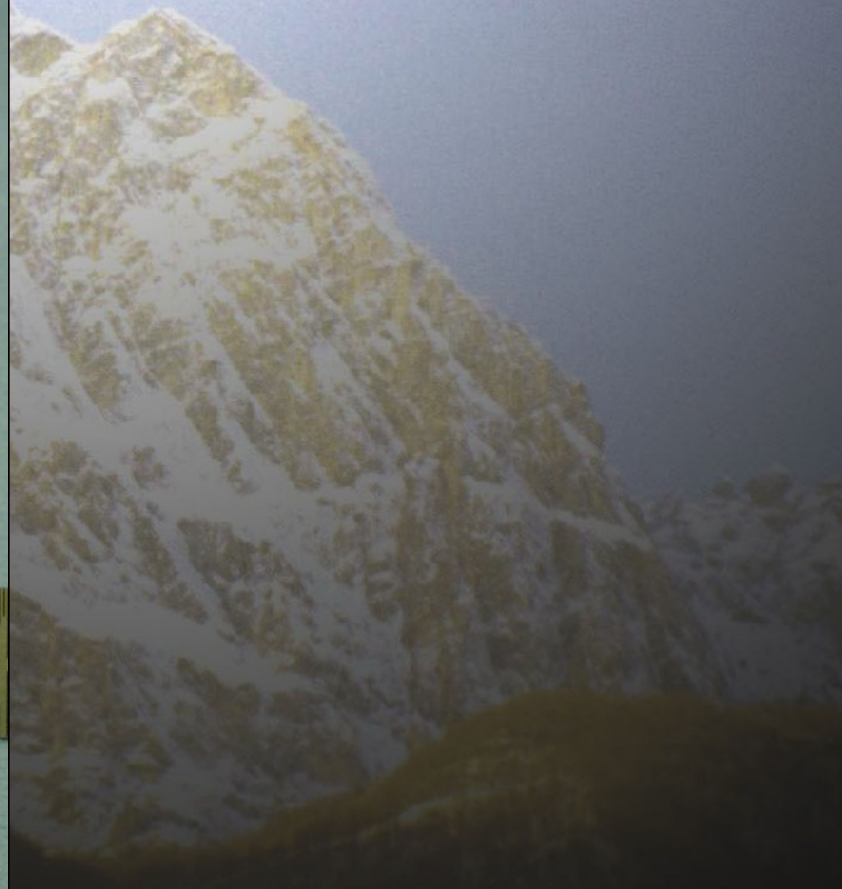
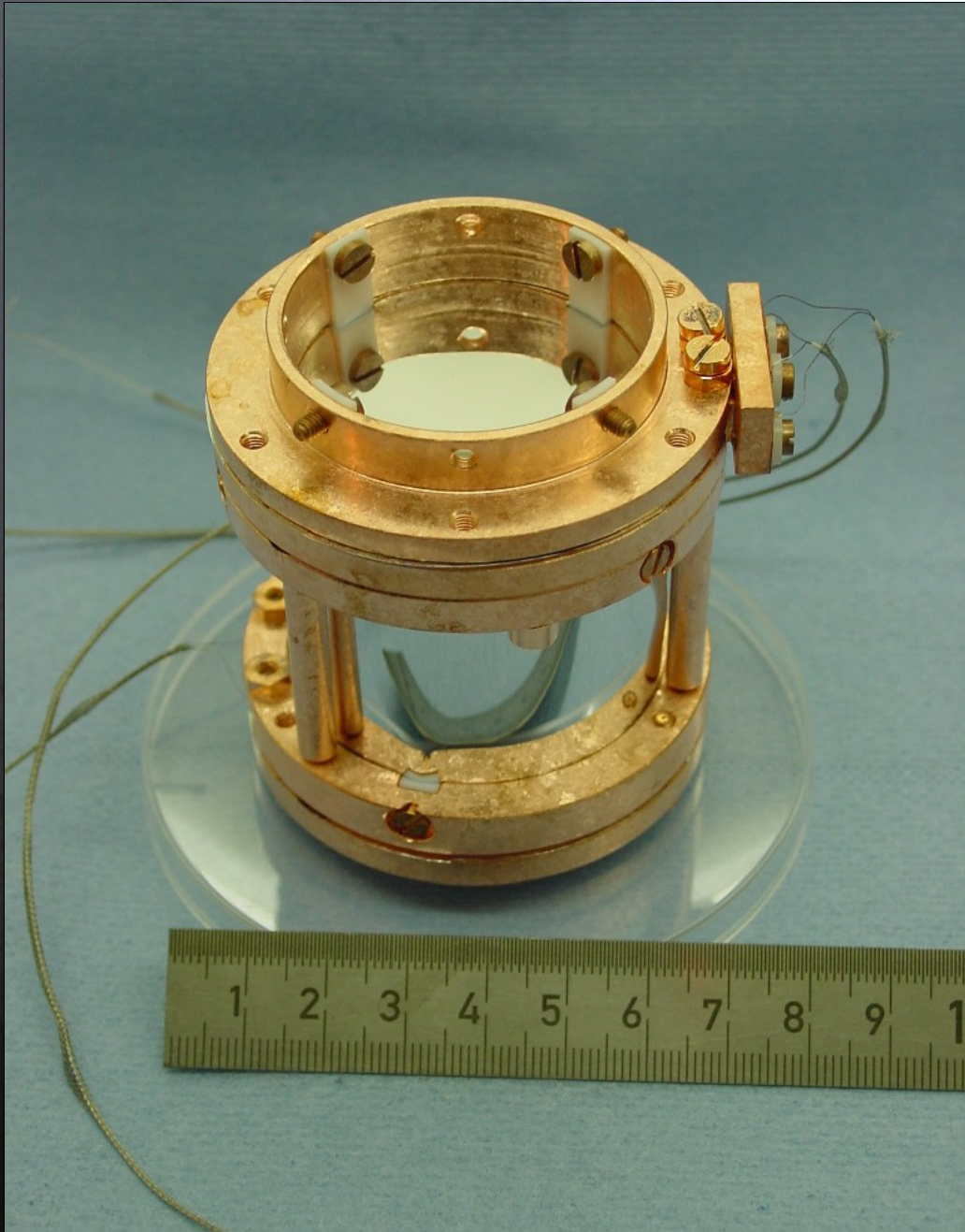


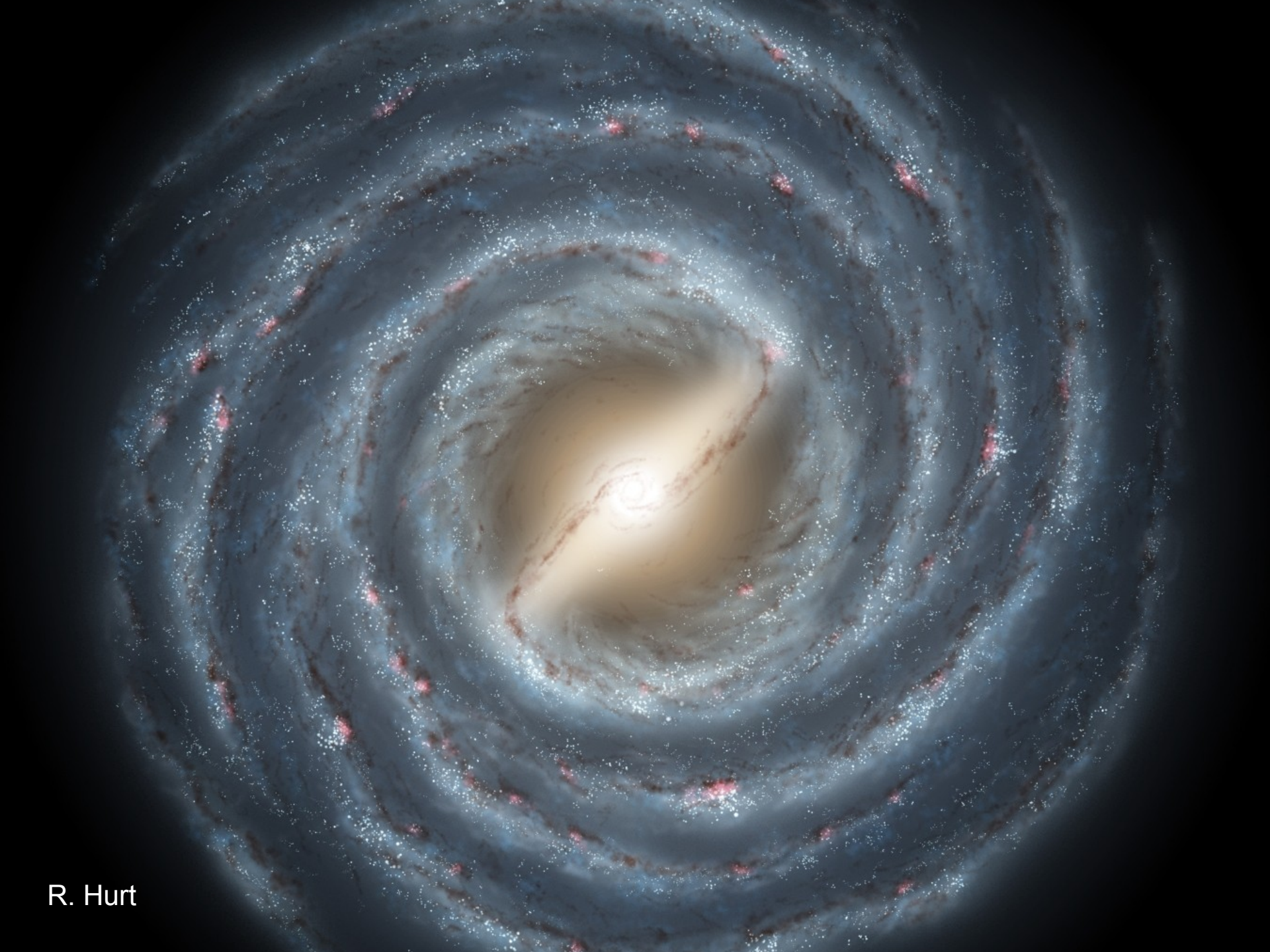
- Wärme
- Ionisation / Ladung
- Szintillationslicht



CRESST Experiment

(Gran Sasso Untergrundlabor)
CaWO₄ Kristalle bei 20 mK





R. Hurt



230 km/s

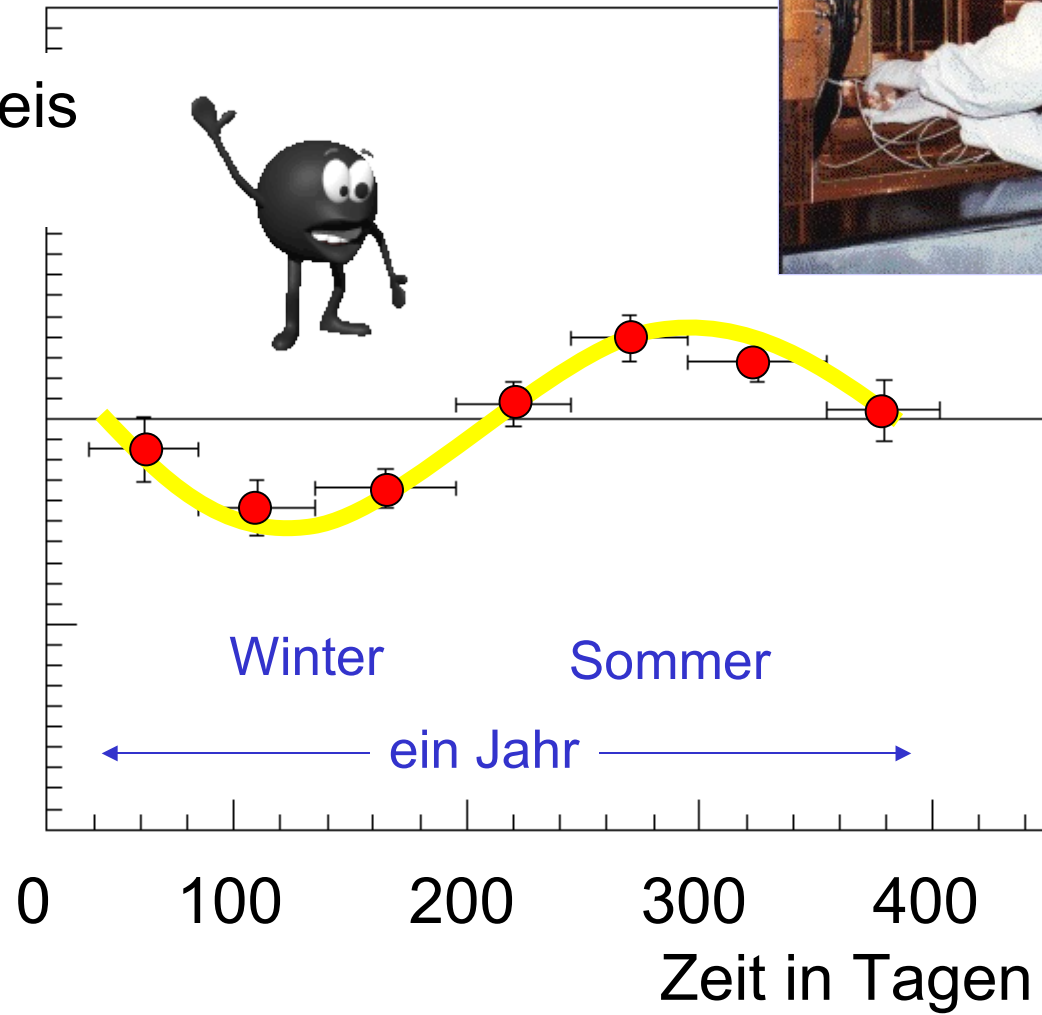
30 km/s



Das DAMA Experiment



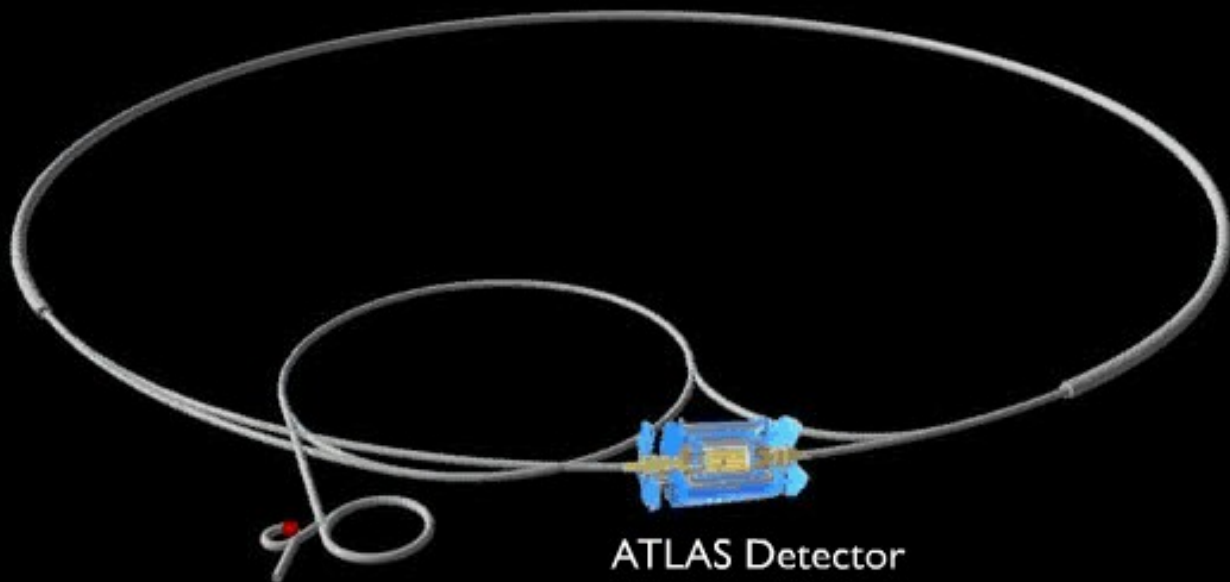
Nachweis
rate



Der Urknall in Labor: Der Large Hadron Collider am CERN in Genf



Large Hadron Collider



ATLAS Detector



**Erste Daten:
2008**

Connections: Quarks to the Cosmos

