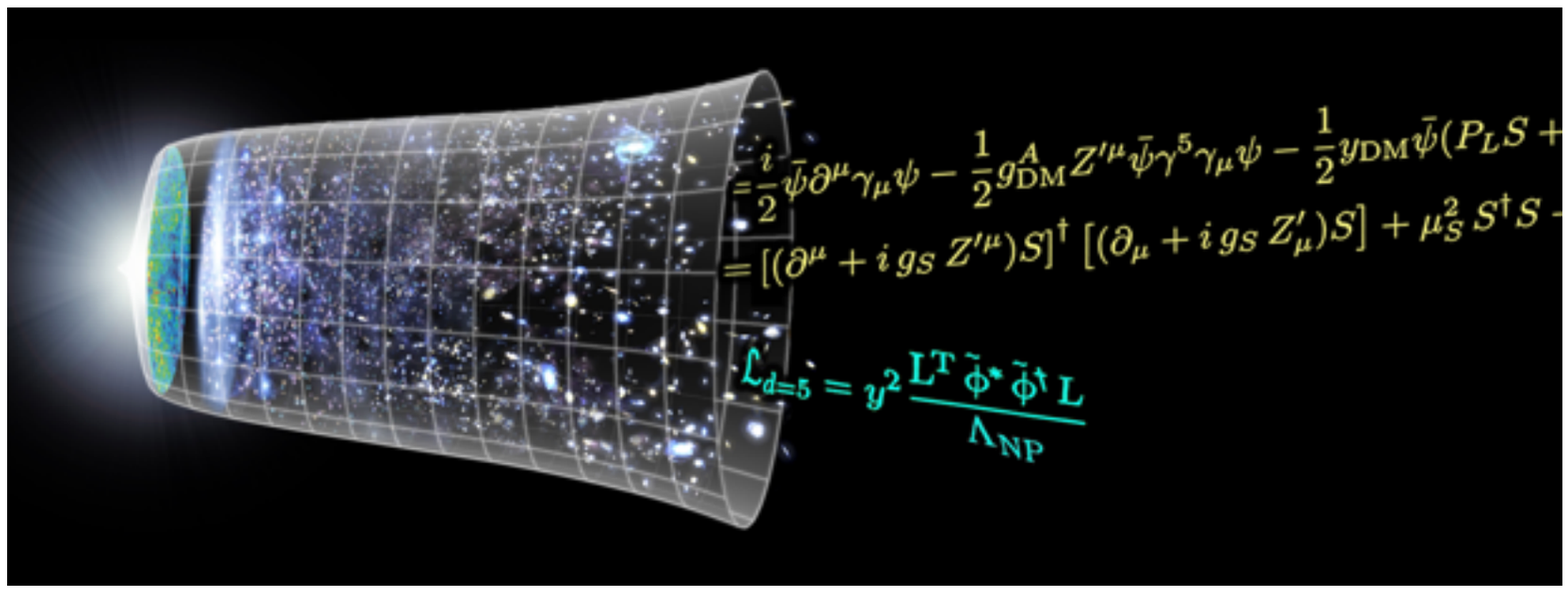
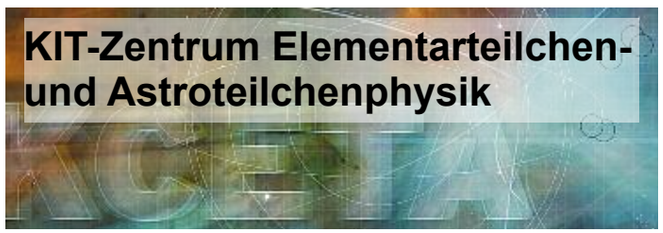
Dunkle Materie: von Urknall, Galaxien und Elementarteilchen

Prof. Thomas Schwetz-Mangold

Institut für Kernphysik
Theoretische Astroteilchenphysik

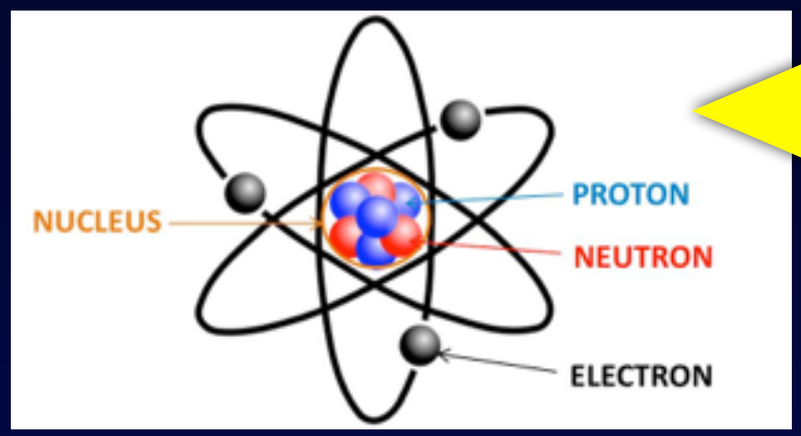


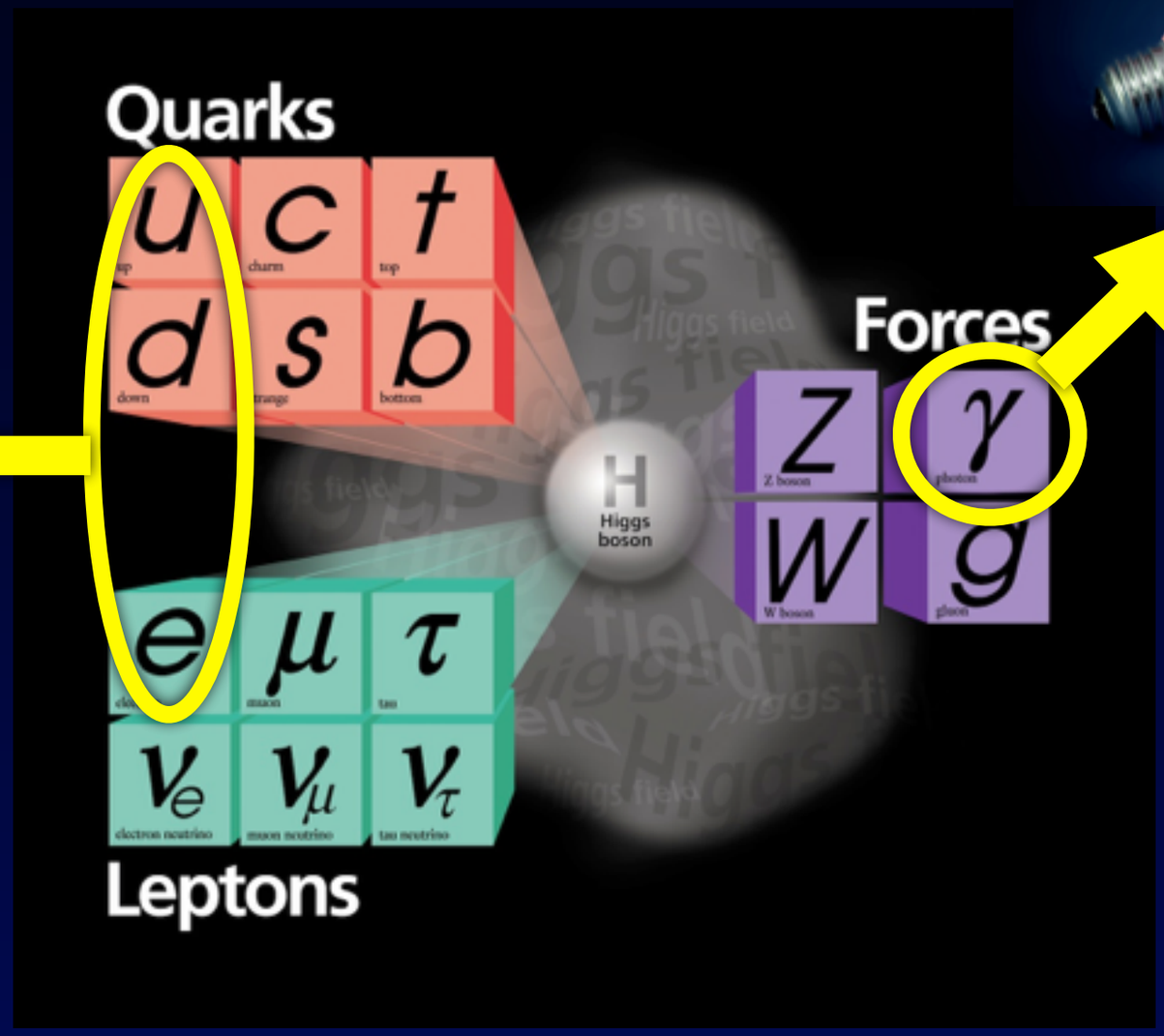


Woraus besteht unsere Welt?

- Die Welt im Allerkleinsten:
  Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik

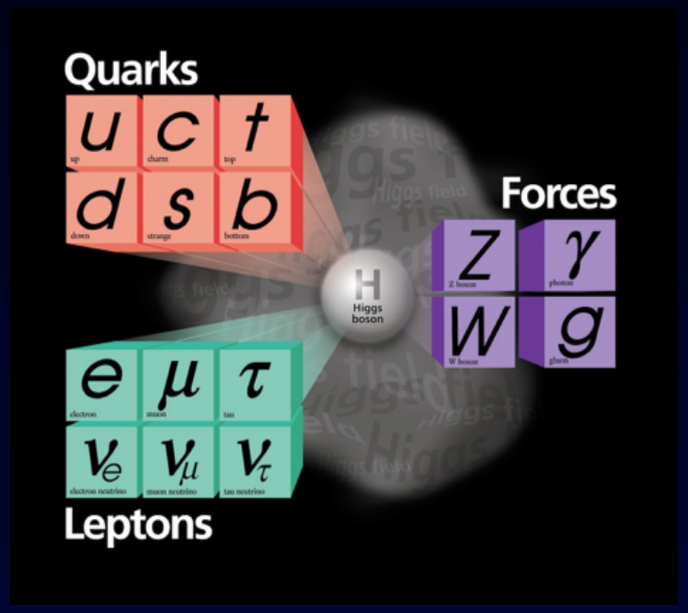
Atome



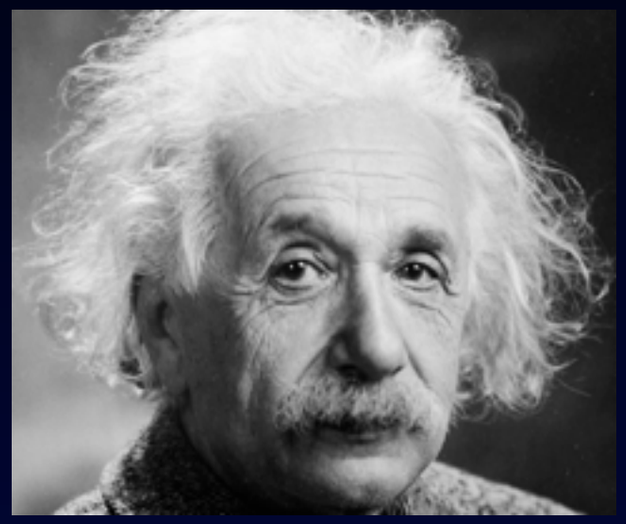


Licht

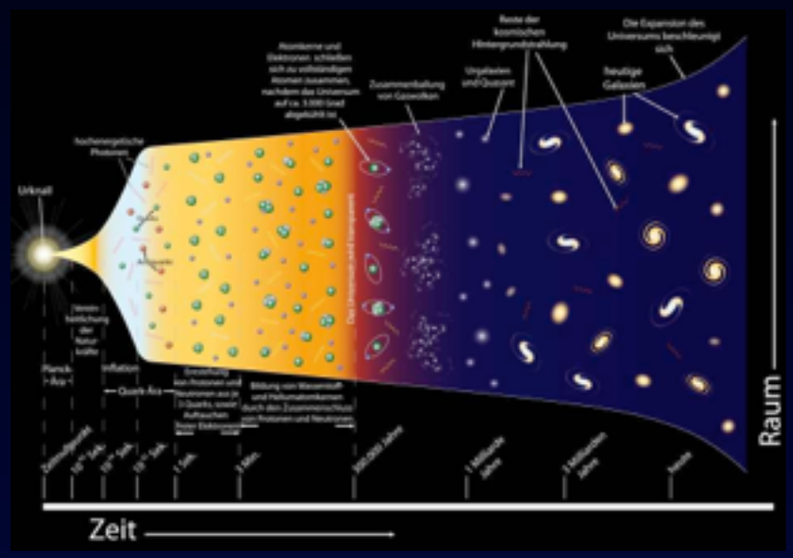
Von den Elementarteilchen zum ganzen Universum



+

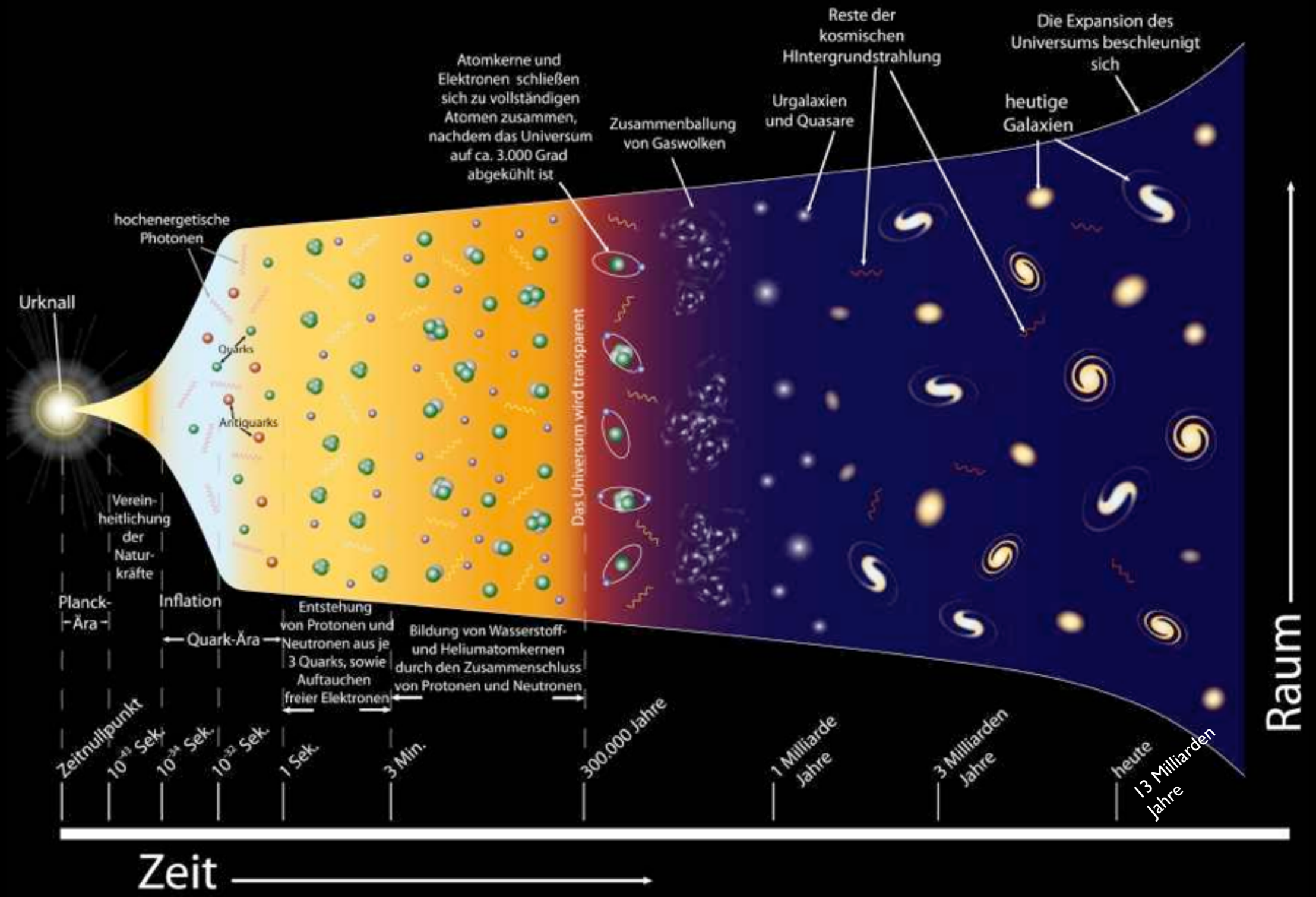


=



- das Standardmodell der Elementarteilchenphysik kombiniert mit der Theorie von Raum und Zeit (Relativitätstheorie) → Urknall-Modell

Das Urknall-Modell



Die Expansion des Universum

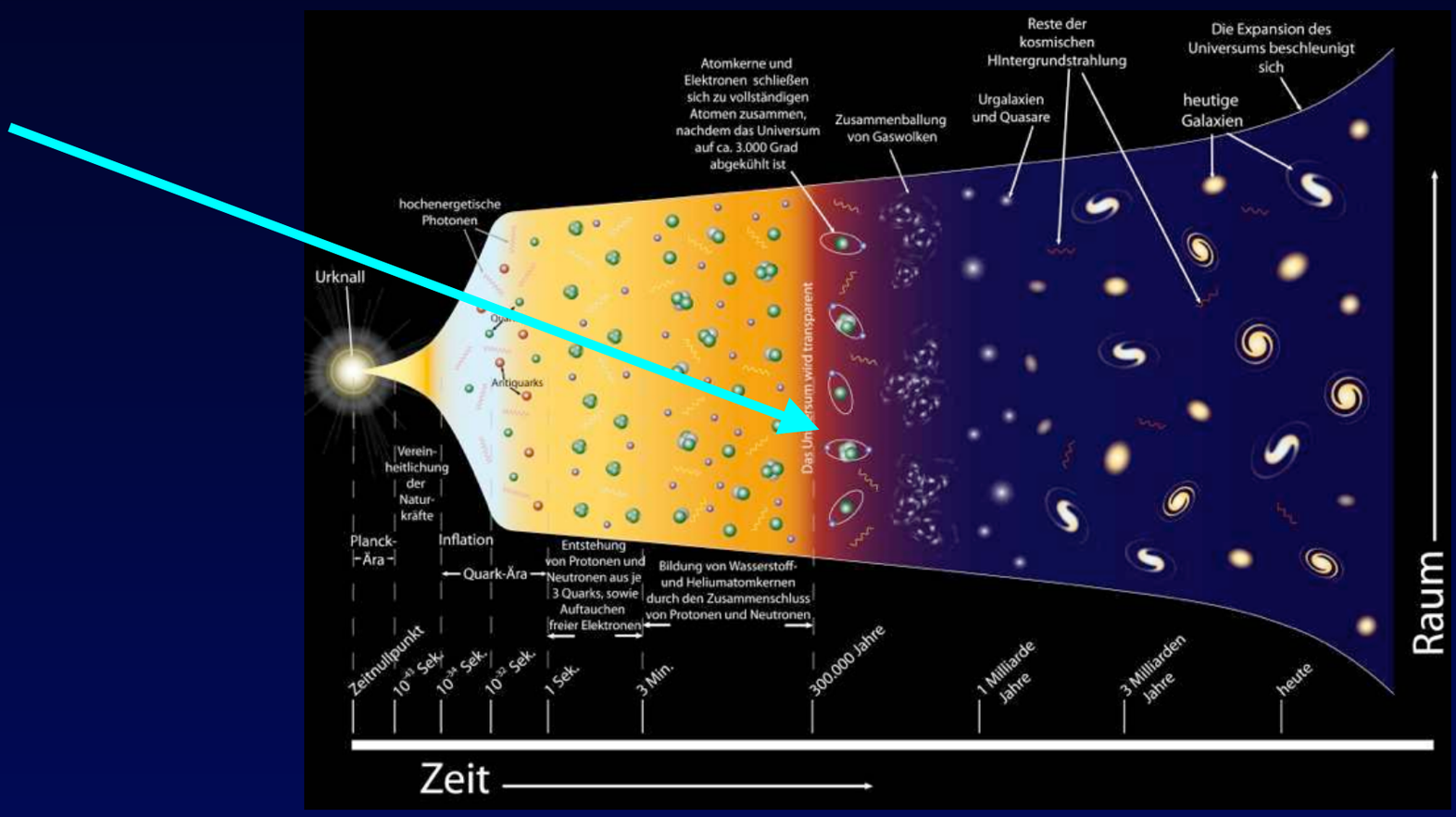
- das Universum dehnt sich aus 1927/29

Georges Lemaitre

Edwin Hubble

Kosmische Hintergrundstrahlung

- etwa 400 000 Jahre nach dem Urknall wird das Universum transparent für Licht
- die Temperatur des Universums war damals 3000° C
- diese Temperaturstrahlung ist heute auf -270° C (2,7 Kelvin) abgekühlt und erfüllt das ganze Universum

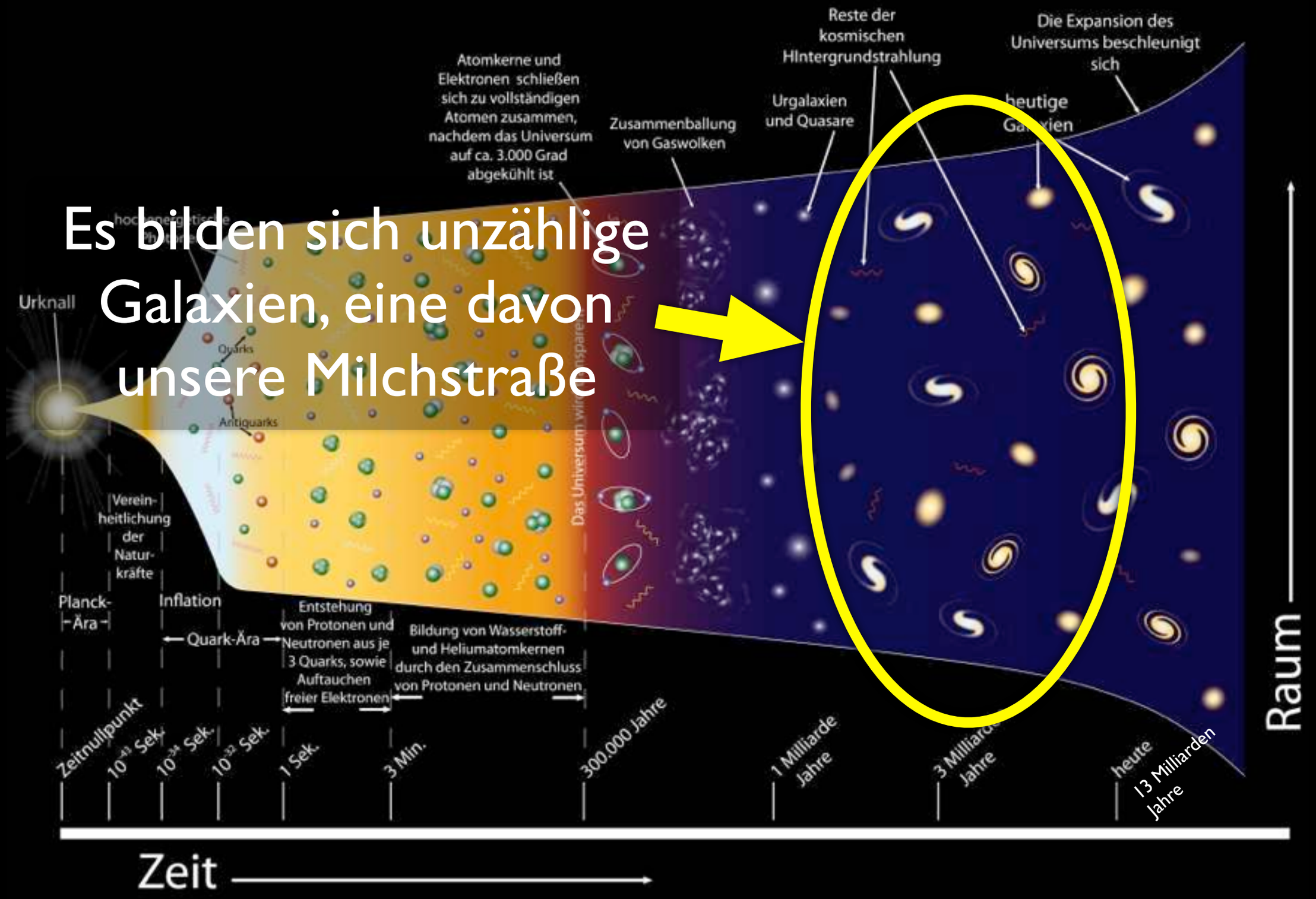


Kosmische Hintergrundstrahlung

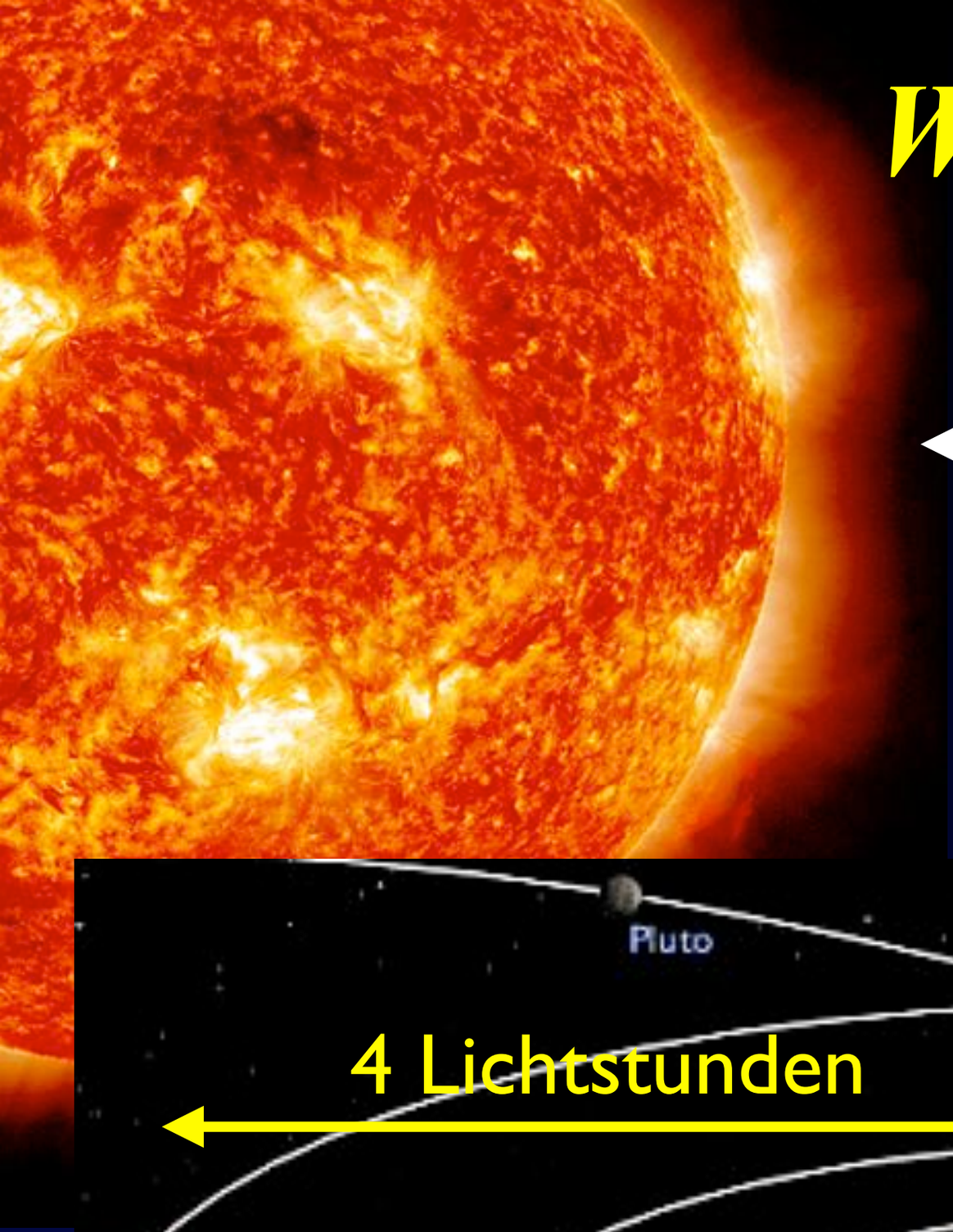
- etwa 400 000 Jahre nach dem Urknall wird das Universum transparent für Licht
- die Temperatur des Universums war damals 3000° C
- diese Temperaturstrahlung ist heute auf -270° C (2,7 Kelvin) abgekühlt und erfüllt das ganze Universum

- Vorhersage 1947 von Gamow, Alpher, Herman
- Entdeckung 1964 von Penzias und Wilson

Sterne und Galaxien entstehen

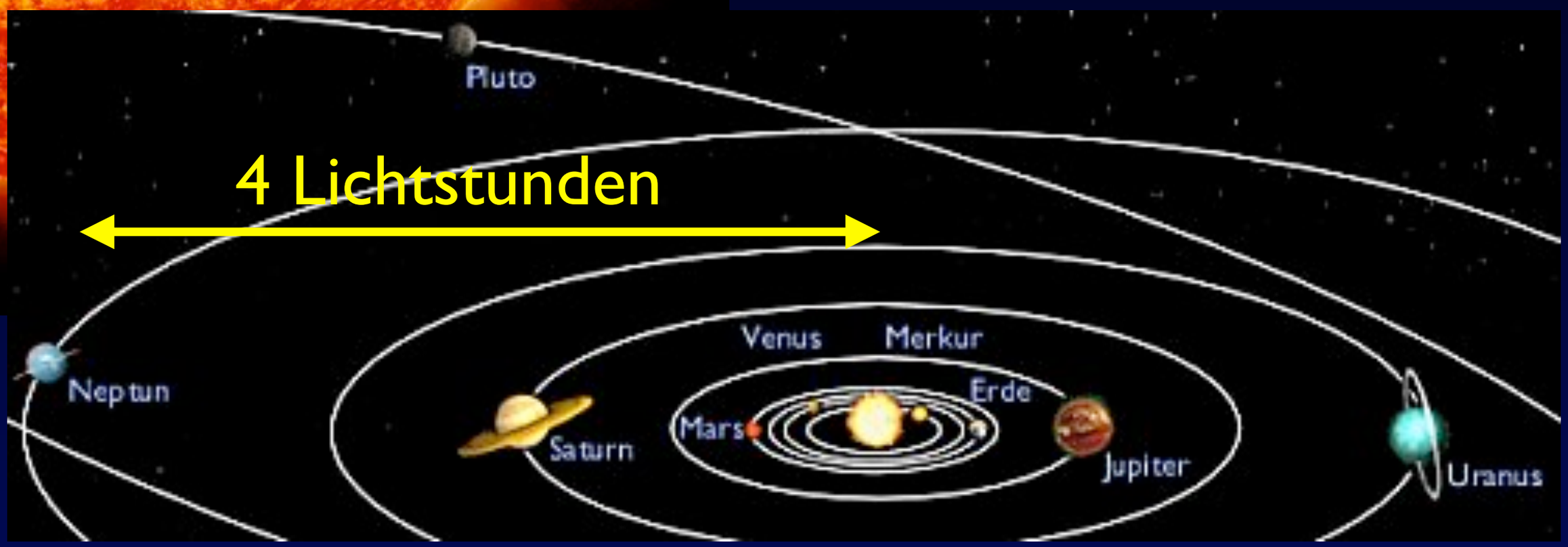


Wo befinden wir uns?

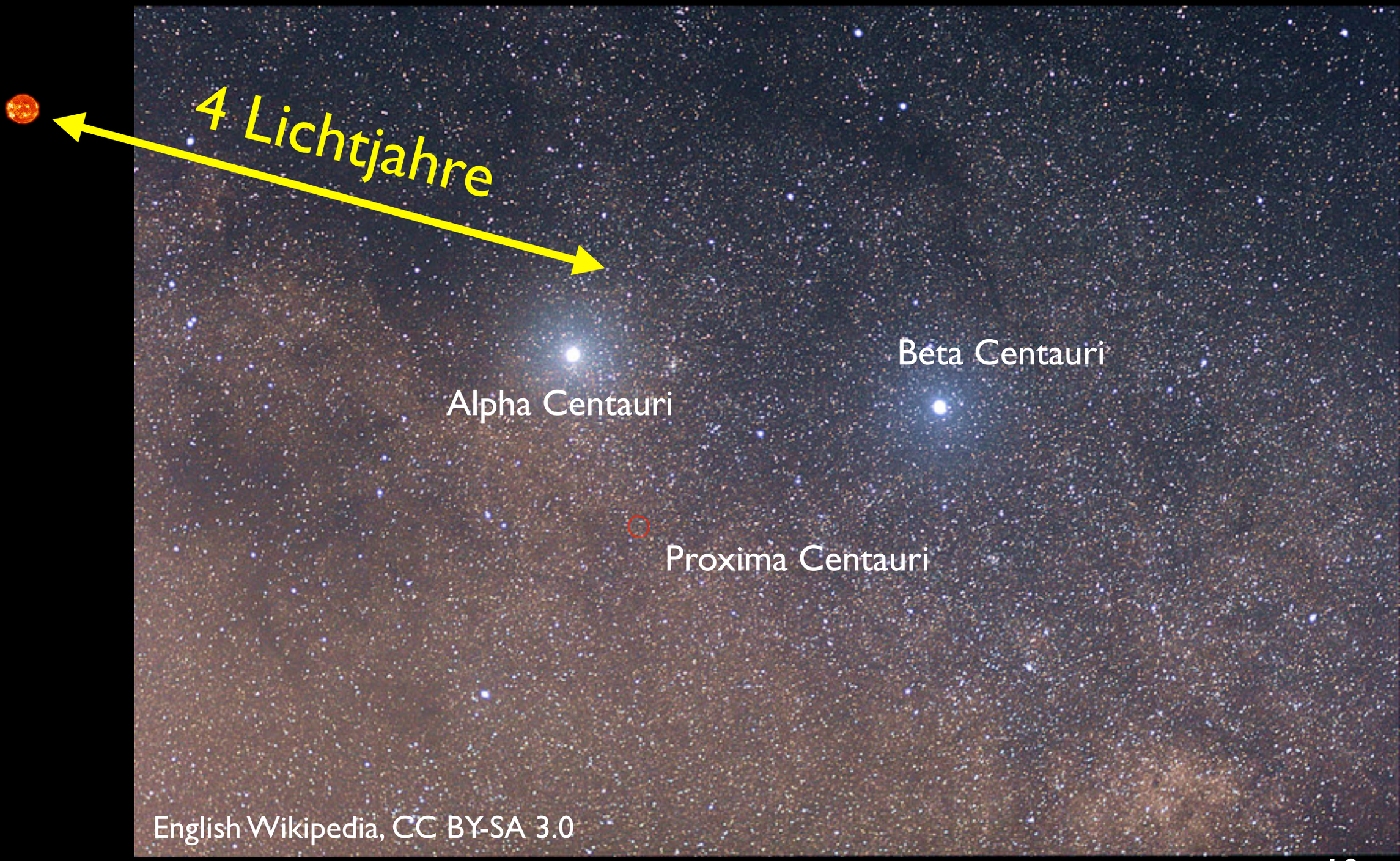


150 Mill. km

8 Lichtminuten



Unsere Nachbarsterne



Pierre Auger cosmic ray observatory, Argentinien
im Hintergrund: Spiral-Arm der Milchstraße

Unsere Galaxie: die Milchstraße

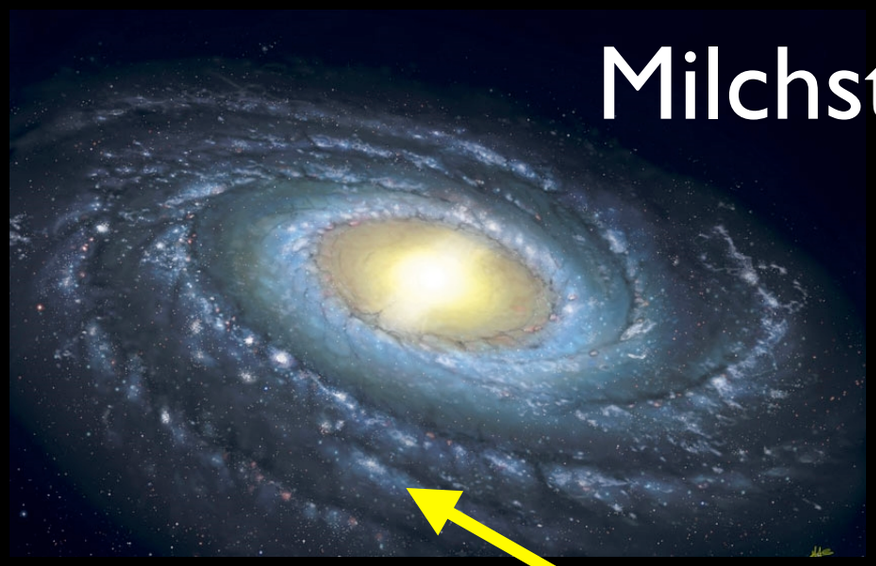
100 000 Lichtjahre

ca. 200 Milliarden Sterne

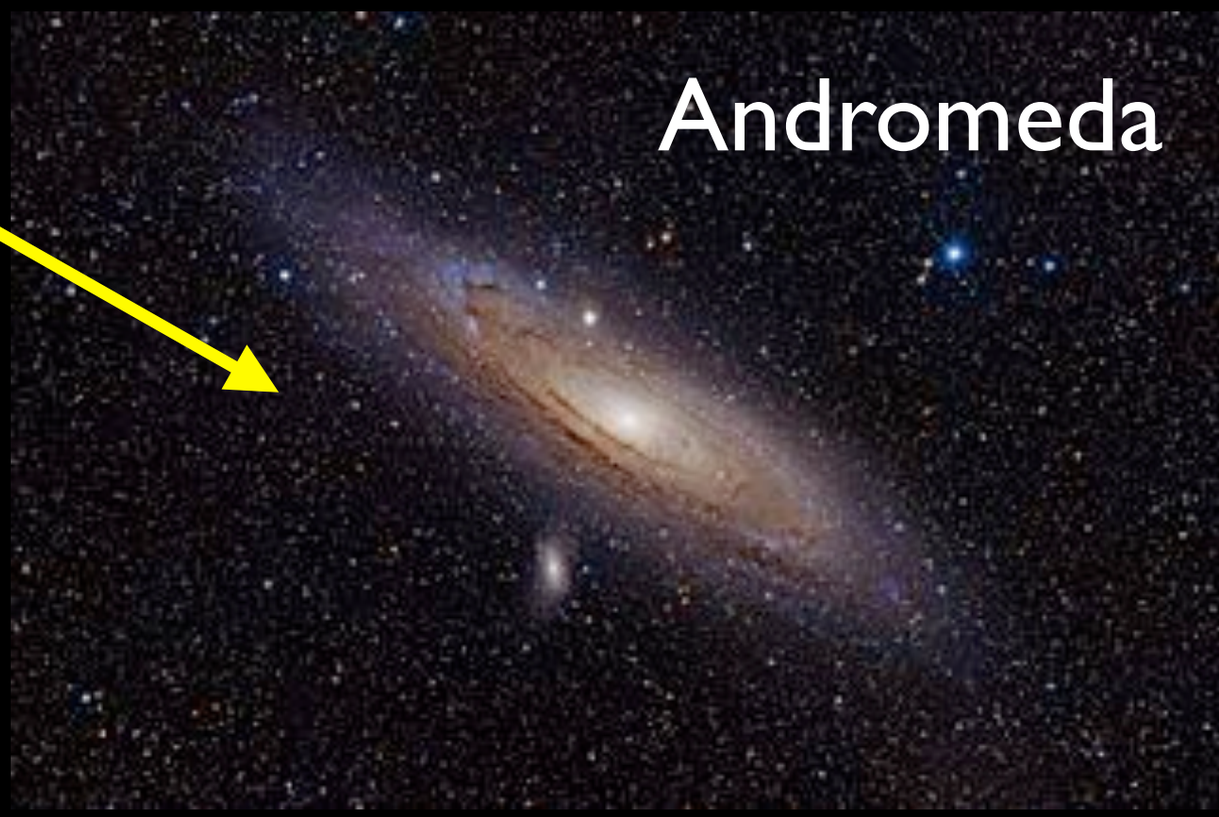
hier sind wir

schwarzes Loch

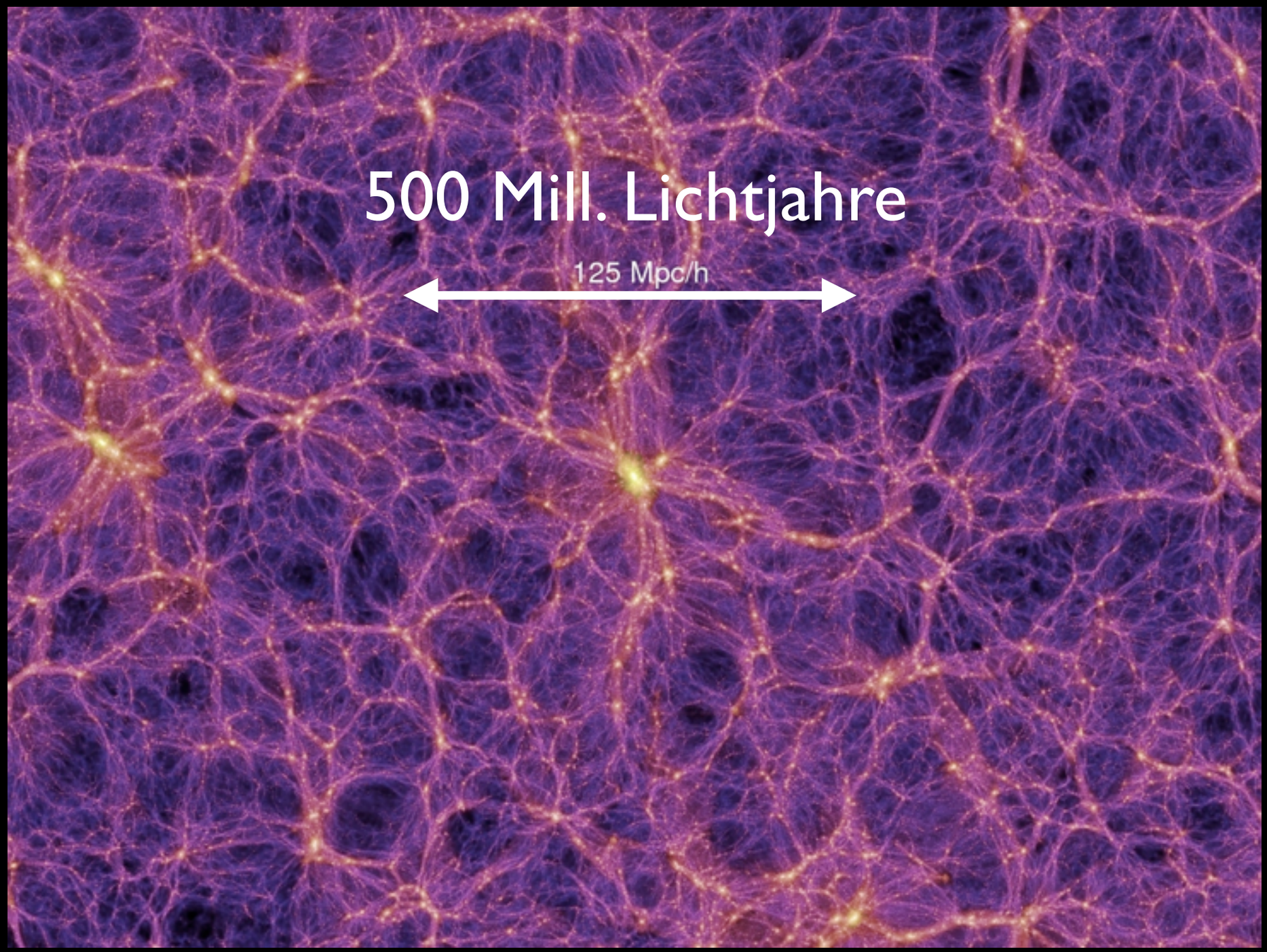
Unsere Nachbargalaxie: Andromeda



2,5 Mill. Lichtjahre



Die größten Strukturen im Kosmos



V. Springel et al, Millenium simulation, Max-Planck-Inst. für Astrophysik

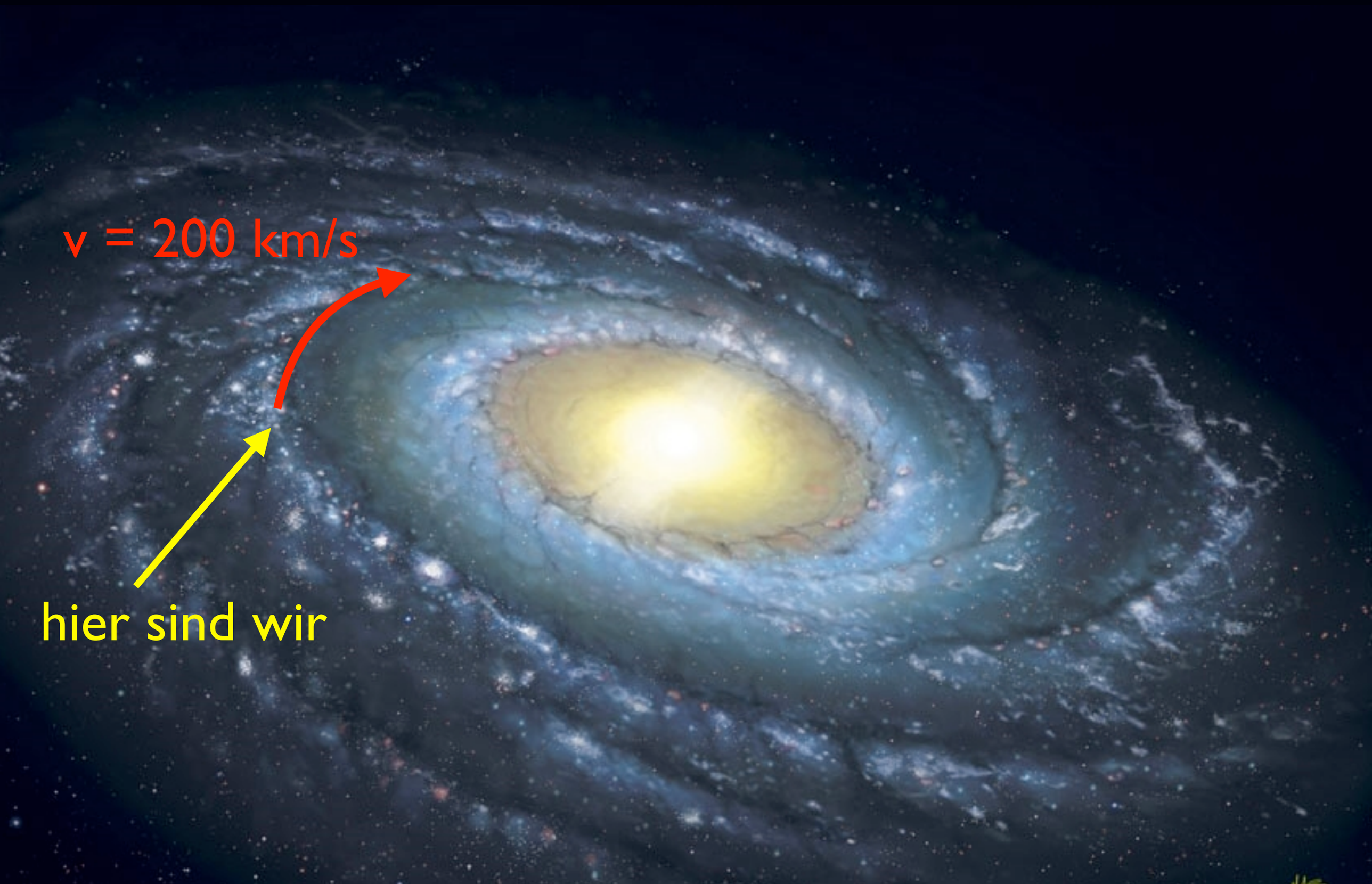
Was ist dunkle Materie?

- Zur Erklärung vieler kosmologischer Beobachtungen muss man die Existenz einer unbekannte Form von Materie annehmen
- Diese Materie ist unsichtbar („dunkel“) und hat extrem schwache Wechselwirkung mit normaler Materie
- Alle Hinweise auf die dunkle Materie sind durch Effekte der Schwerkraft
- Bis jetzt hat noch niemand dunkle Materie direkt nachweisen können

Was ist dunkle Materie nicht?

- Anti-Materie
- schwarze Löcher
  (sind vermutlich nur ein kleiner Teil der dunklen Materie)
- dunkle Energie

Die Milchstraße rotiert um ihr Zentrum



Fliehkraft = Anziehungskraft

Gravitation

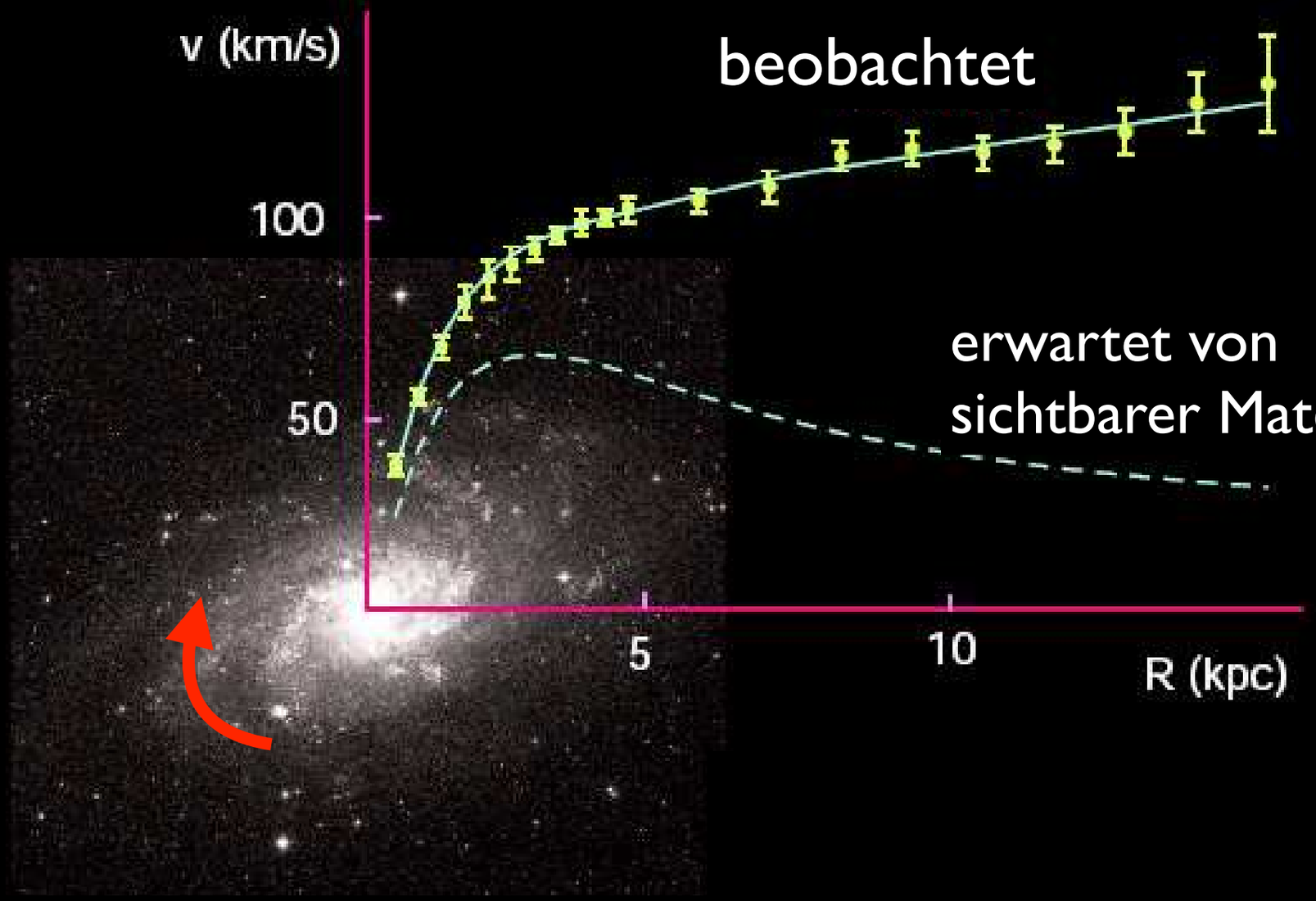
Die Fliehkraft steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Die Gravitationskraft ist umso stärker, je größer die Masse.

Je schneller ein Objekt rotiert, desto mehr Kraft brauche ich, um es auf der Bahn zu halten, d.h., desto größer muss die Masse sein.

Rotationskurven

Vera Rubin, 1970er



Man benötigt zusätzliche, nicht-sichtbare Materie,
um Galaxien zusammenzuhalten → Dunkle Materie

Dunkle Materie unserer Milchstraße

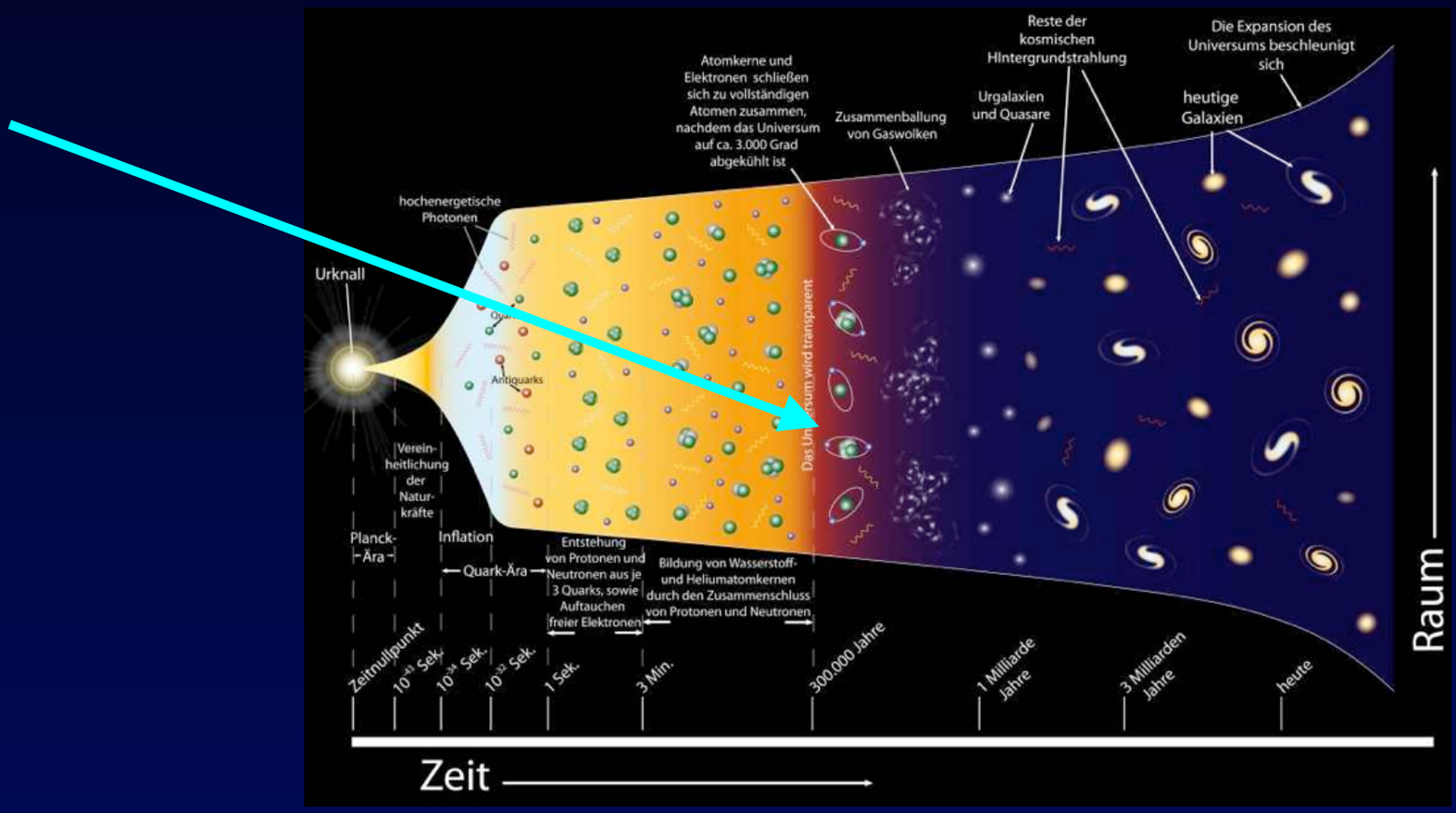
Dunkle Materie unserer Milchstraße

Dunkle Materie unserer Milchstraße

- Angenommen die dunkle Materie besteht aus Teilchen, die ungefähr so schwer sind wie ein Wasserstoffatom.
- Dann befinden sich in jedem m^3 in diesem Raum rund 300 000 dunkle-Materie-Teilchen.

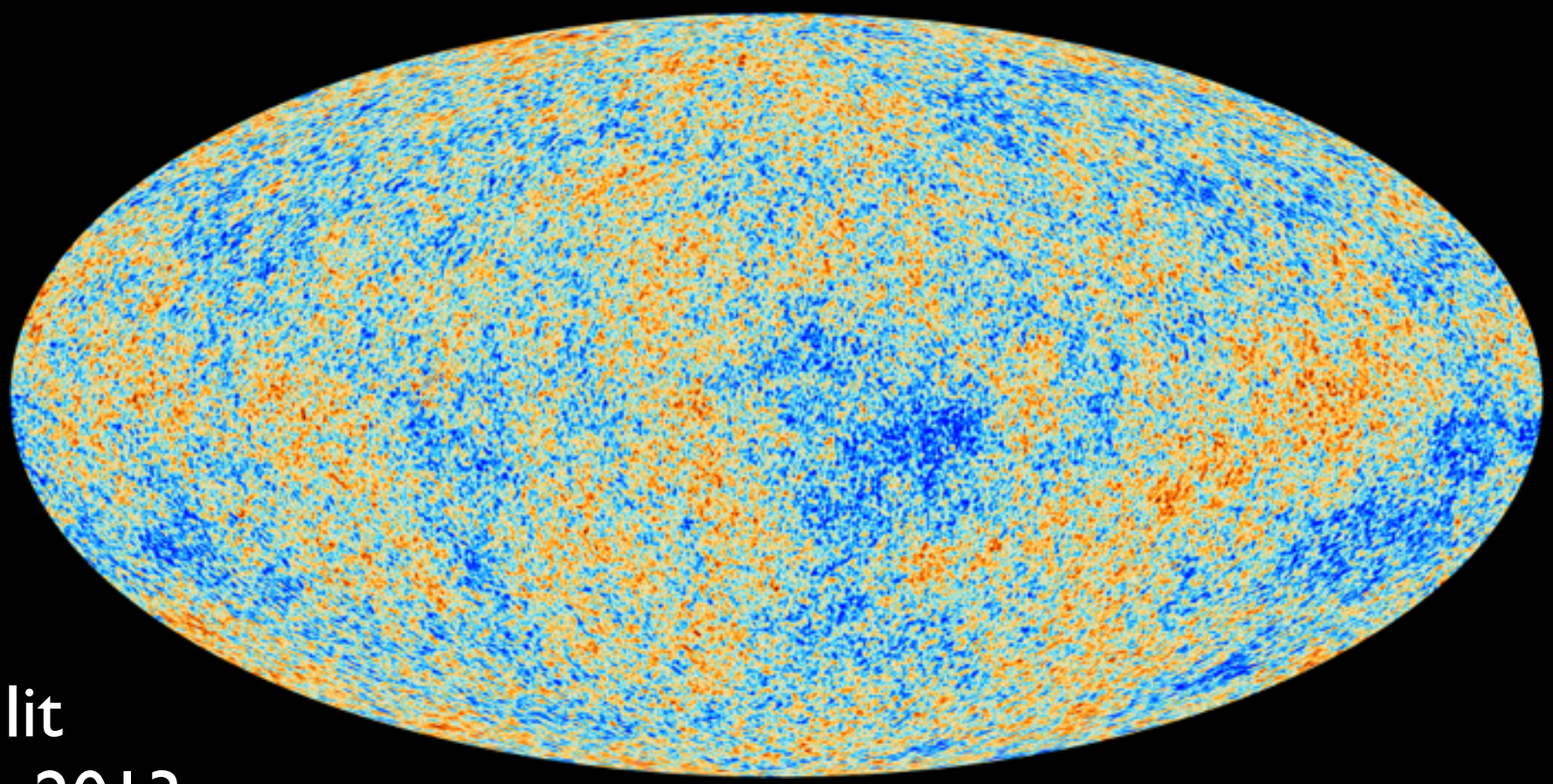
Kosmische Hintergrundstrahlung

- etwa 400 000 Jahre nach dem Urknall wird das Universum transparent für Licht
- die Temperatur des Universums war damals 3000° C
- diese Temperaturstrahlung ist heute auf -270° C (2,7 Kelvin) abgekühlt und erfüllt das ganze Universum



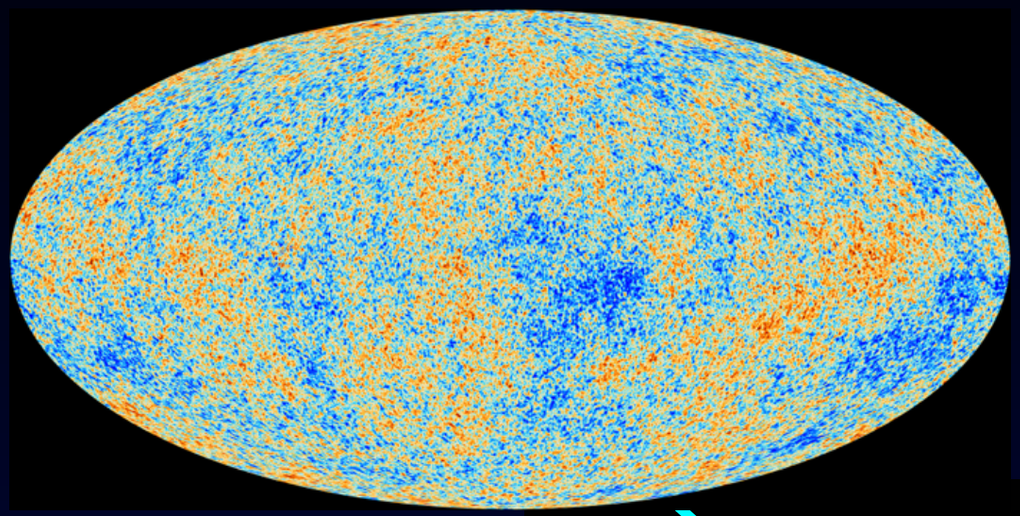
Fluktuationen der kosmischen Hintergrundstrahlung

- -270° C mit Temperaturschwankungen von 0.001% entdeckt vom COBE Satellit 1990
- Keimzellen der ersten Sterne und Galaxien

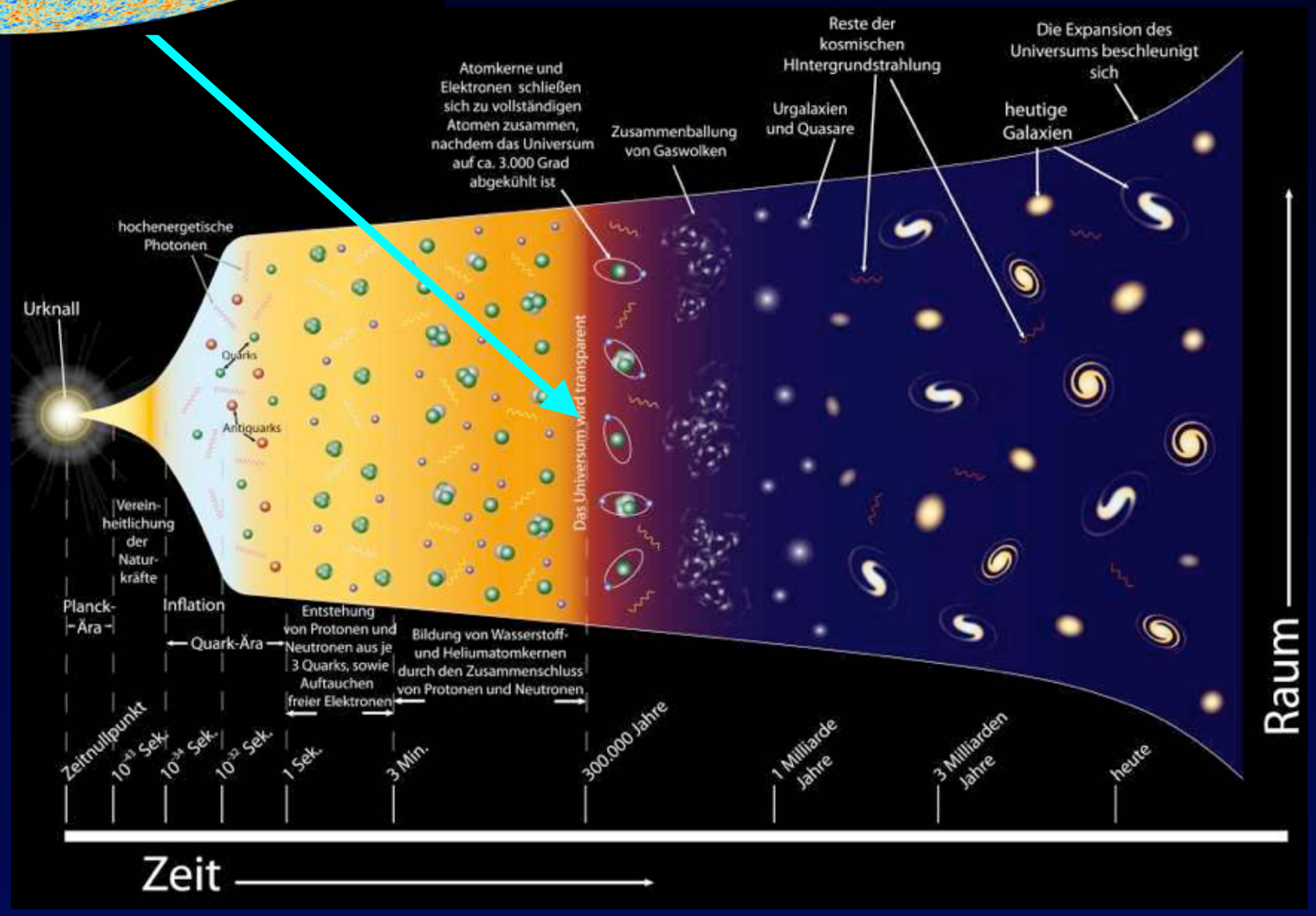


ESA Satellit
PLANCK, 2013

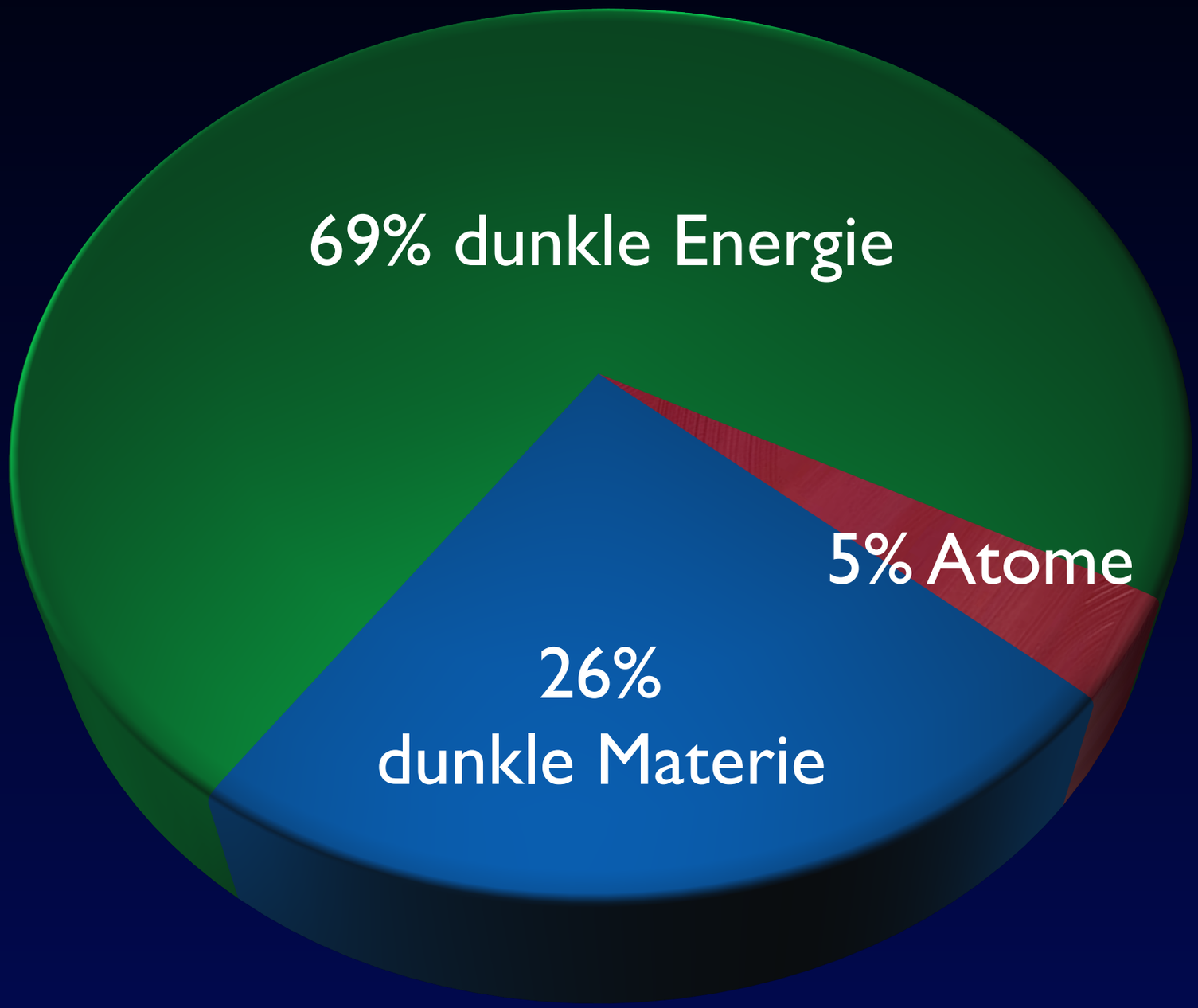
Kosmische Hintergrundstrahlung



Die Entstehung der Galaxien aus den beobachteten Fluktuationen kann man nur erklären wenn es dunkle Materie gibt

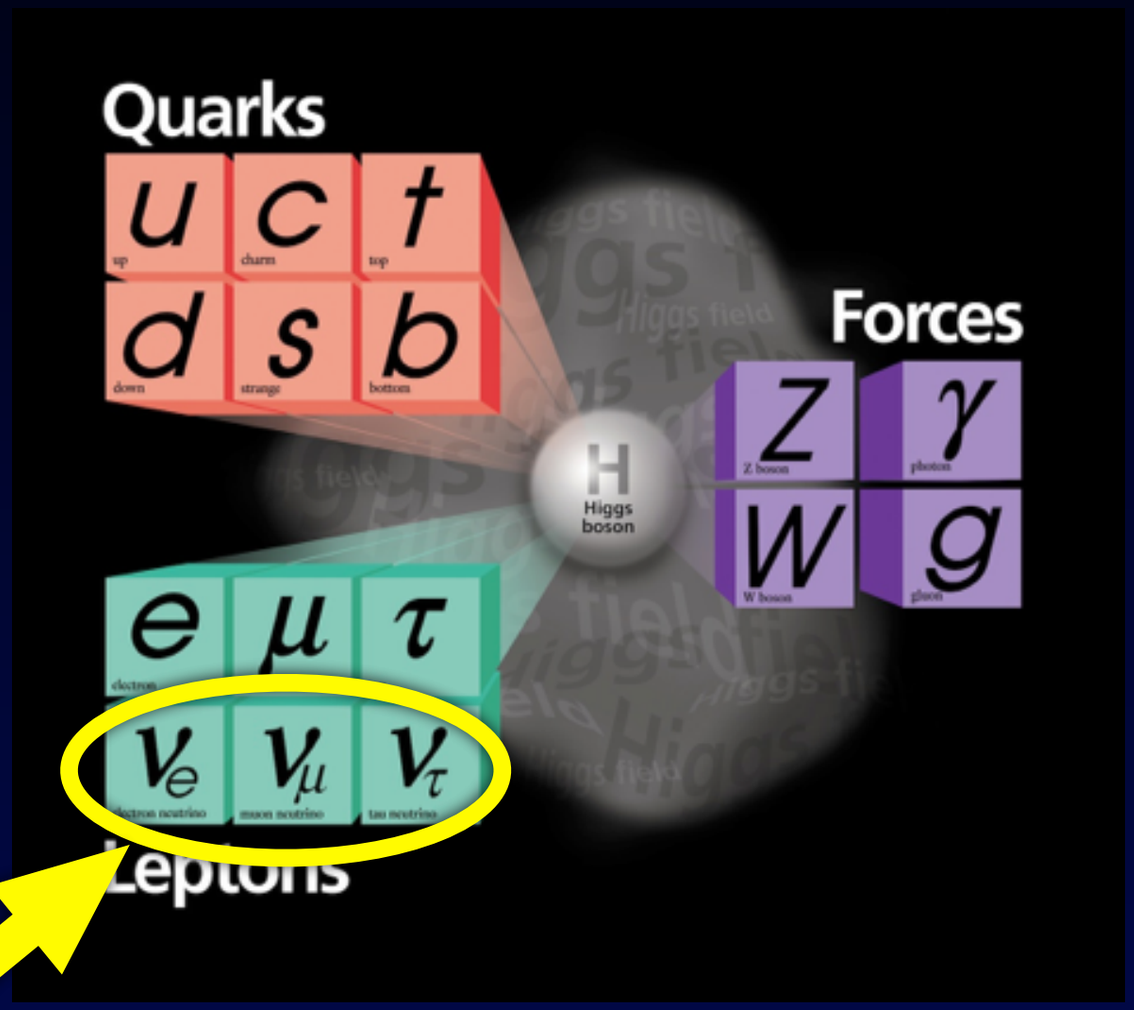


Woraus besteht das Universum?



Woraus besteht die dunkle Materie?

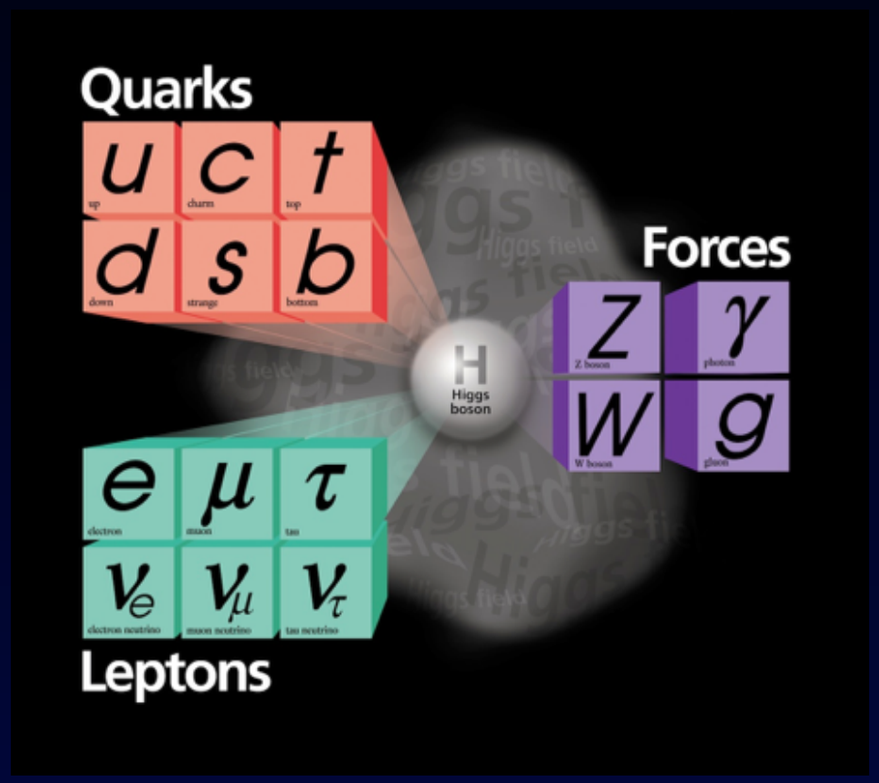
es gibt kein geeignetes bekanntes Teilchen



Neutrinos sind zwar „dunkel“, aber viel zu leicht, um ausreichend dunkle Materie zu geben → KATRIN Experiment

Woraus besteht die dunkle Materie?

Wir brauchen ein neues Teilchen



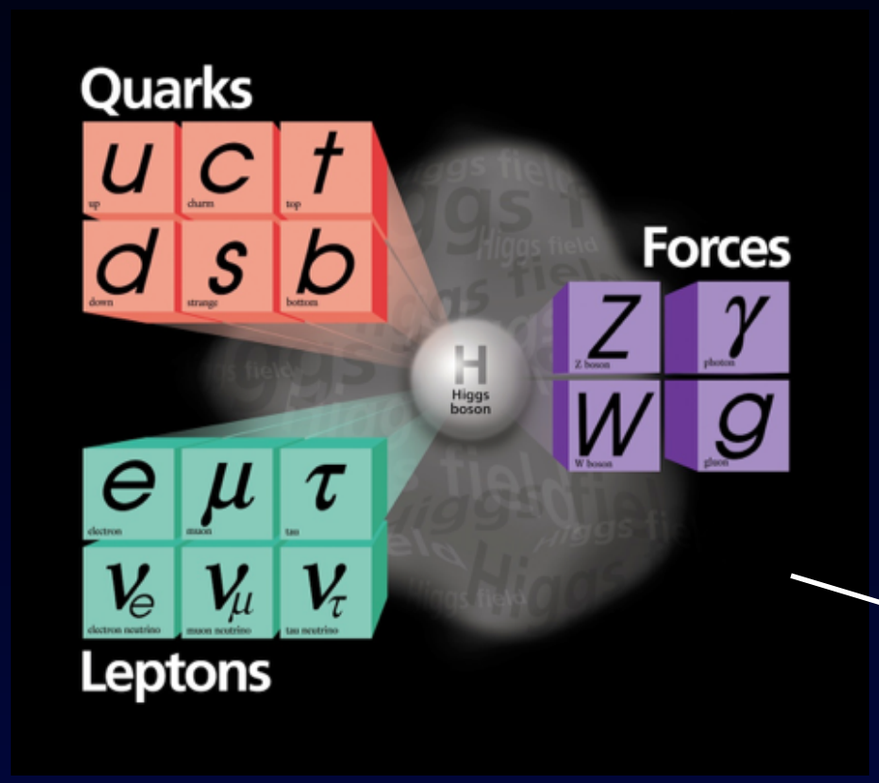
X

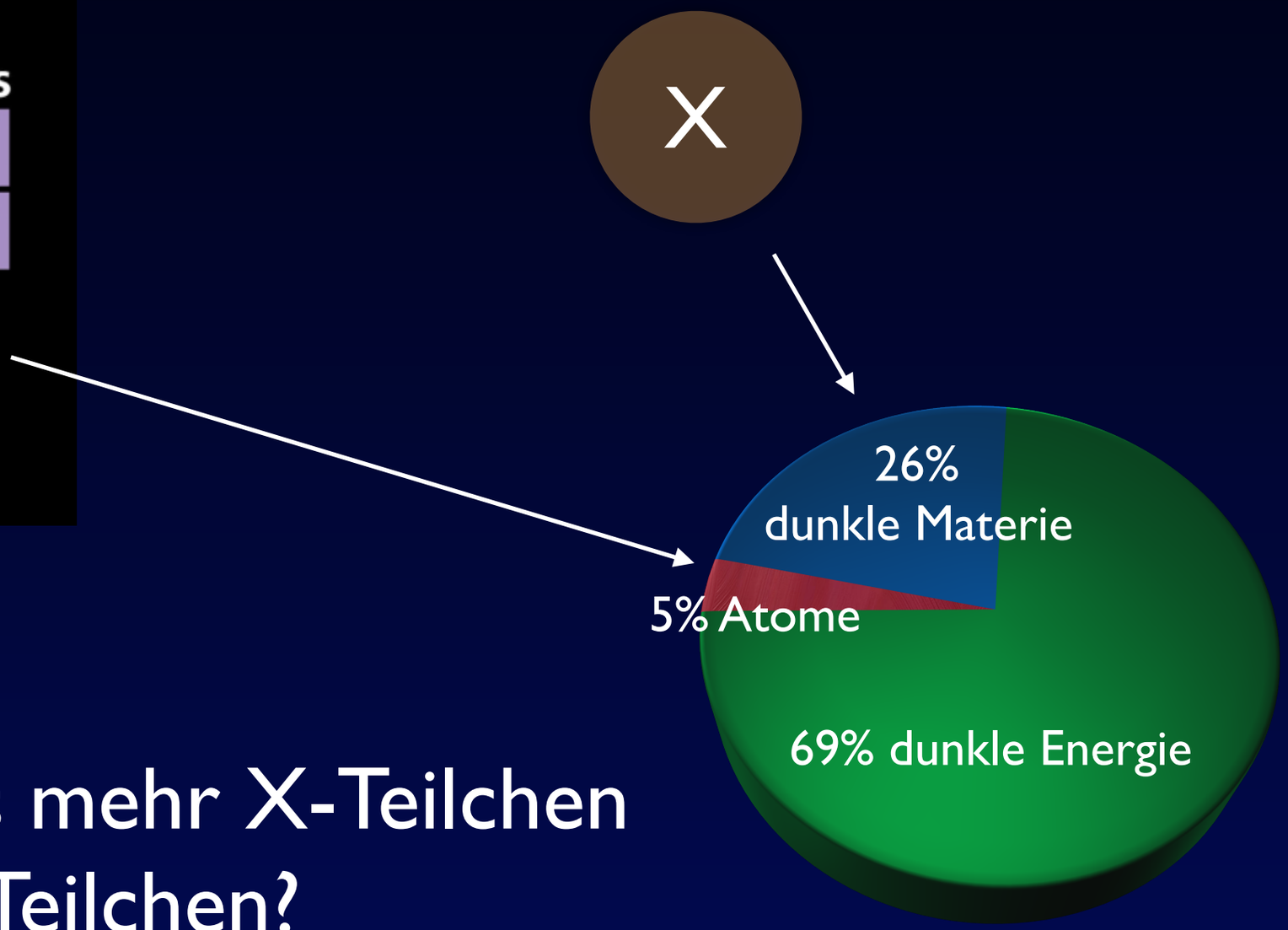
- Wie schwer ist dieses Teilchen?

- handelt es sich um ein „schweres“ Teilchen, vergleichbar z.B. mit dem Higgs-Teilchen (ca. 100 mal schwerer als ein Wasserstoffatom)
- oder ist es extrem leicht, vergleichbar mit Neutrinos?

Woraus besteht die dunkle Materie?

Wir brauchen ein neues Teilchen

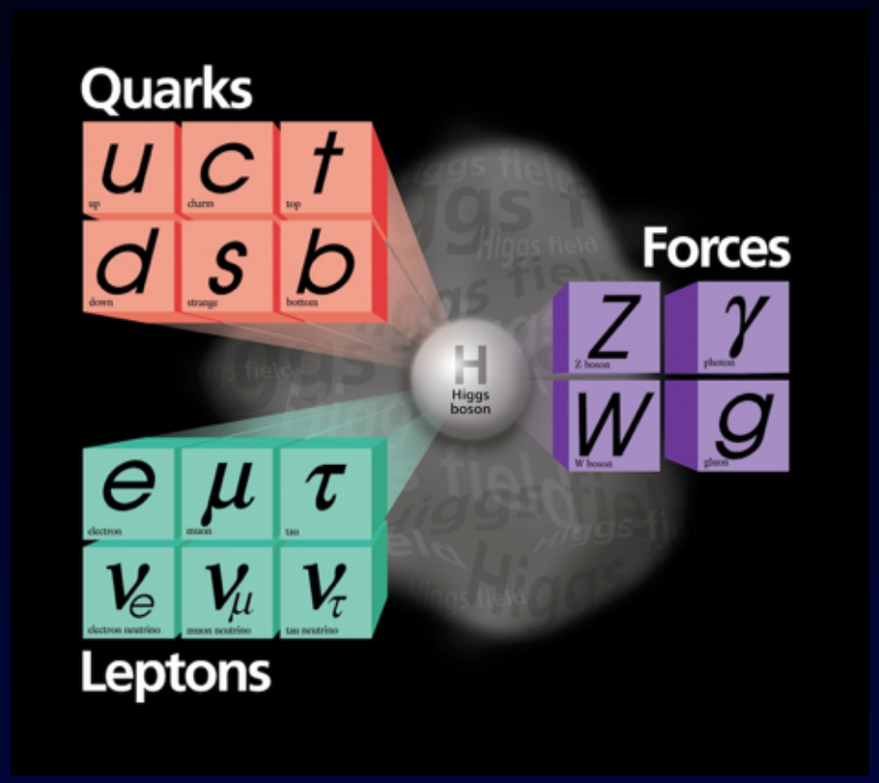


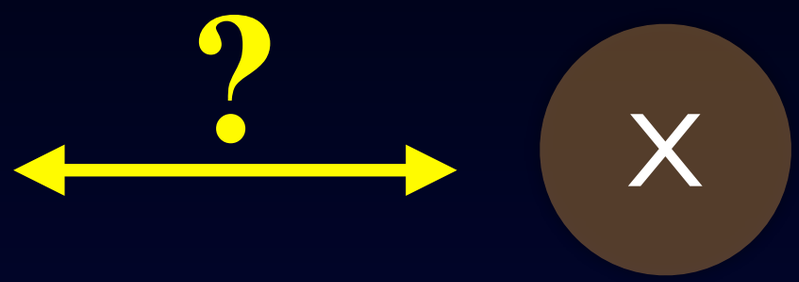


- Warum gibt es mehr X-Teilchen als „normale“ Teilchen?

Woraus besteht die dunkle Materie?

Wir brauchen ein neues Teilchen

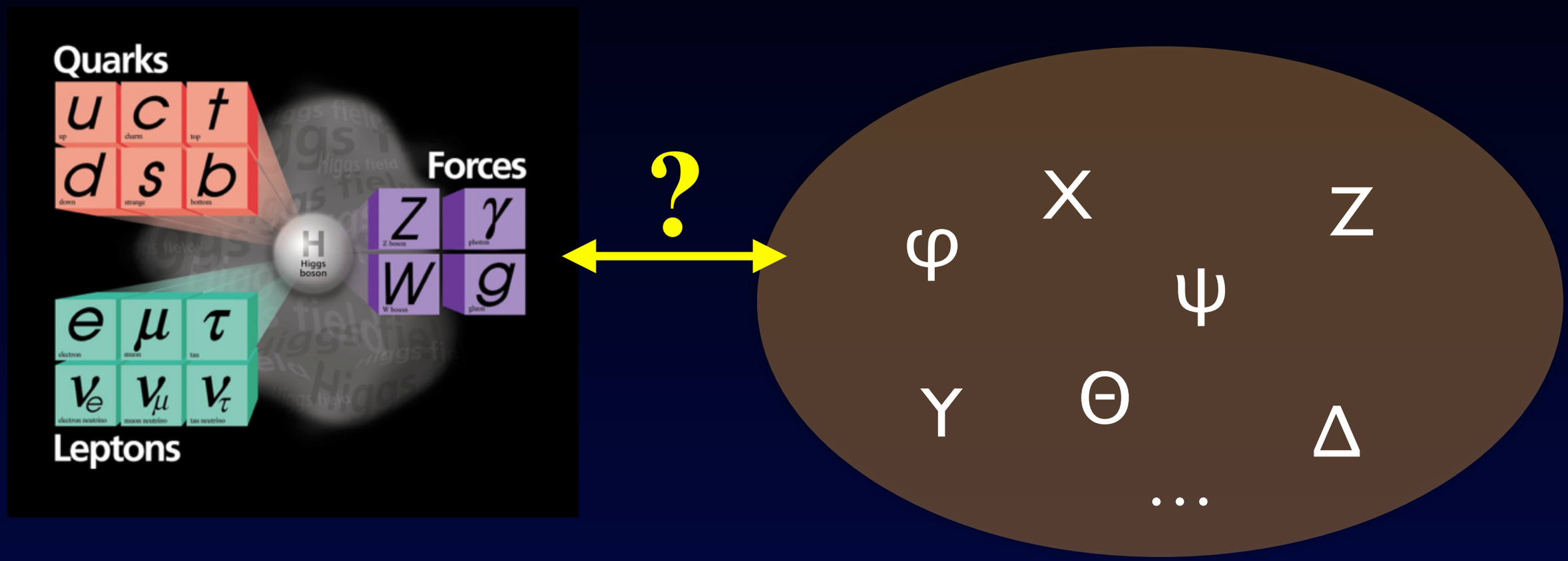




- Welche Wechselwirkung hat dieses Teilchen mit der bekannten Welt?

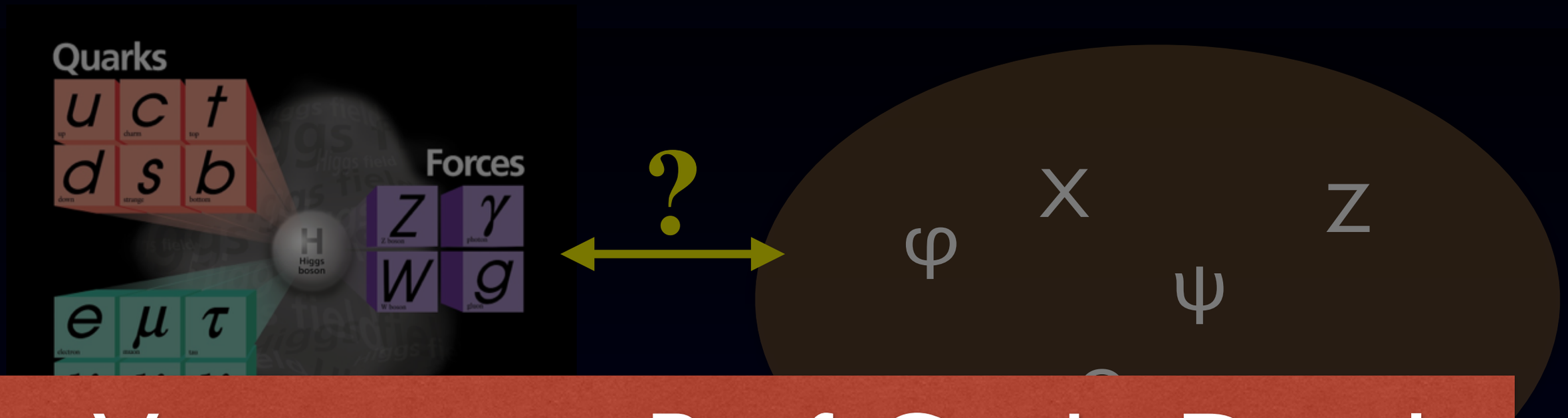
Woraus besteht die dunkle Materie?

Wir brauchen ein neues Teilchen

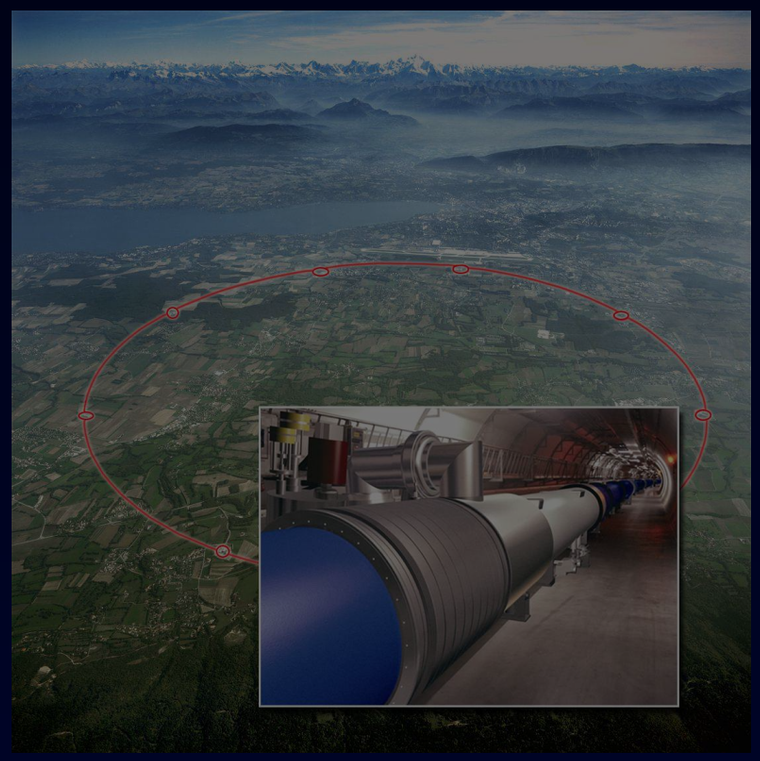


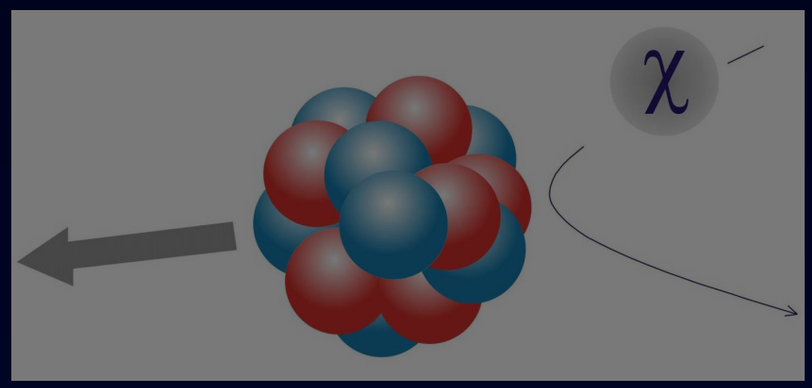
- Gibt es einen „dunklen Sektor“ mit vielen neuen Teilchensorten?

Die Suche nach dem(n) DM Teilchen



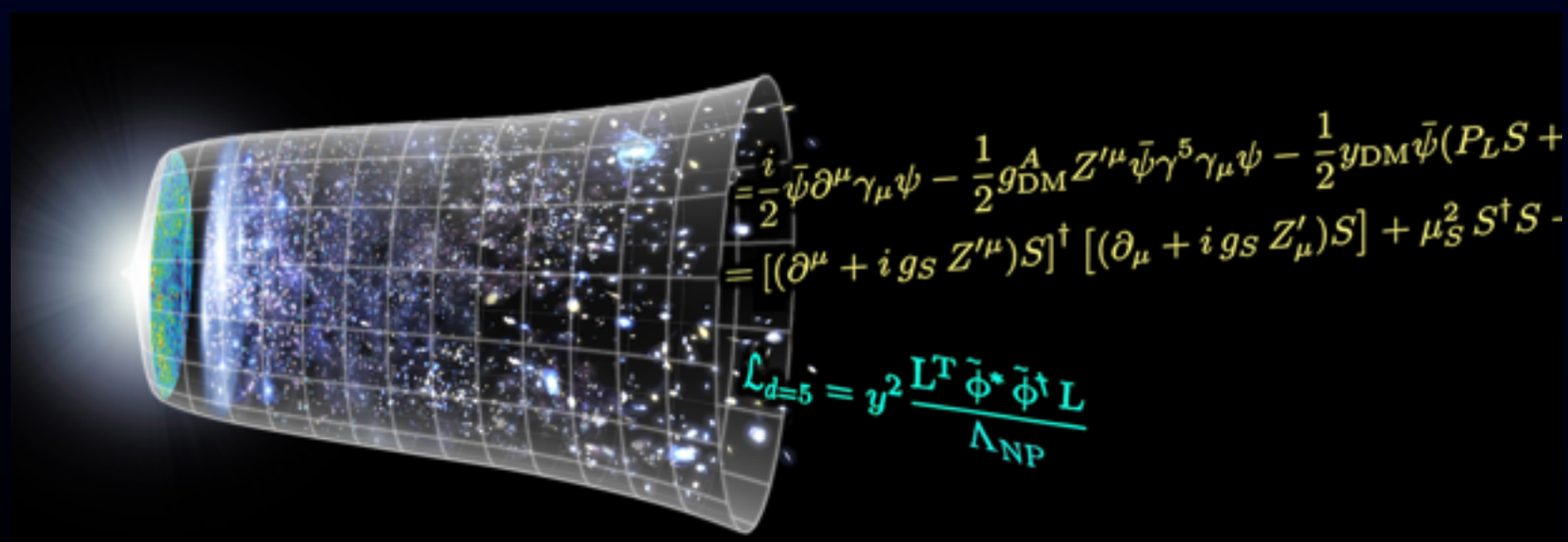
→Vortrag von Prof. Guido Drexlin





Zusammenfassung

- Dunkle Materie ist ein wichtiger Bestandteil unseres Modells des Universums.
- Die Erforschung der Eigenschaften der dunklen Materie ist ein aktives Forschungsfeld, am KIT und weltweit.
- Wir erwarten uns wichtige Aufschlüsse über die Theorie der Elementarteilchen.
- Dunkle Materie könnte der Schlüssel für eine neue Theorie jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik sein.

DON'T BE
AFRAID OF
THE DARK

Danke für Ihr Interesse!