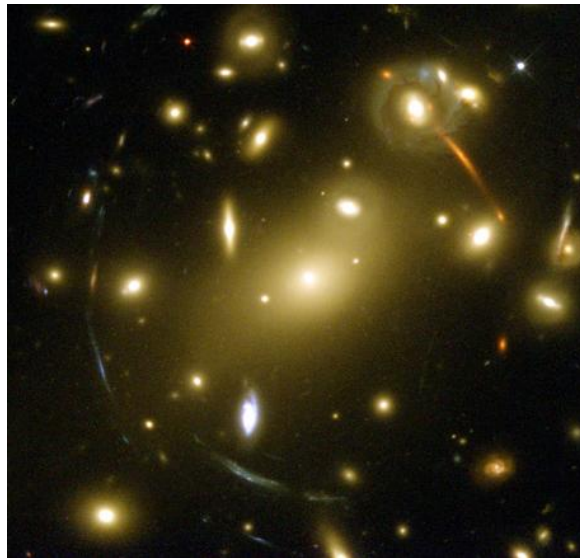


Dunkle Materie

Erhellendes aus Universum und Labor



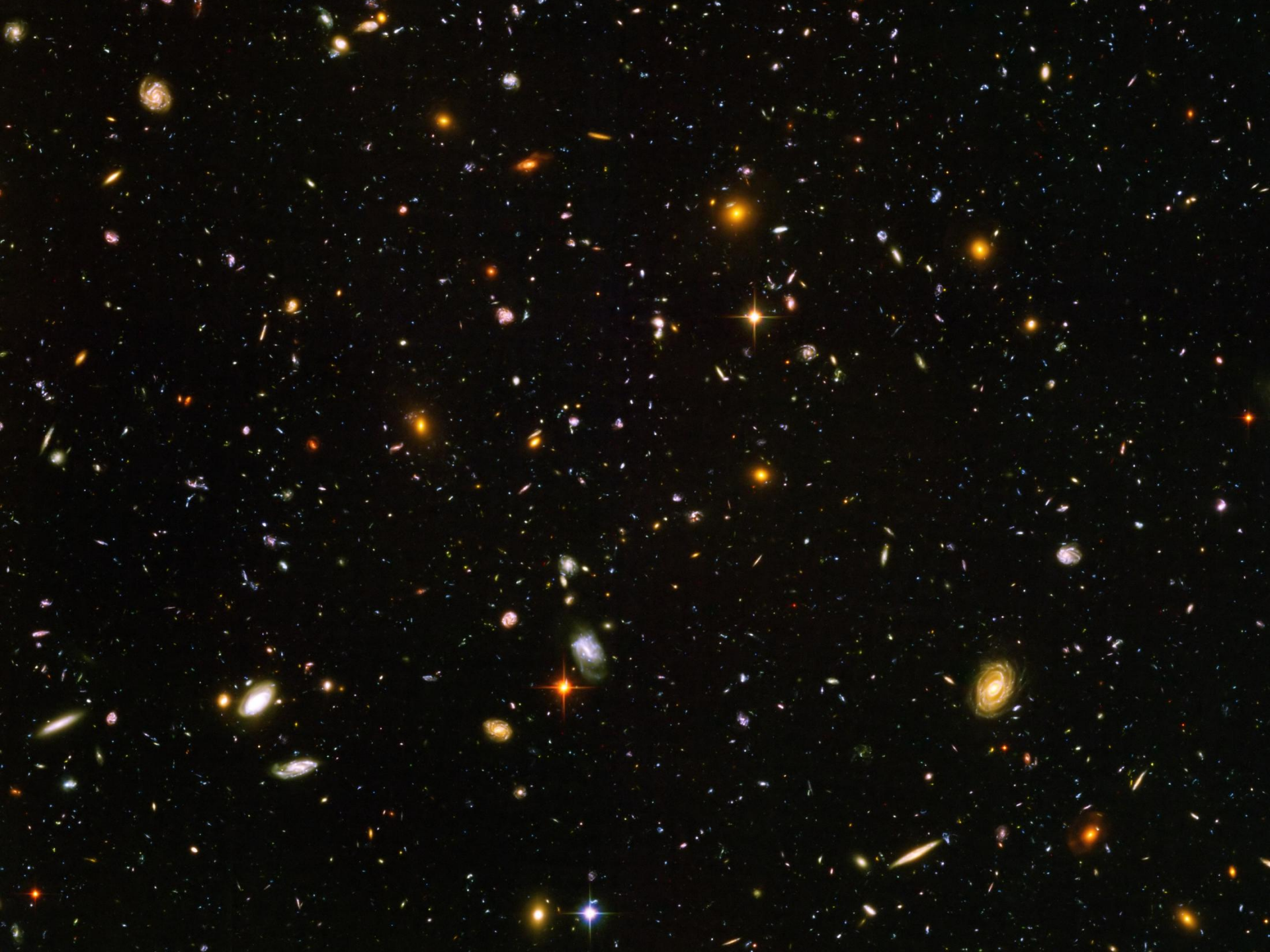
A. Straessner



Physik am Samstag

14. November 2015

- Was ist Dunkle Materie?
- Nachweis Dunkler Materie im Universum
- Suche nach Dunkler Materie “im Labor”



A deep-field astronomical image showing a vast field of galaxies and stars against a black background. The galaxies are of various shapes and sizes, some appearing as bright, diffuse clouds, others as more compact, point-like sources. The stars are small, bright points of light, some with visible diffraction patterns. The overall scene is a dense, colorful mosaic of cosmic objects.

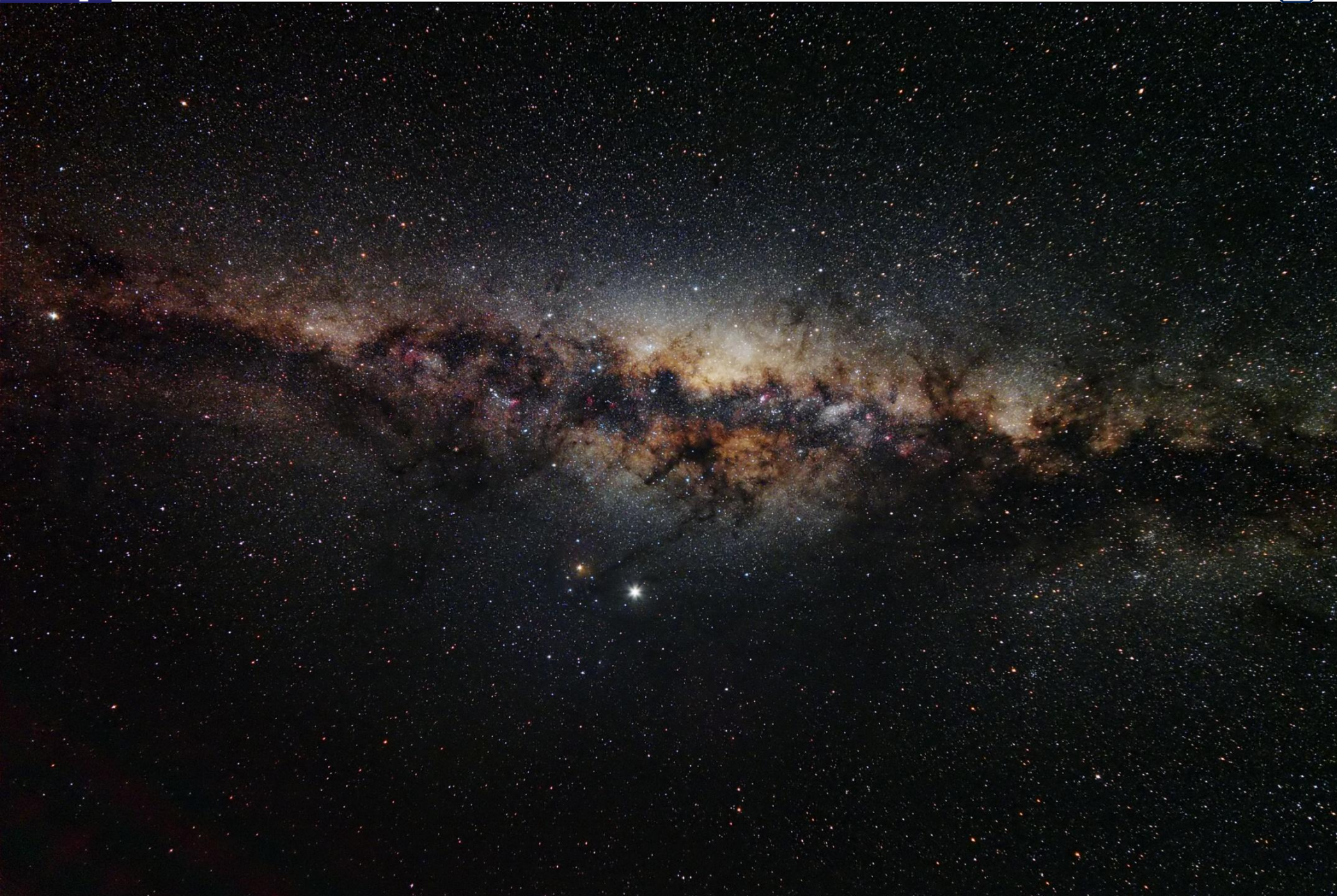
Sterne und Galaxien = leuchtende, sichtbare Materie

nicht nur sichtbares Licht, auch andere Strahlung
(Radiowellen, Infrarot, ...)

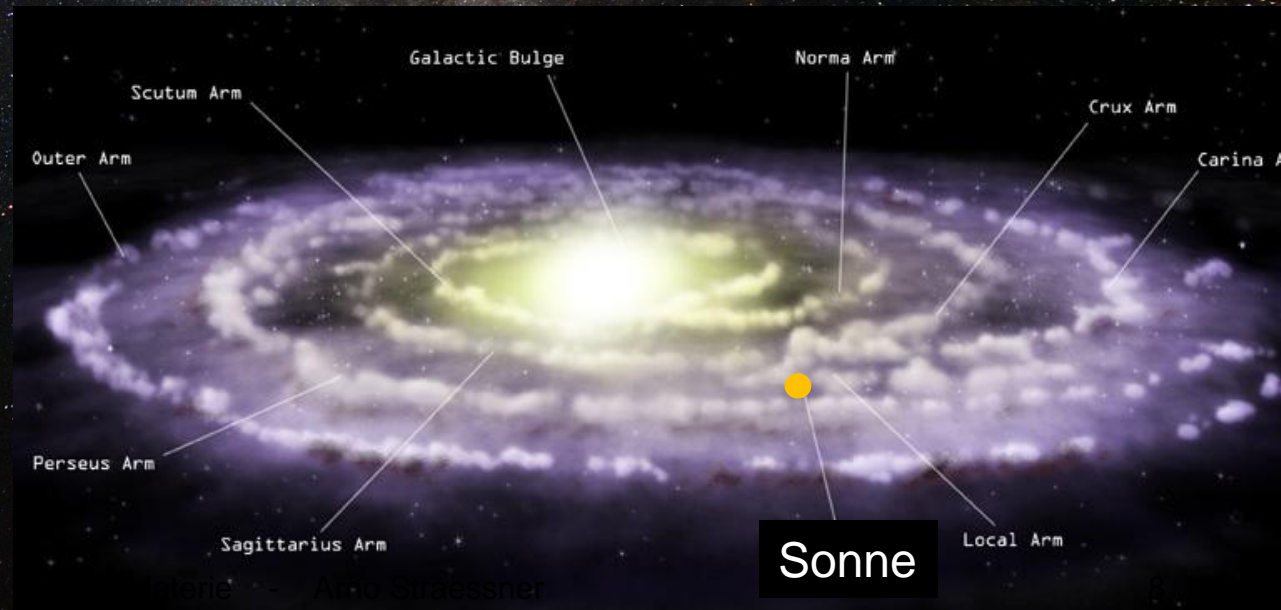
Dunkle Materie

nicht durch Strahlungsemission nachweisbar

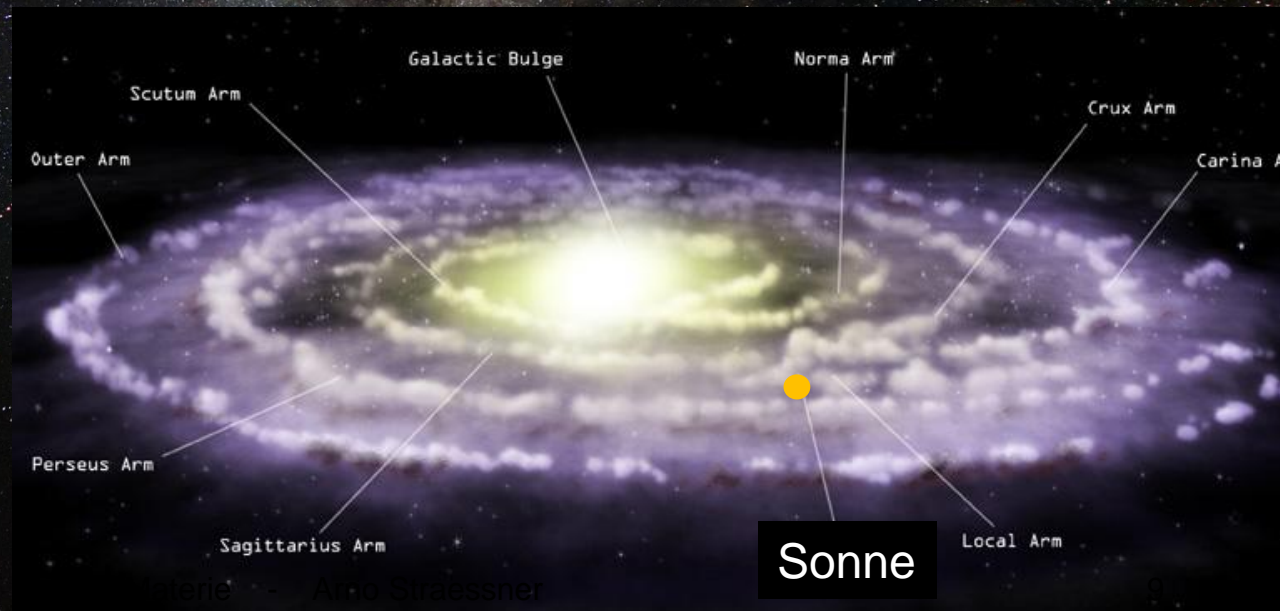
Wenn man sie nicht sieht,
woher weiß man, dass es Dunkle Materie gibt?



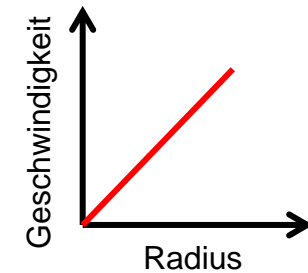
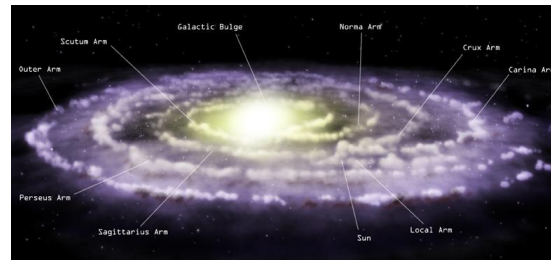
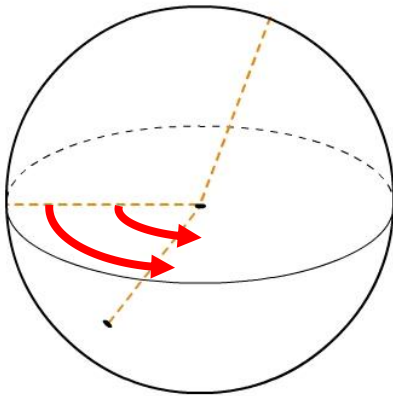
- Spiralgalaxie



- Spiralgalaxie
 - rotierende Sterne um das galaktische Zentrum
- Gravitation

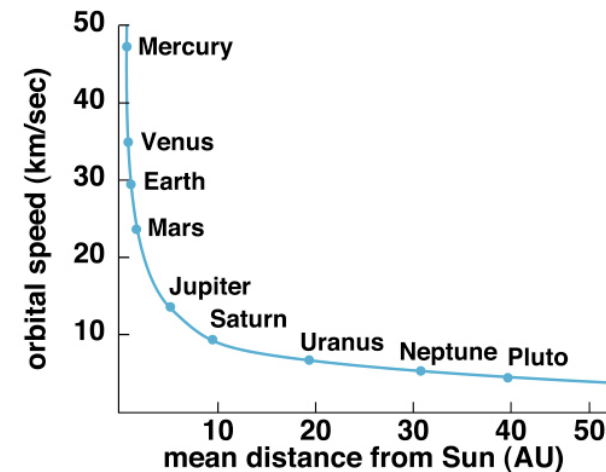
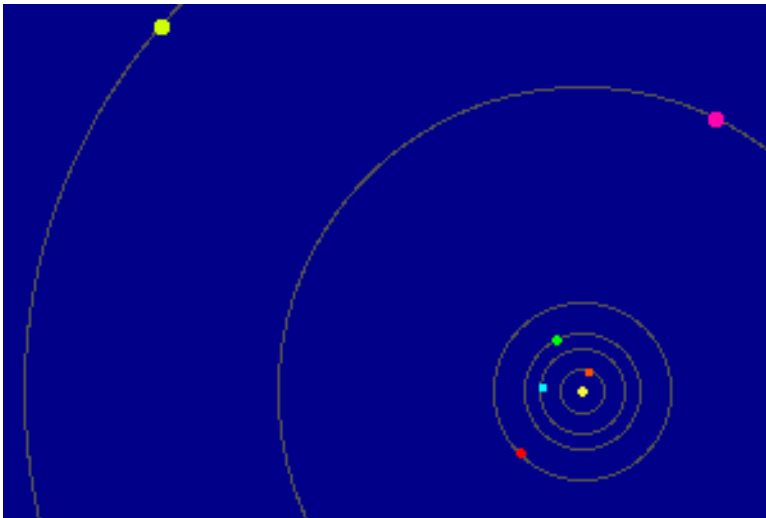


- Sterne im galaktischen Zentrum kreisen wie eine feste Kugel um Mittelpunkt



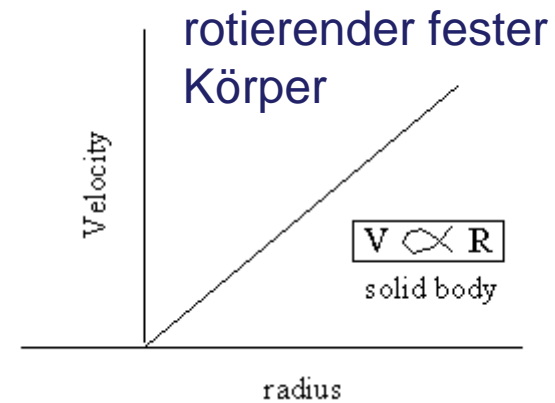
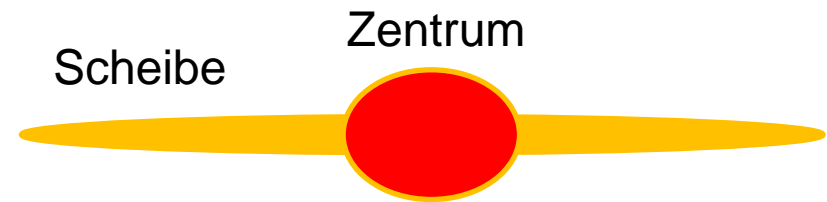
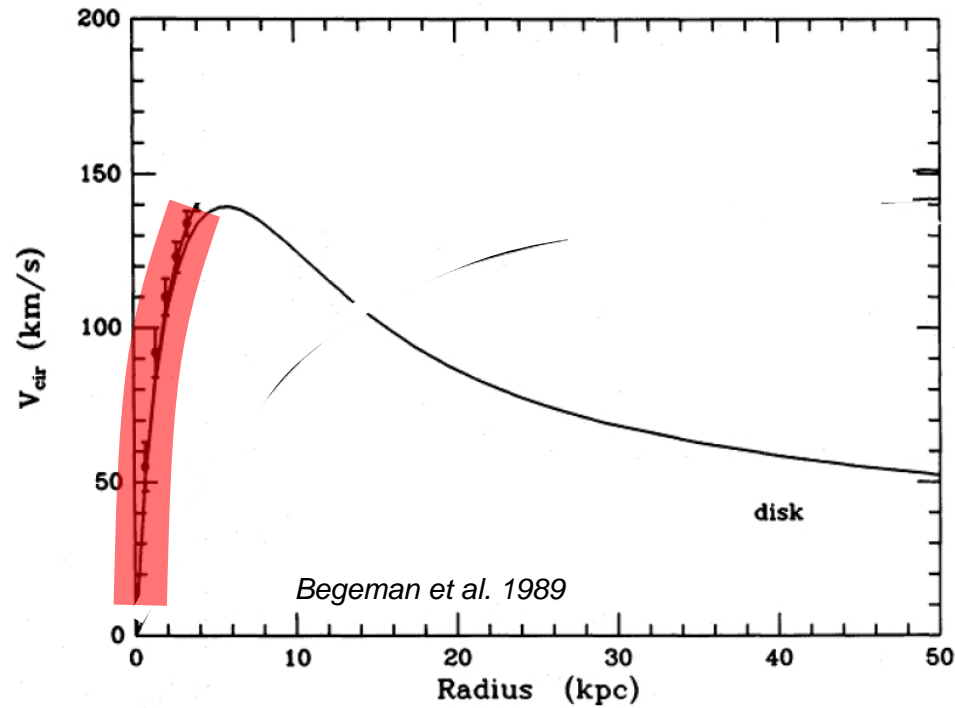
→ Geschwindigkeit nimmt linear zu mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt

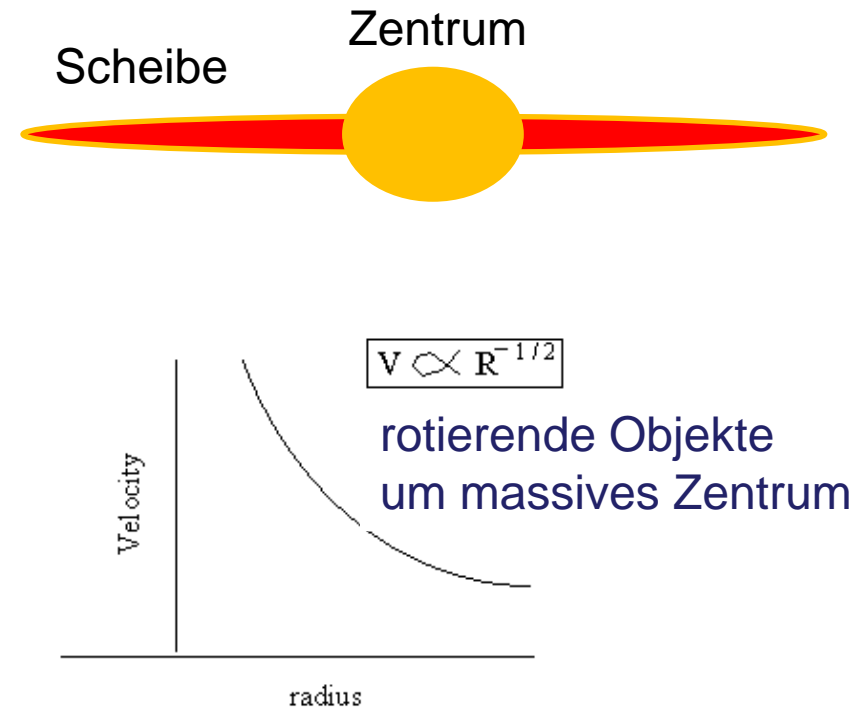
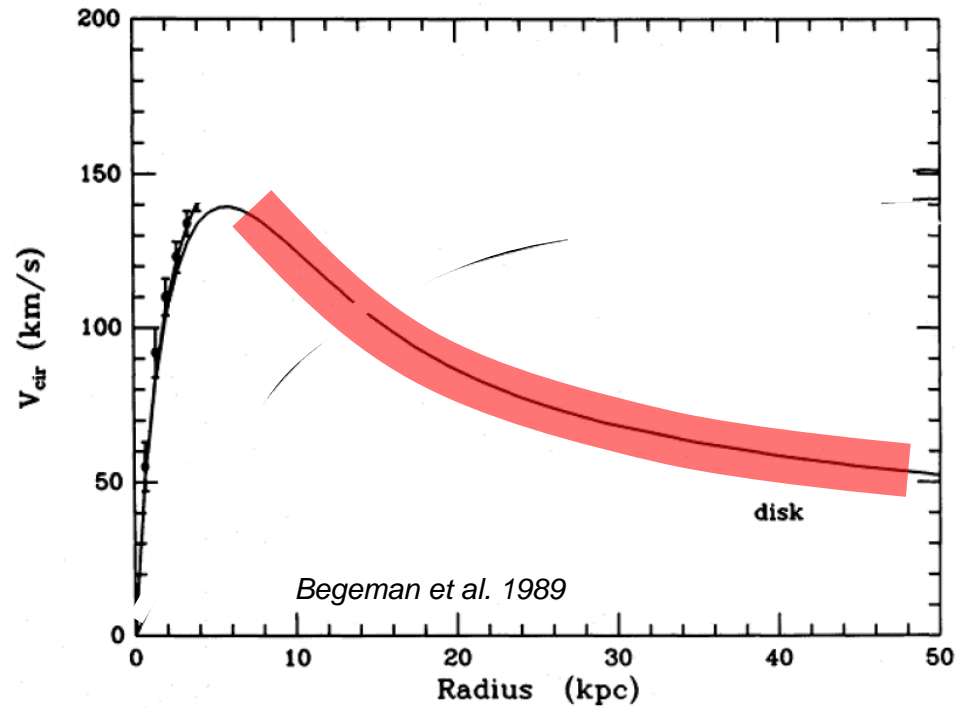
- Äußere Sterne kreisen um galaktisches Zentrum wie Planeten um die Sonne



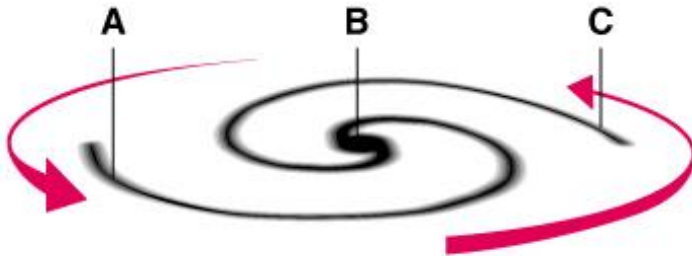
(b)
Copyright © Addison Wesley

→ Geschwindigkeit nimmt mit zunehmendem Abstand ab



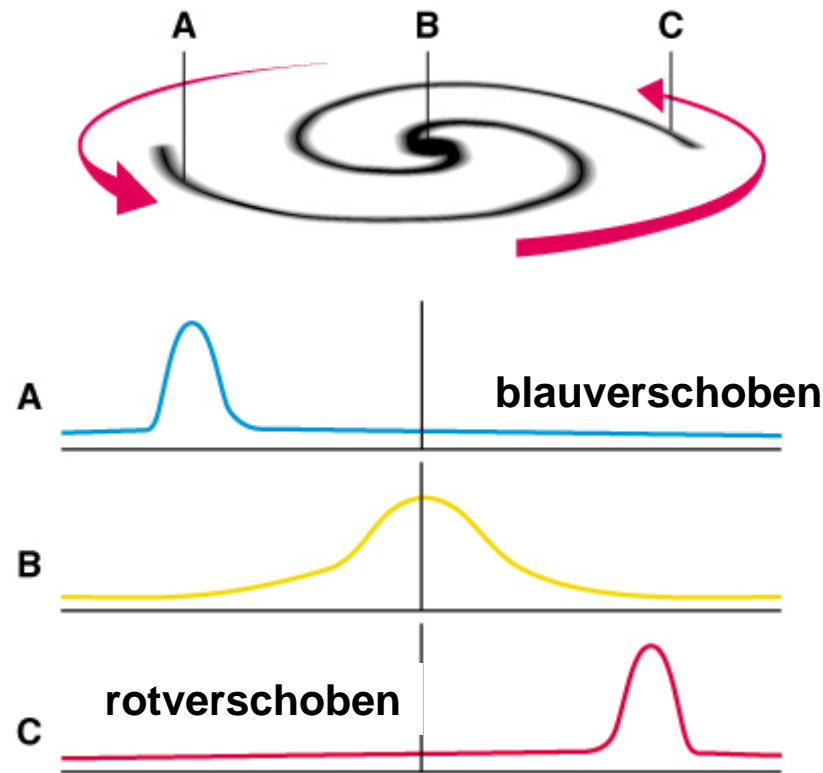


- Bestimmung der Bewegungsgeschwindigkeit anhand des Dopplereffekts
- Beim Martinshorn: Verschiebung der Tonhöhe:

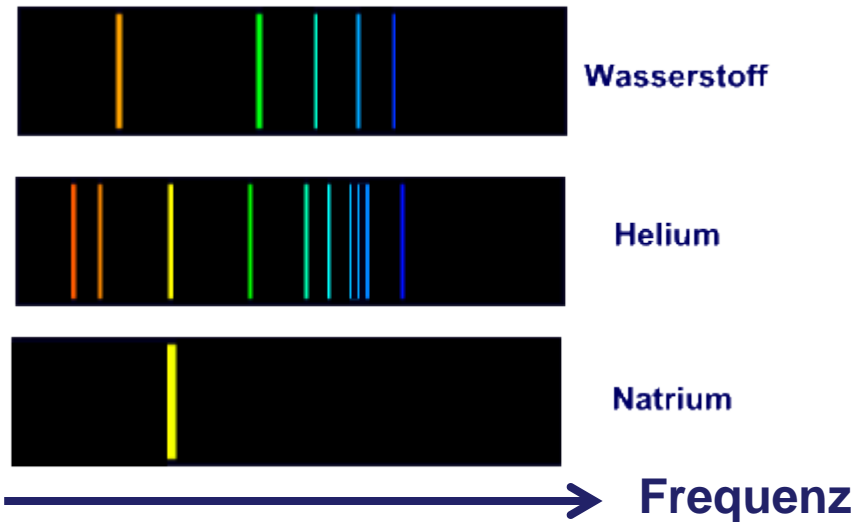


- A: Quelle bewegt sich auf Beobachter zu \rightarrow höherer Ton = höhere Frequenz
- B: Quelle entfernt sich von Beobachter \rightarrow niedrigerer Ton = niedrigere Frequenz

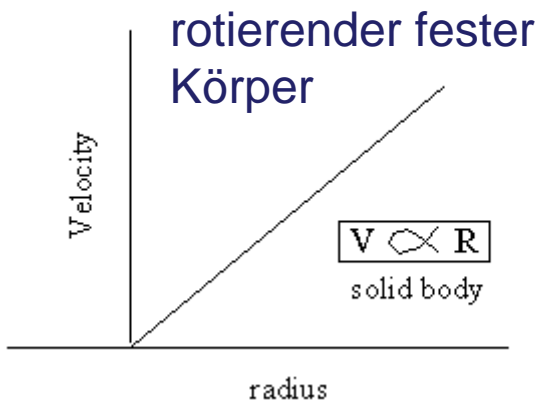
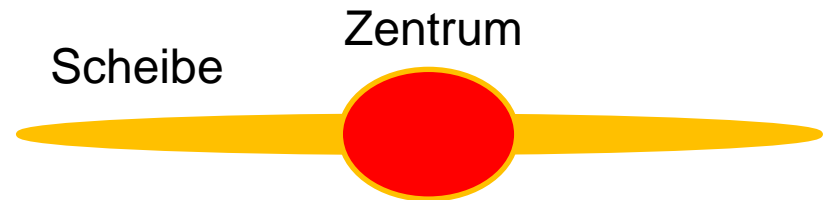
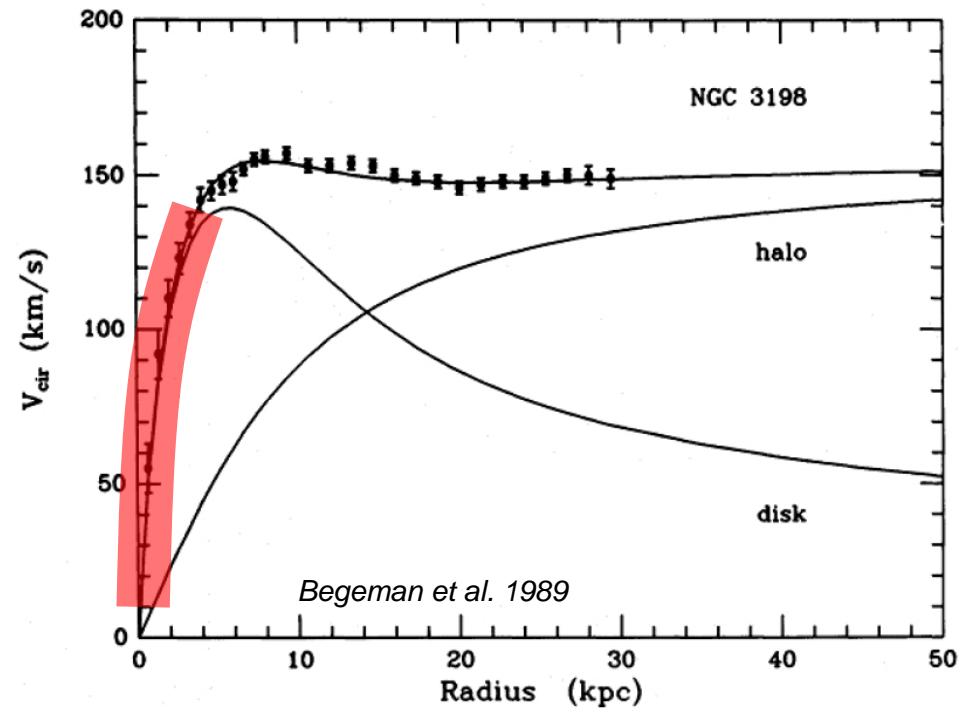
- Verschiebung bekannter Spektrallinien von Atomen und Molekülen

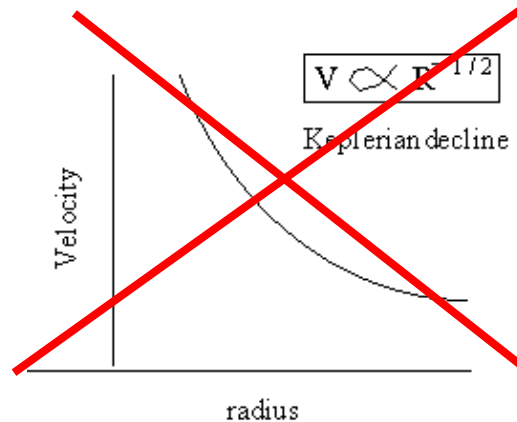
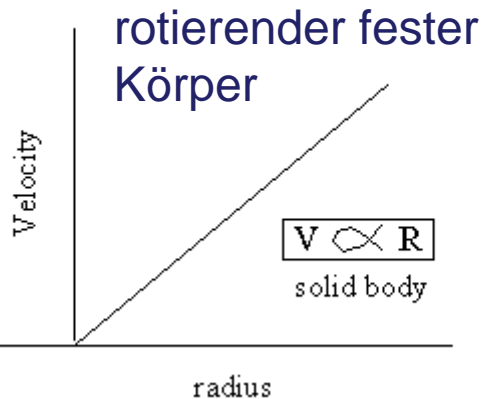
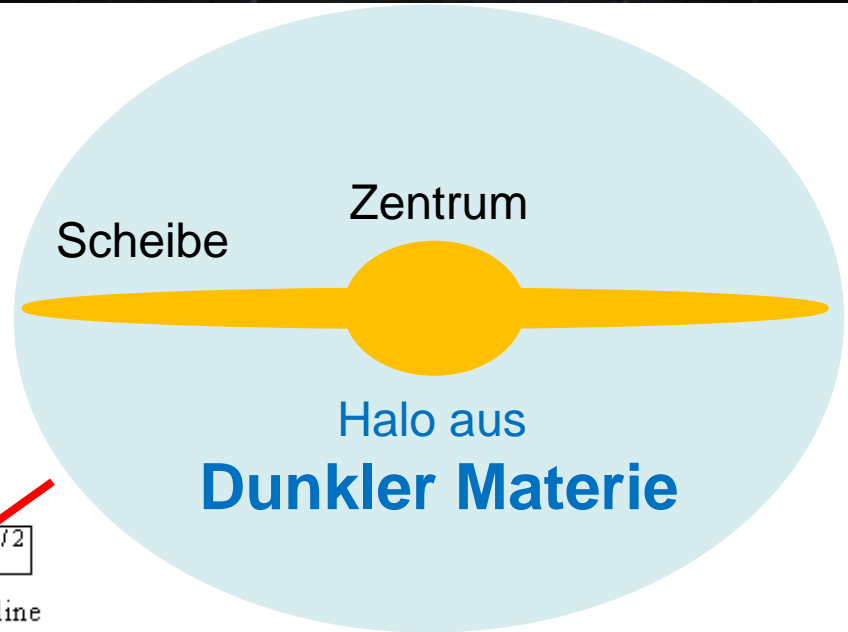
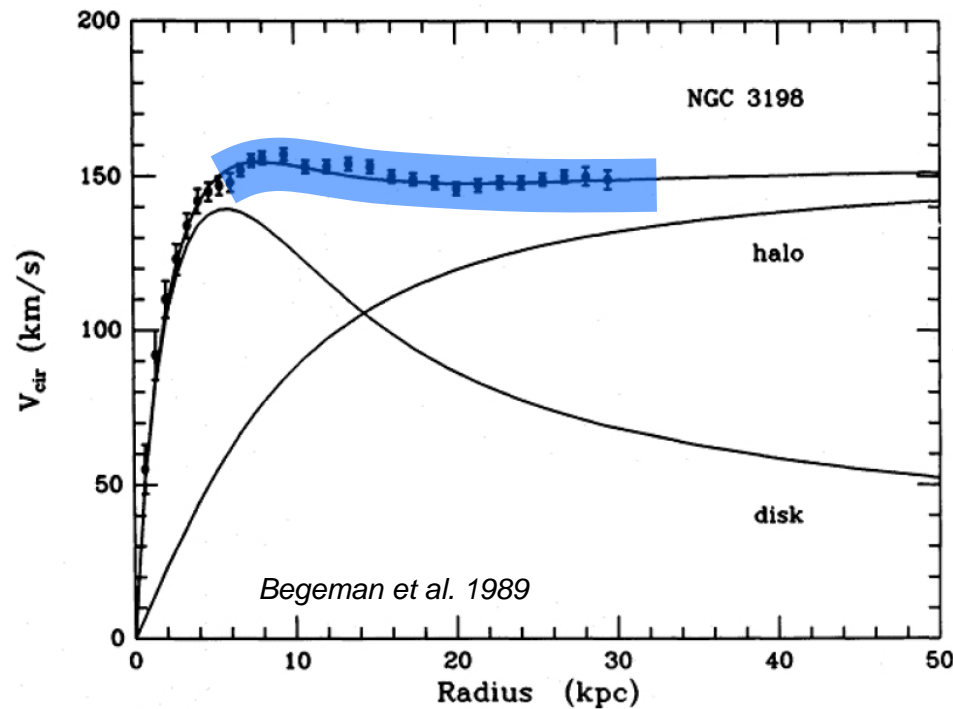


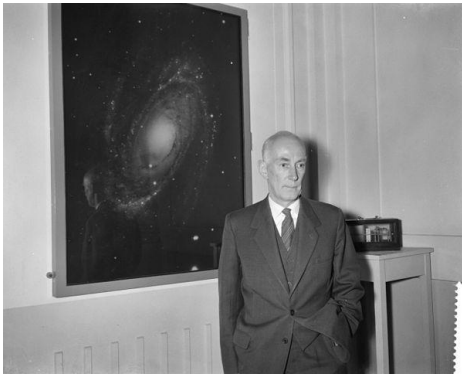
Emissionsspektren (ruhende Quelle)



- A: höhere Frequenz: Licht wird nach "blau" verschoben
- B: niedrigere Frequenz: Licht wird "rot" verschoben







1932 August 17

Volume VI.

No. 238.

COMMUNICATION FROM THE OBSERVATORY AT LEIDEN.

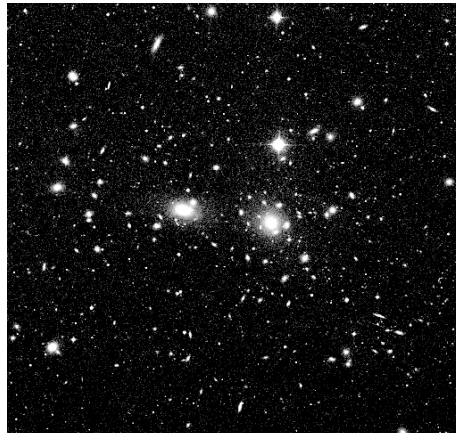
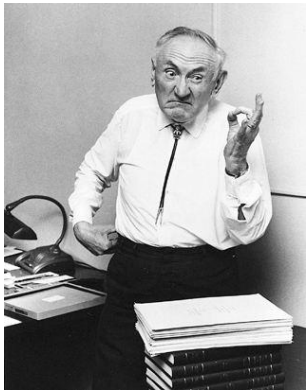
The force exerted by the stellar system in the direction perpendicular to the galactic plane and some related problems, by *J. H. Oort*.

There is an indication that the invisible mass is more strongly concentrated to the galactic plane than that of the visible stars (Table 33).

Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln

von **F. Zwicky**.

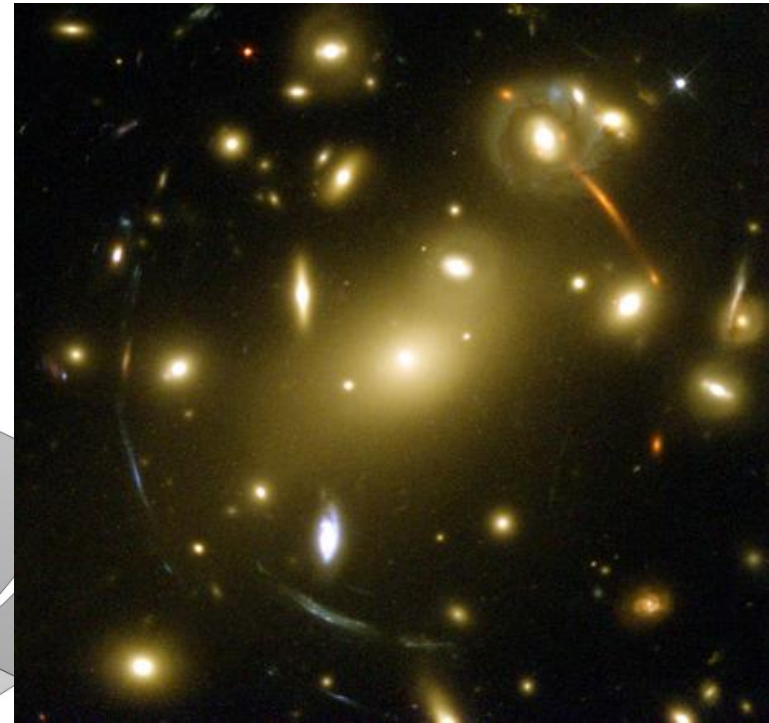
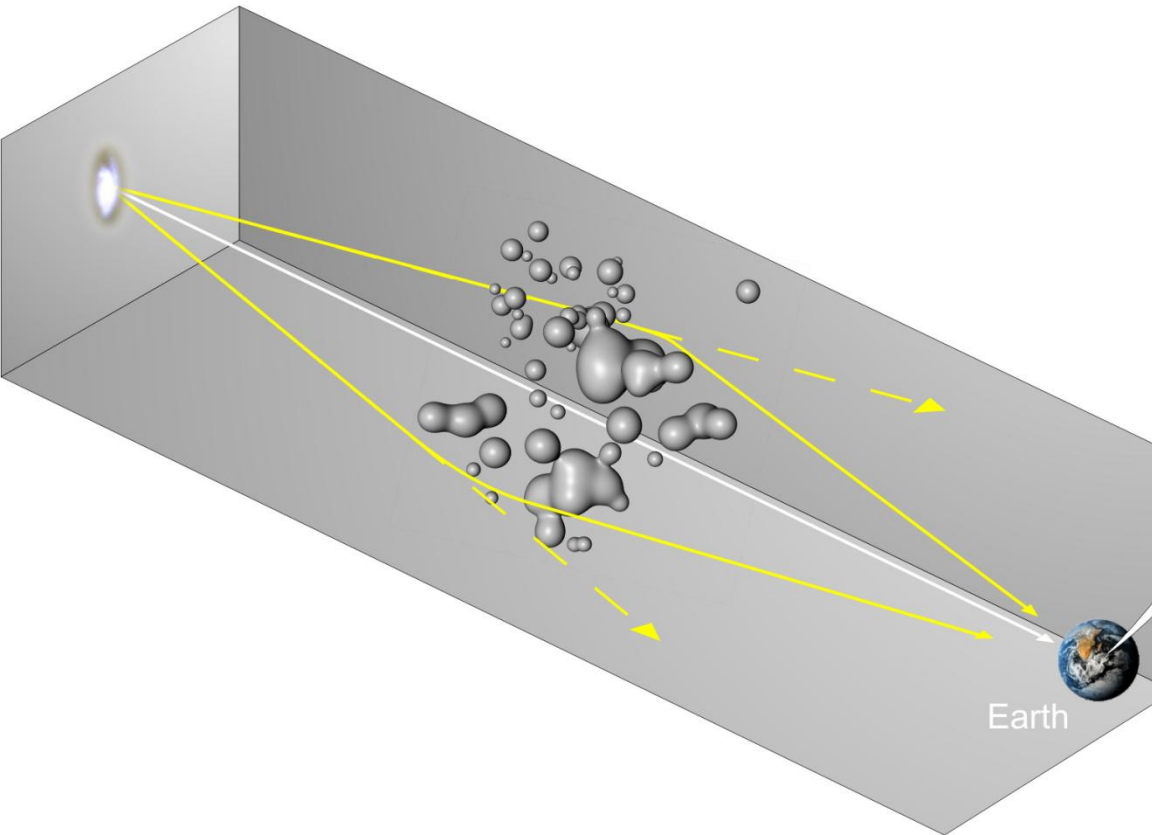
(16. II. 33.)



Falls sich dies bewahrheiten sollte, würde sich also das überraschende Resultat ergeben, dass dunkle Materie in sehr viel grösserer Dichte vorhanden ist als leuchtende Materie.

§ 5. Bemerkungen zur Streuung der Geschwindigkeiten im Coma-Nebelhaufen.

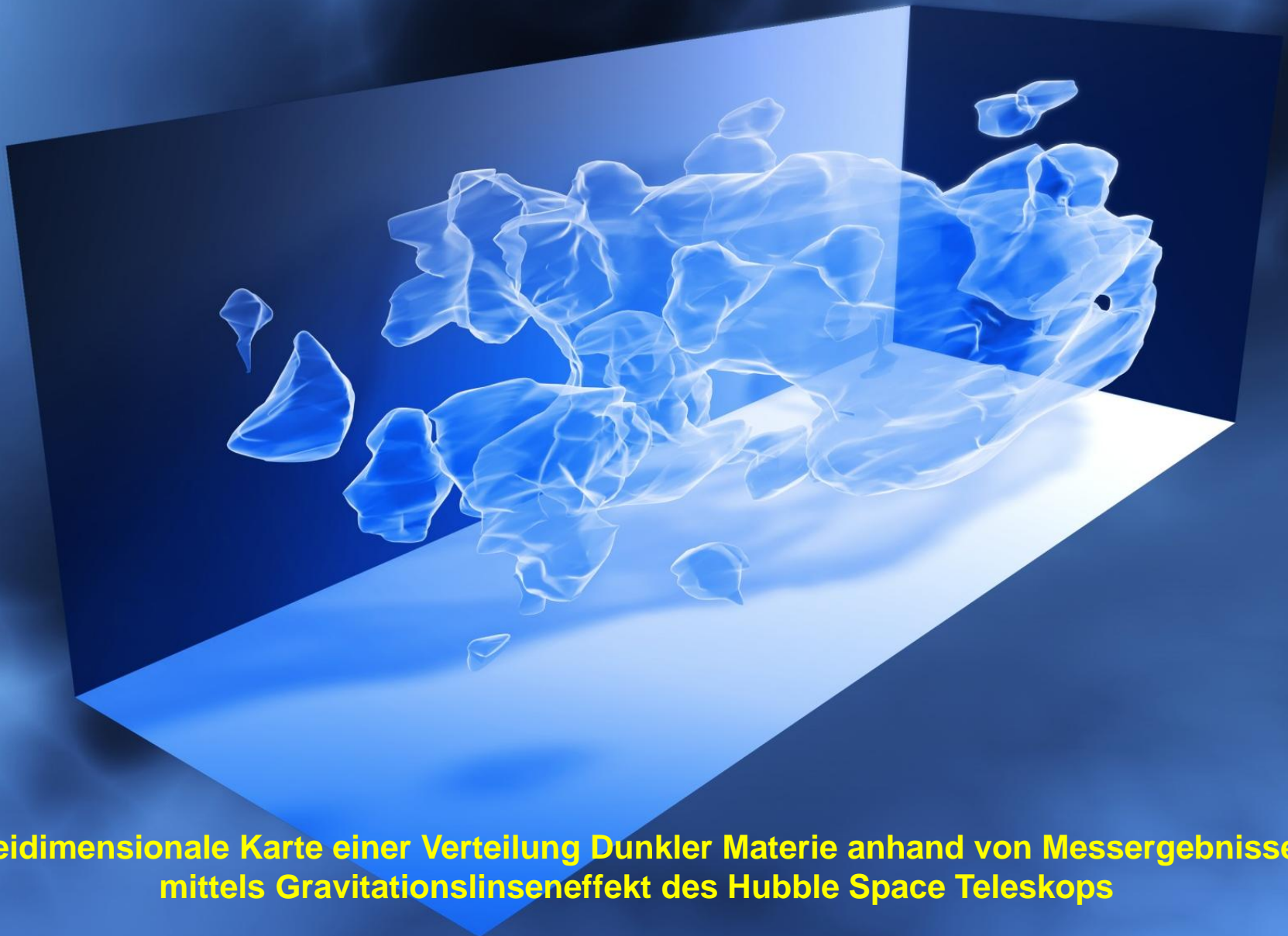
- Das Licht weit entfernter Galaxien wird im Gravitationsfeld naher Galaxien und Massenverteilungen abgelenkt wie von einer optischen Linse



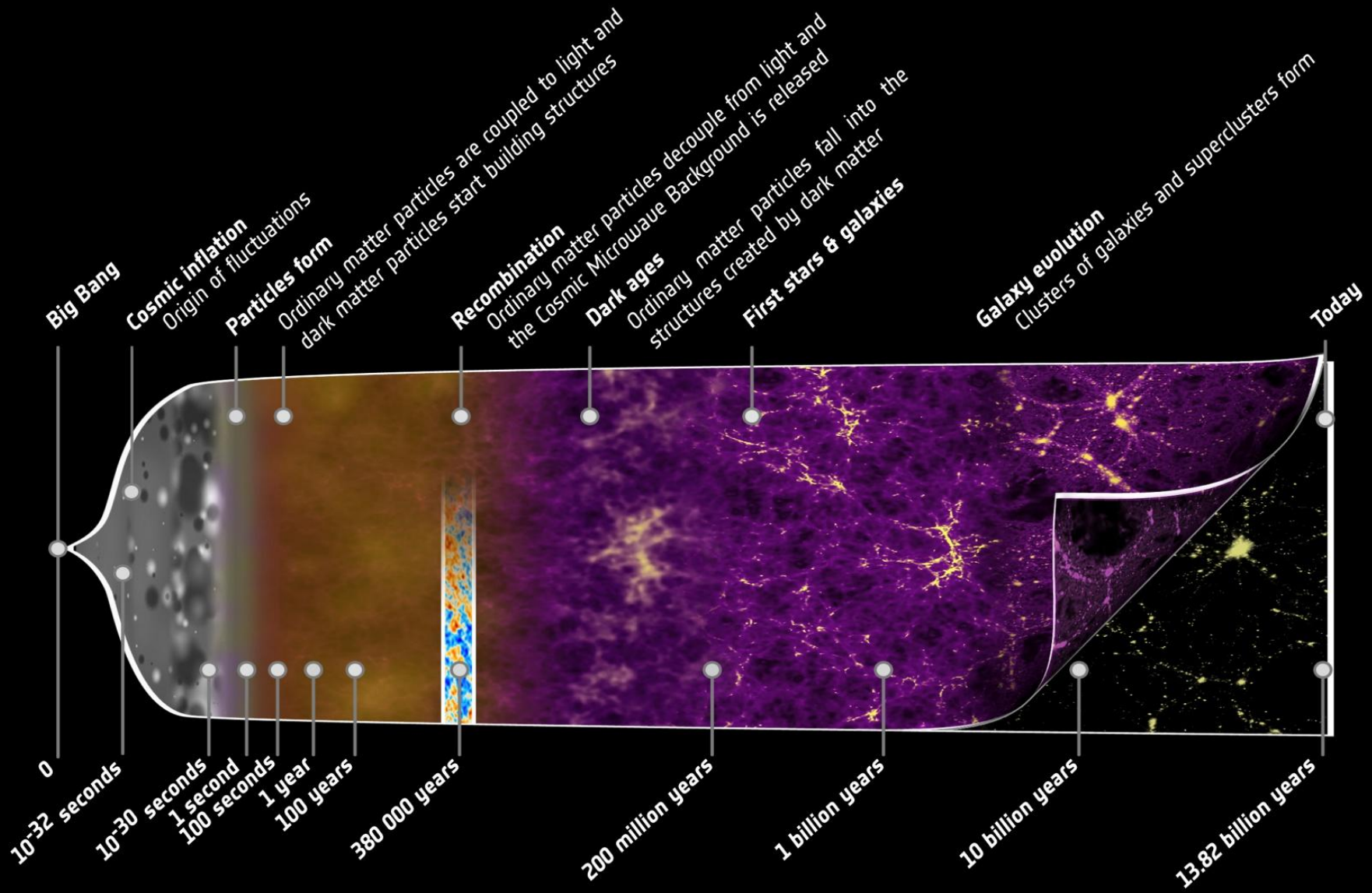
- Mit dem Hubble Space Telescope wurden solche Gravitationslinsen genau vermessen
- Ergebnis: die Masse, die zur Ablenkung nötig ist, ist größer als von den leuchtenden Objekten erwartet

→ **Dunkle Materie**

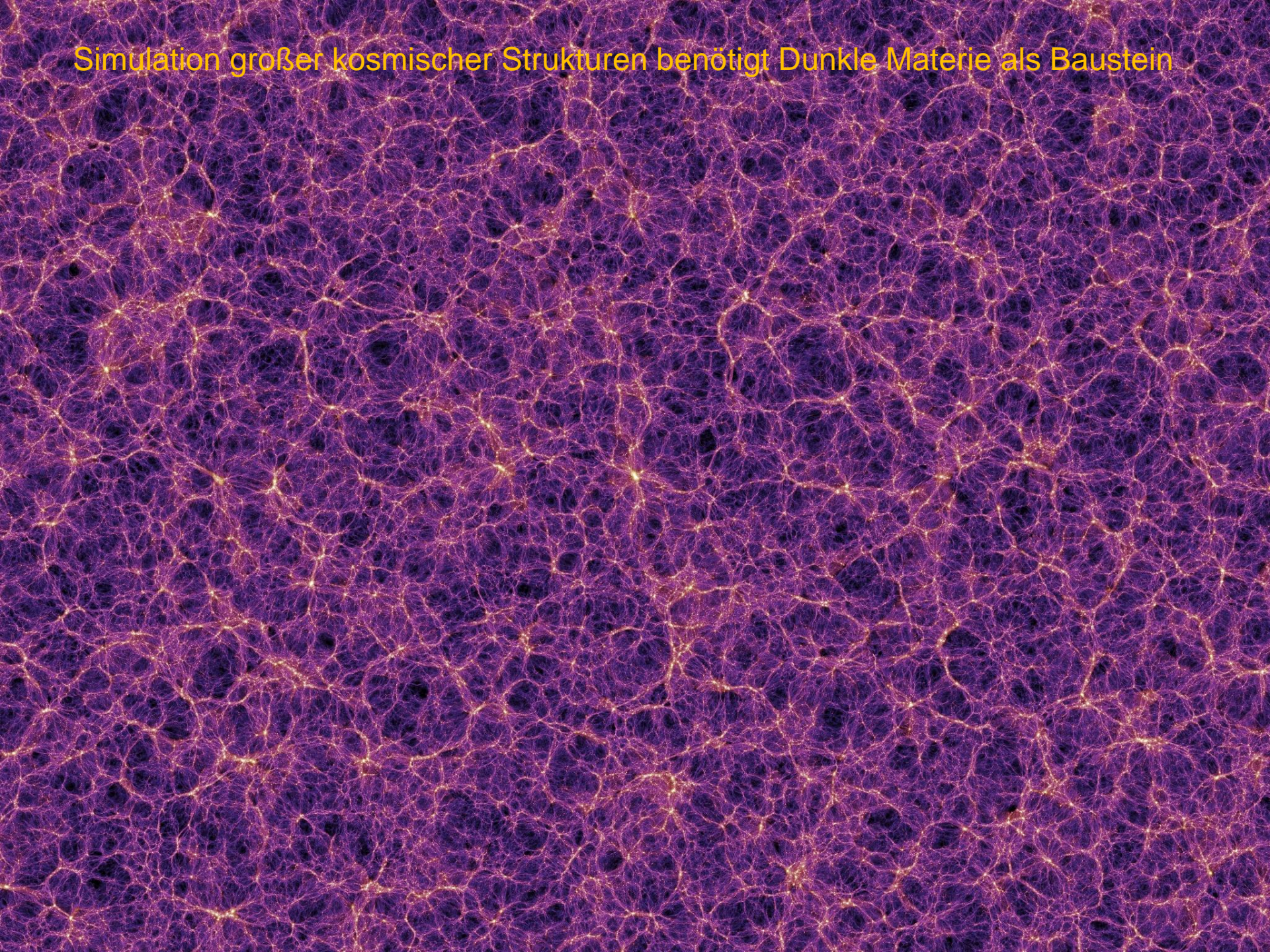




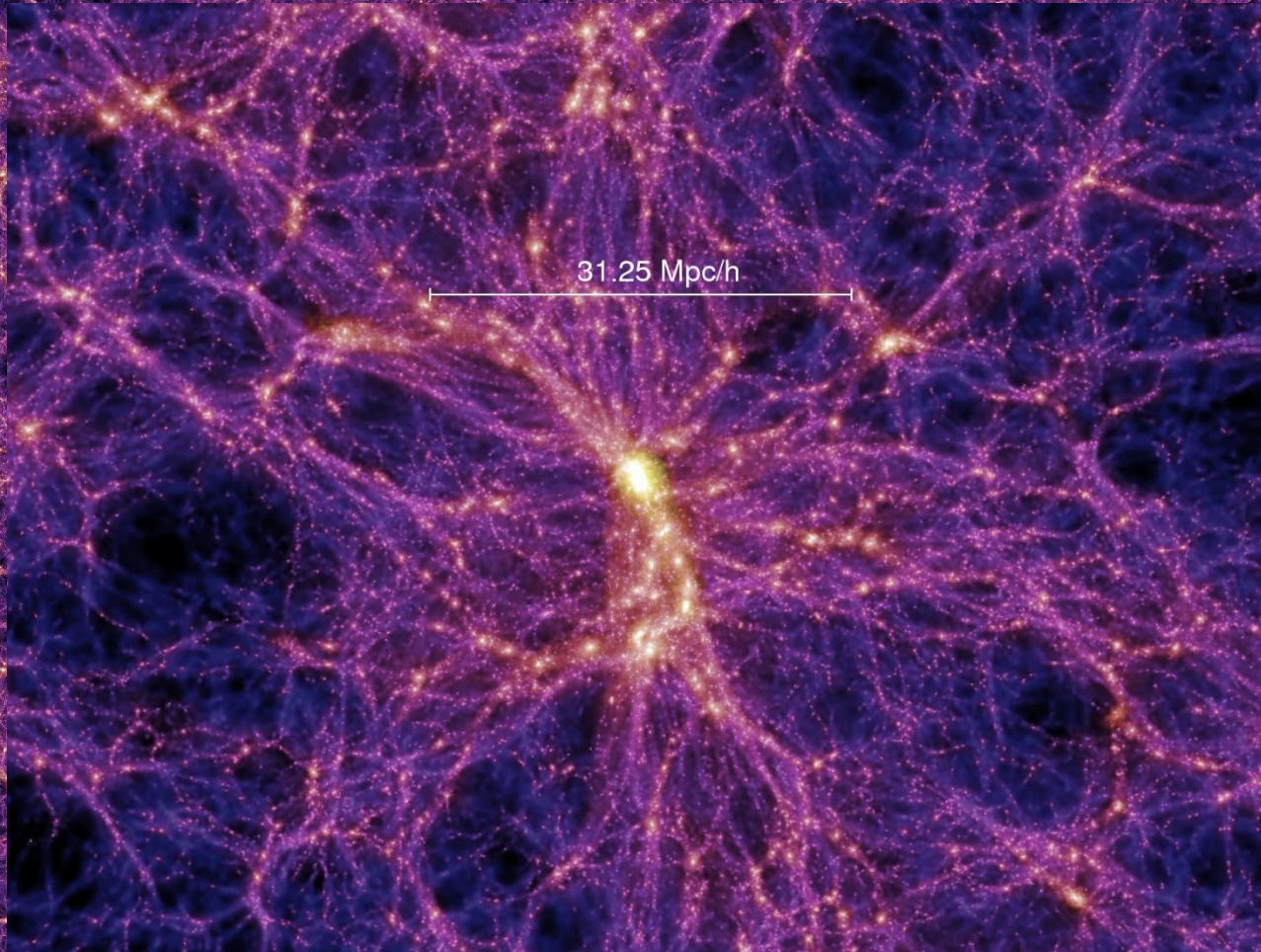
**Dreidimensionale Karte einer Verteilung Dunkler Materie anhand von Messergebnissen
mittels Gravitationslinseneffekt des Hubble Space Teleskops**



Simulation großer kosmischer Strukturen benötigt Dunkle Materie als Baustein

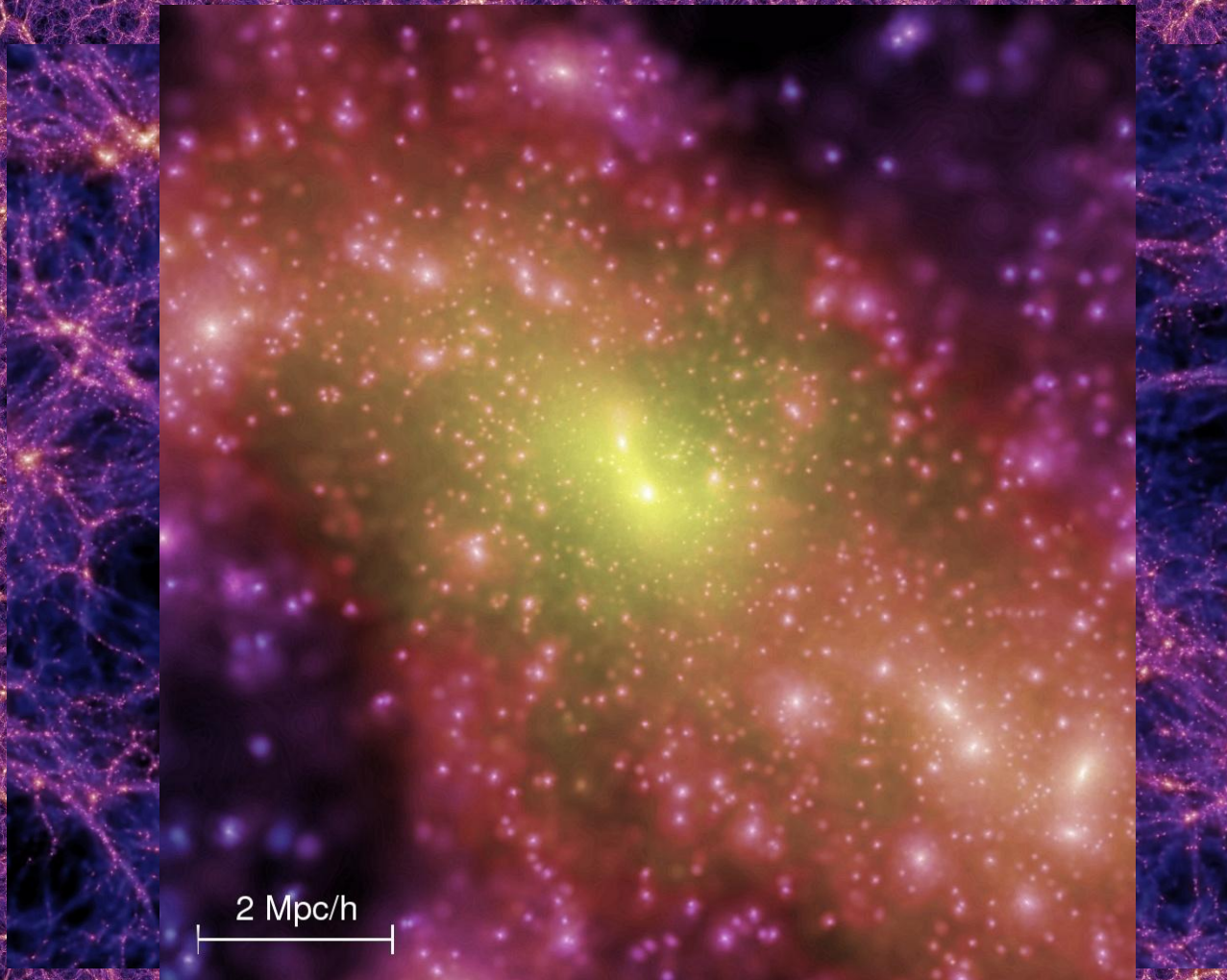


Simulation großer kosmischer Strukturen benötigt Dunkle Materie als Baustein



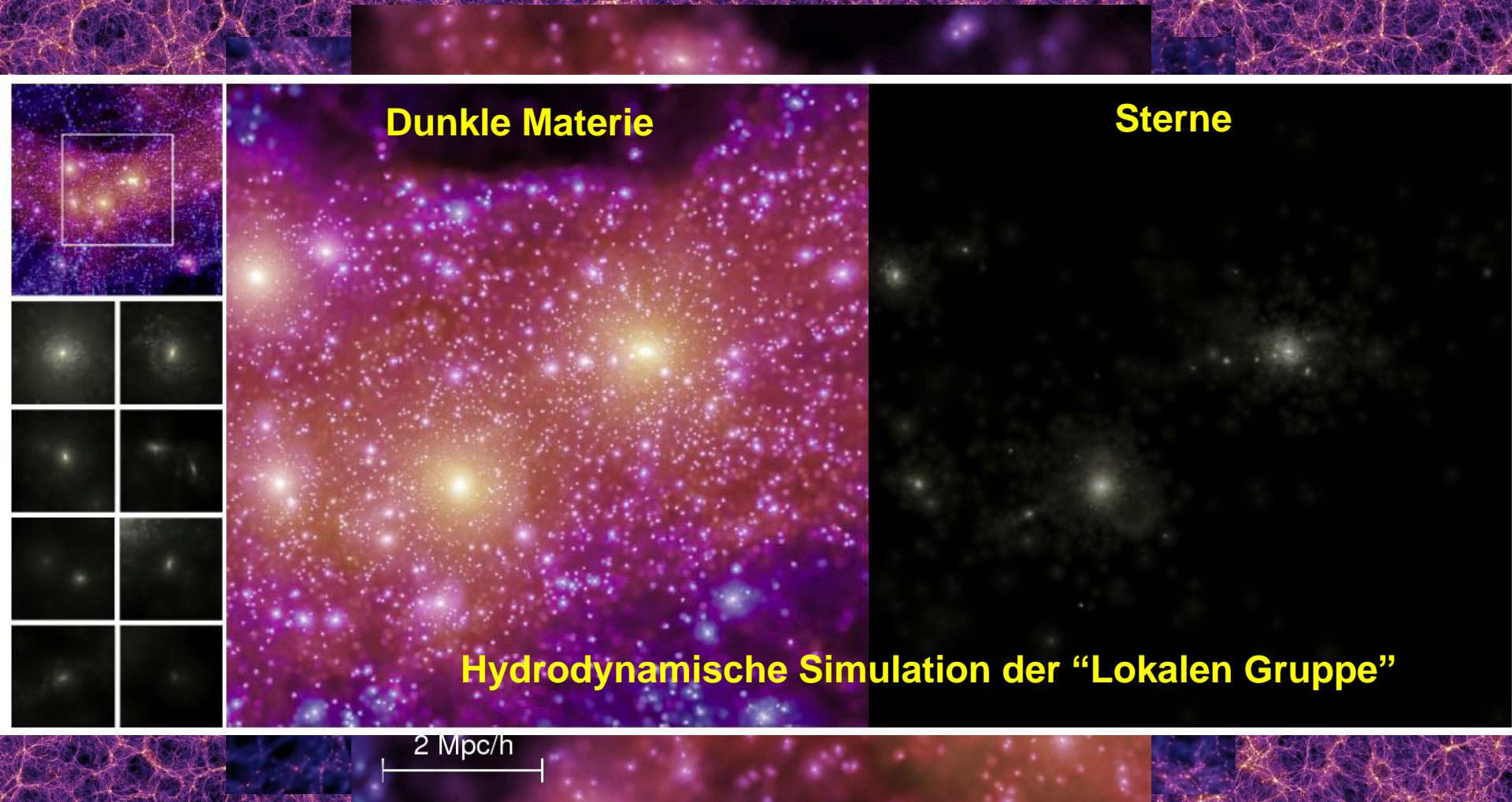
1 pc = 3×10^{15} m = 3 Lichtjahre

Simulation großer kosmischer Strukturen benötigt Dunkle Materie als Baustein



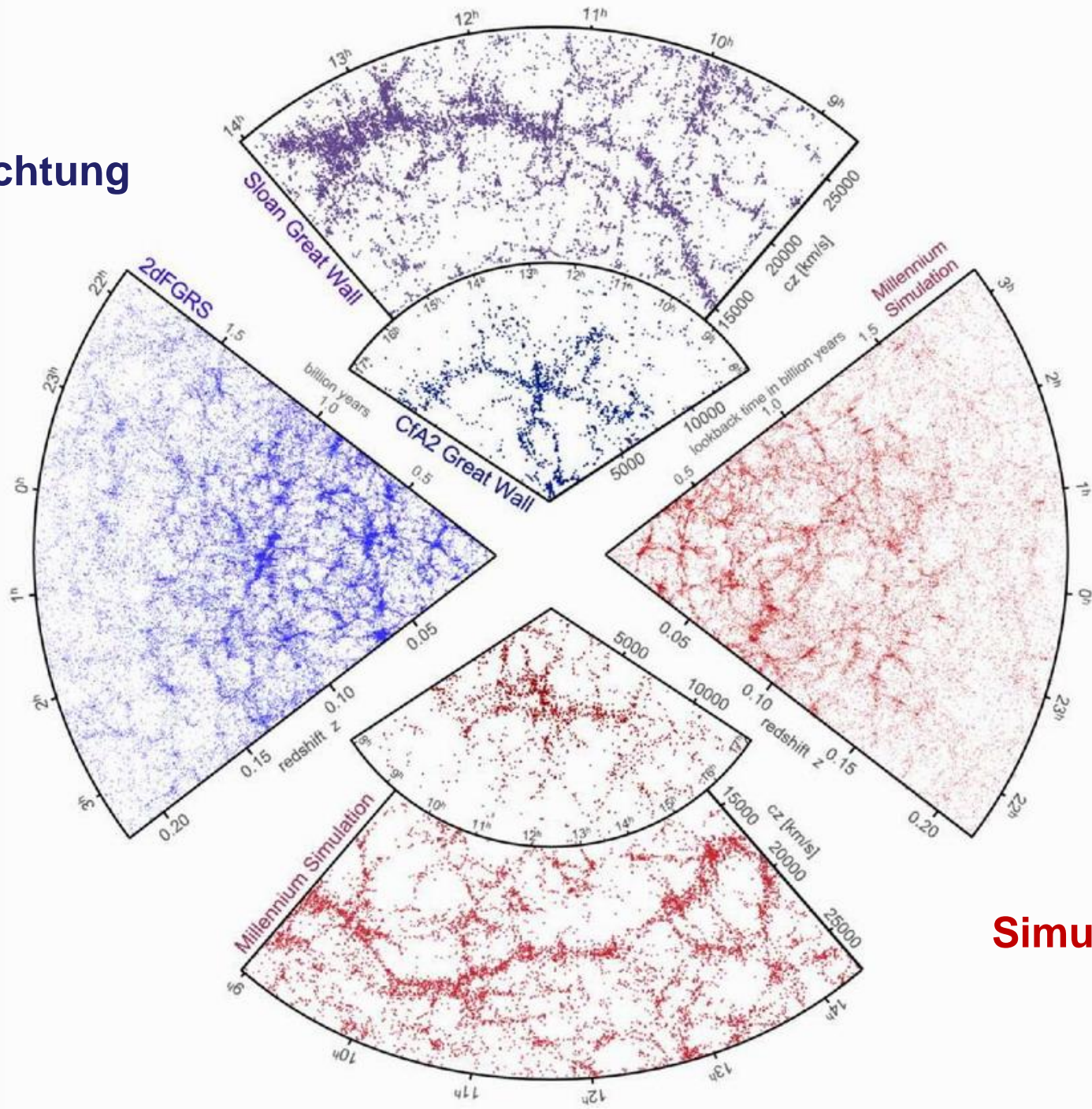
1 pc = 3×10^{16} m = 3 Lichtjahre

Simulation großer kosmischer Strukturen benötigt Dunkle Materie als Baustein

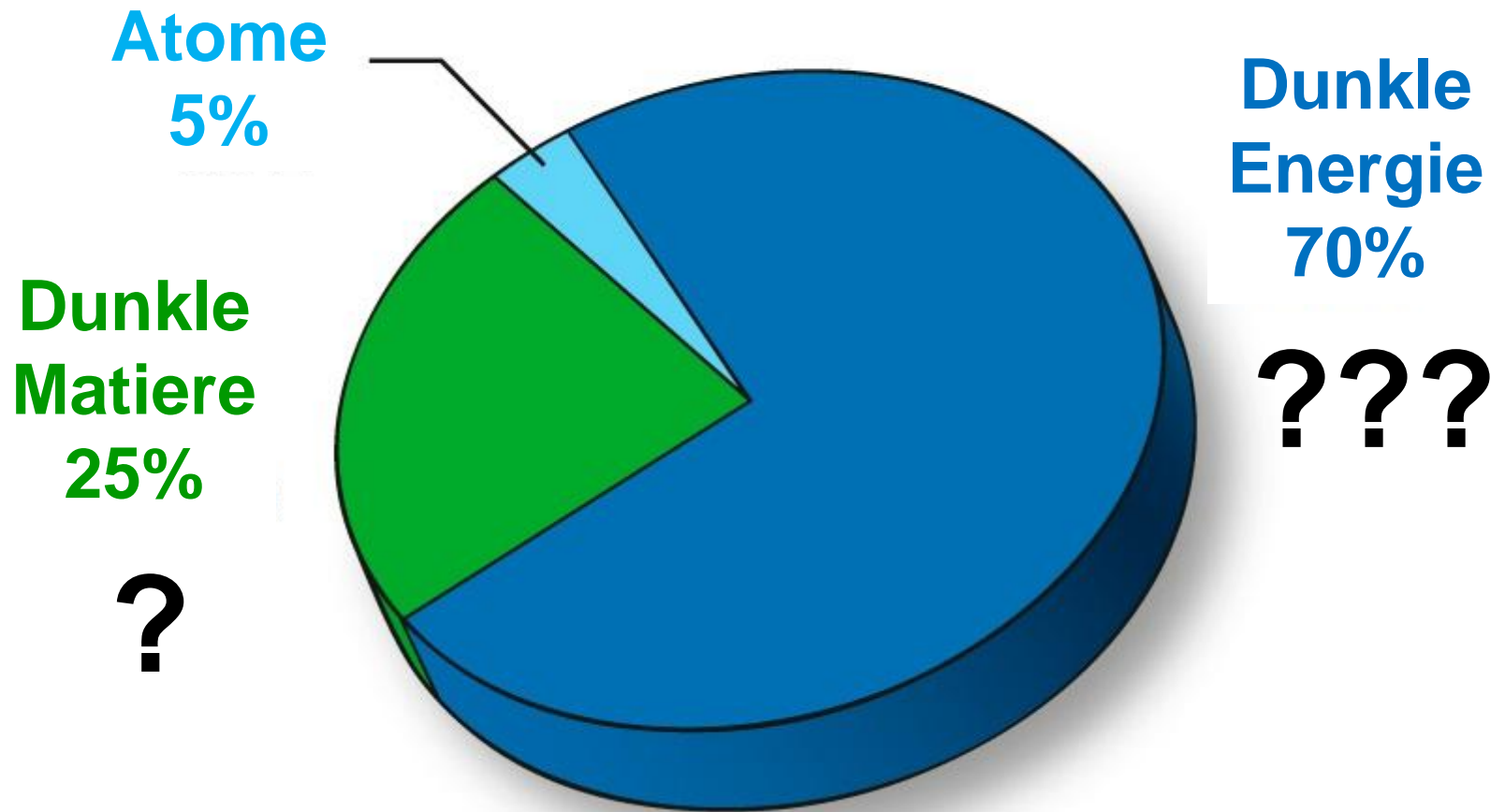


1 pc = 3×10^{16} m = 3 Lichtjahre

Beobachtung

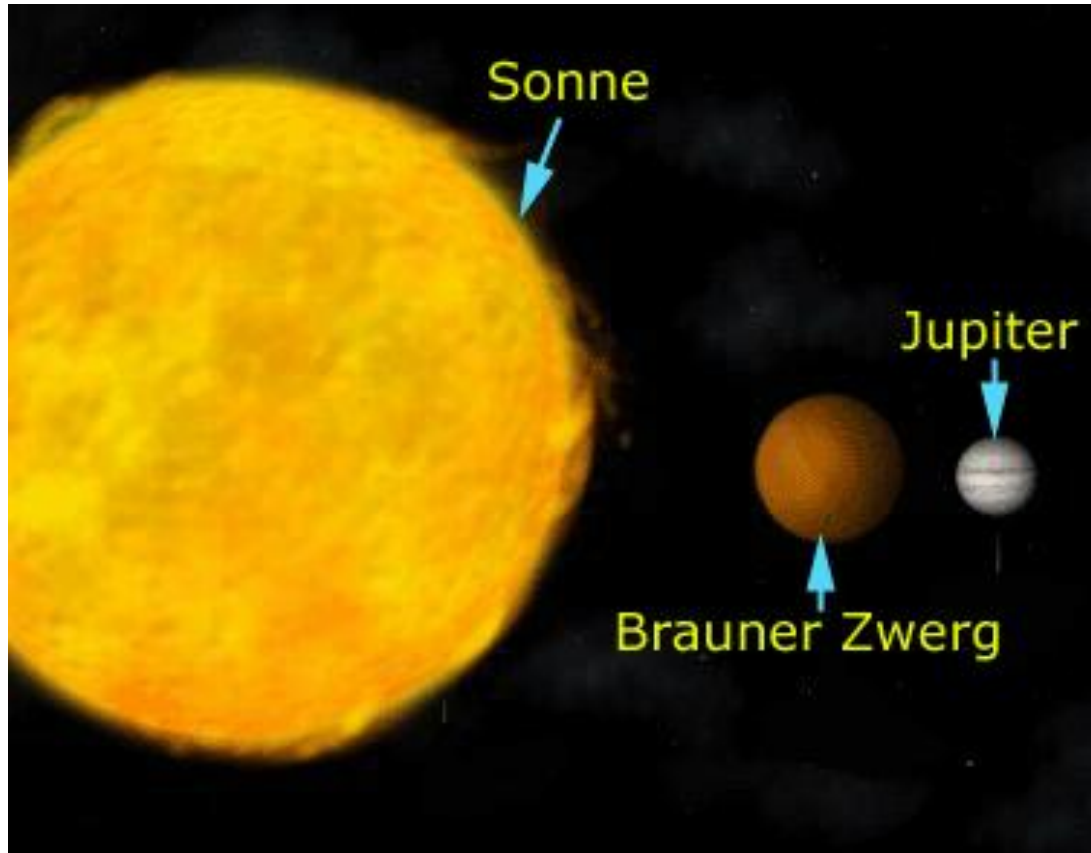


Simulation

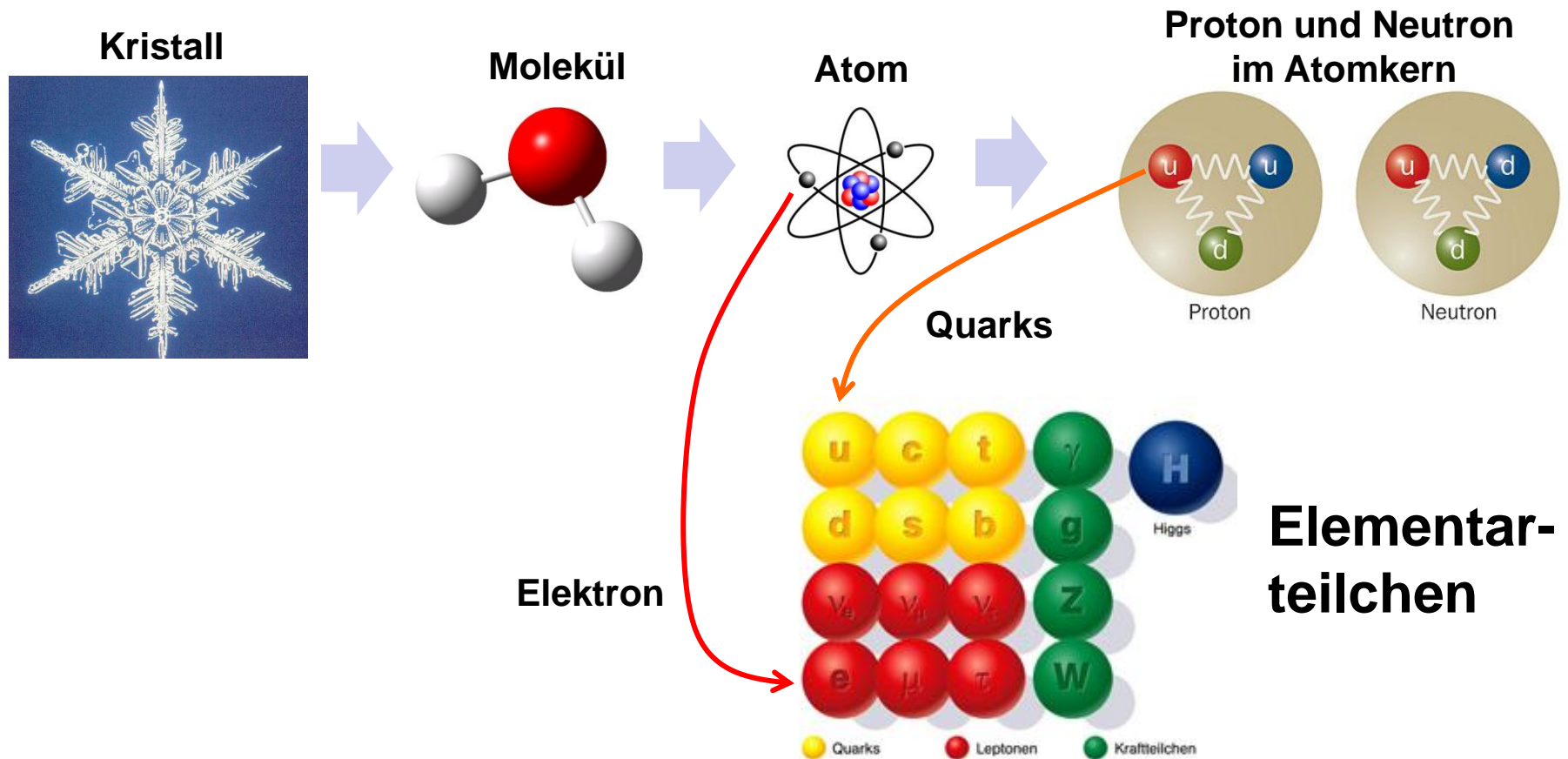


Heutiges Universum

- MACHOs = Massive astrophysikalische kompakte Halo-Objekte
 - z.B. Braune Zwerge
 - nur ein kleiner Teil der dunklen Materie

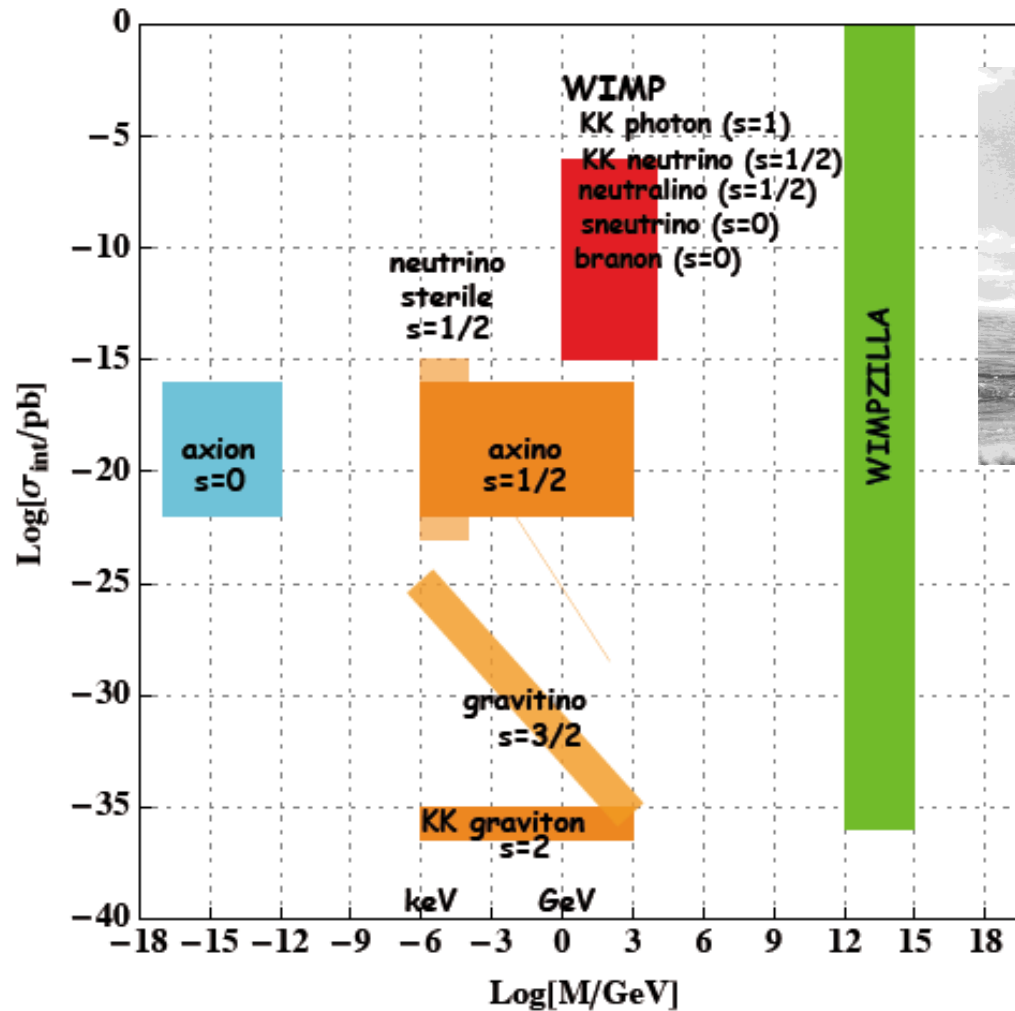


- Alle bekannte Materie ist aus elementaren Teilchen zusammengesetzt

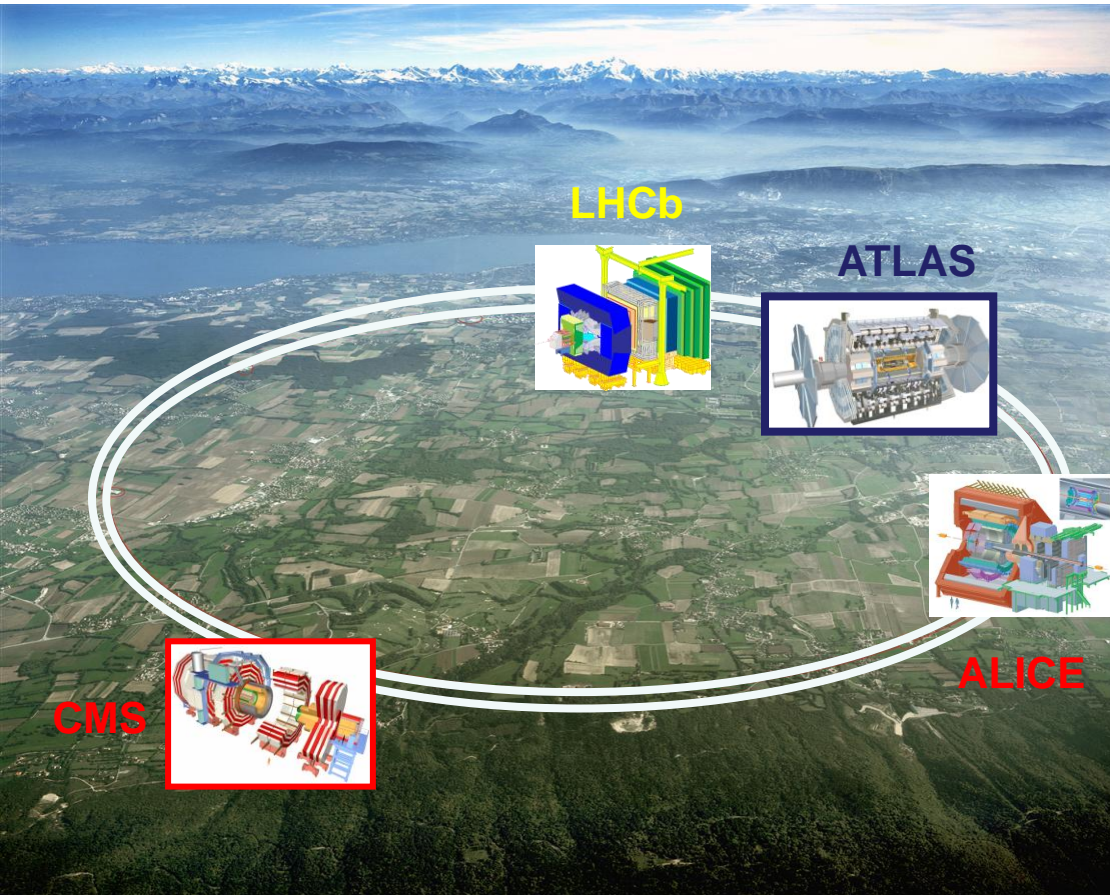


- Problem:
 - Keines der bekannten Teilchen hat die gesuchten Eigenschaften von Dunkler Materie – sie sind entweder zu leicht oder wechselwirken zu stark

Wechsel-
wirkungs-
wahrschein-
lichkeit



Masse



LHC:

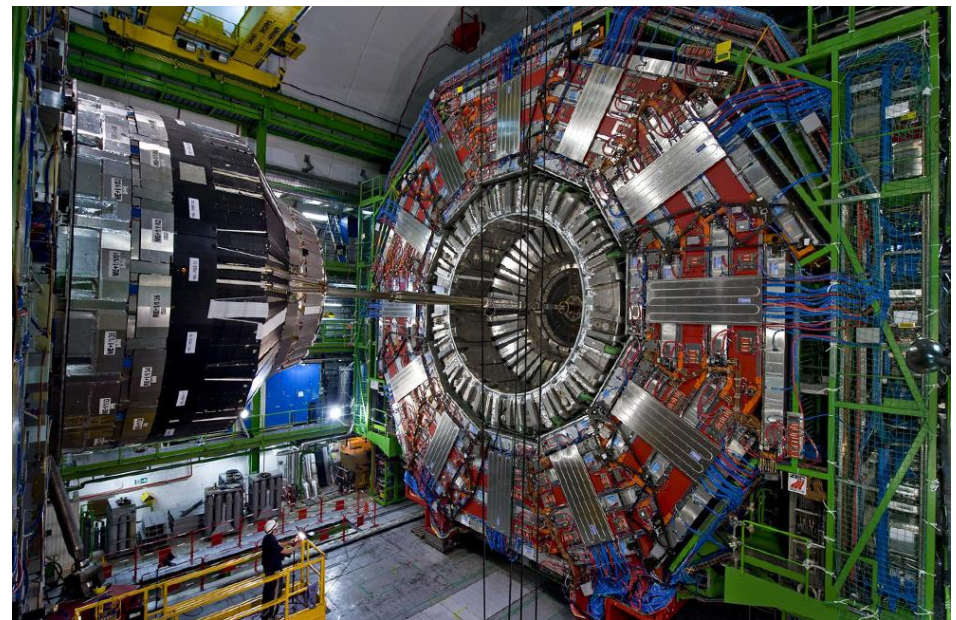
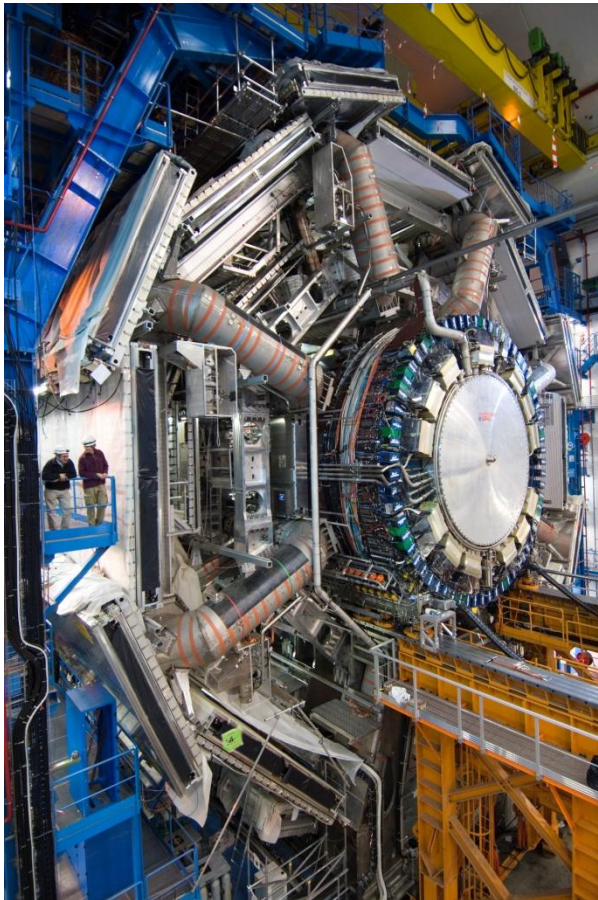
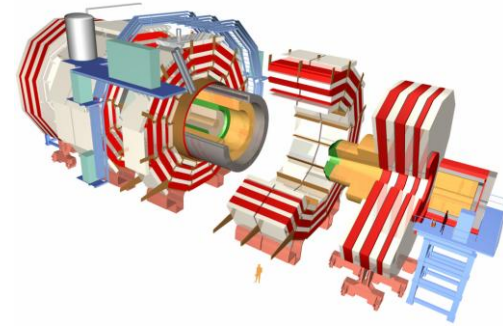
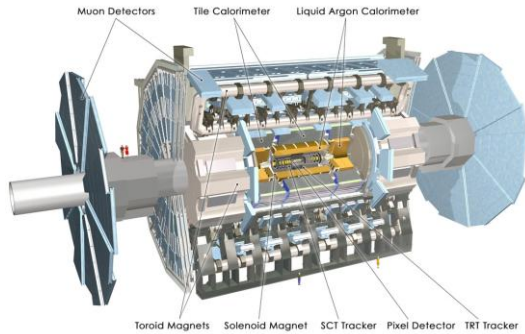
26.7 km Umfang
Tunnel in 50-100 m Tiefe

4 Teilchendetektoren

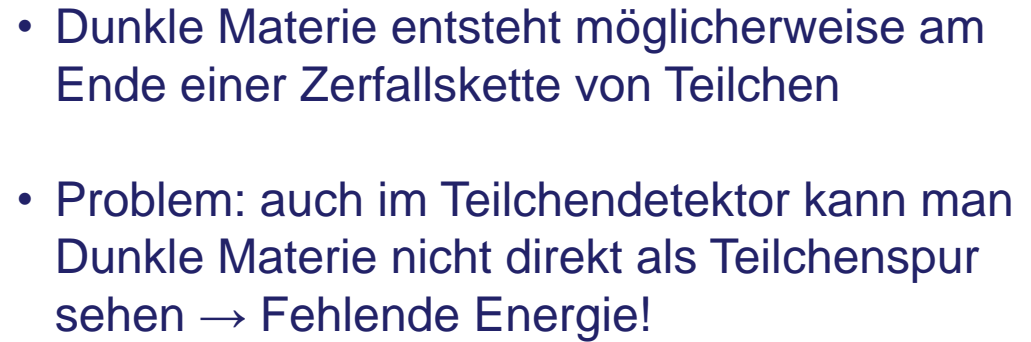
Protonen mit 99.9999991%
der Lichtgeschwindigkeit
→ 11250 Umläufe pro Sekunde



- Kollisionsenergie entspricht 8500 x Protonmasse
- Reicht Energie um Dunkle Materie zu erzeugen?



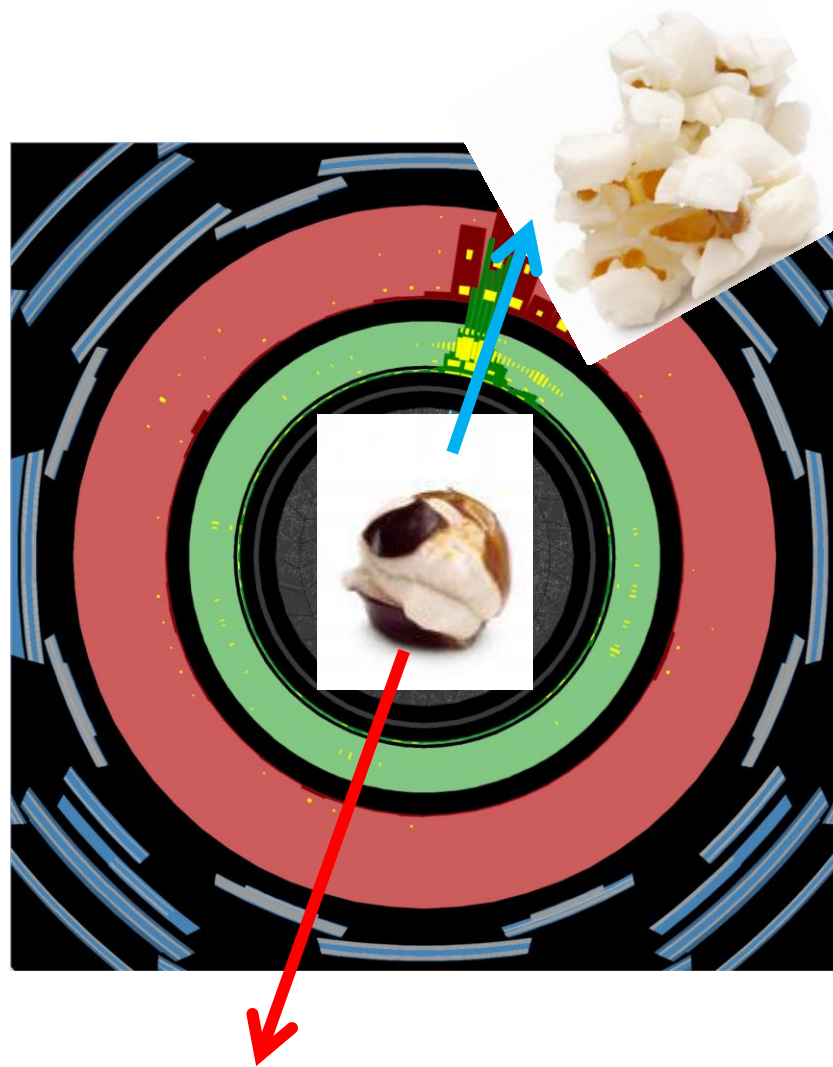
- Teilchendetektoren suchen nach Signalen von Dunkler Materie



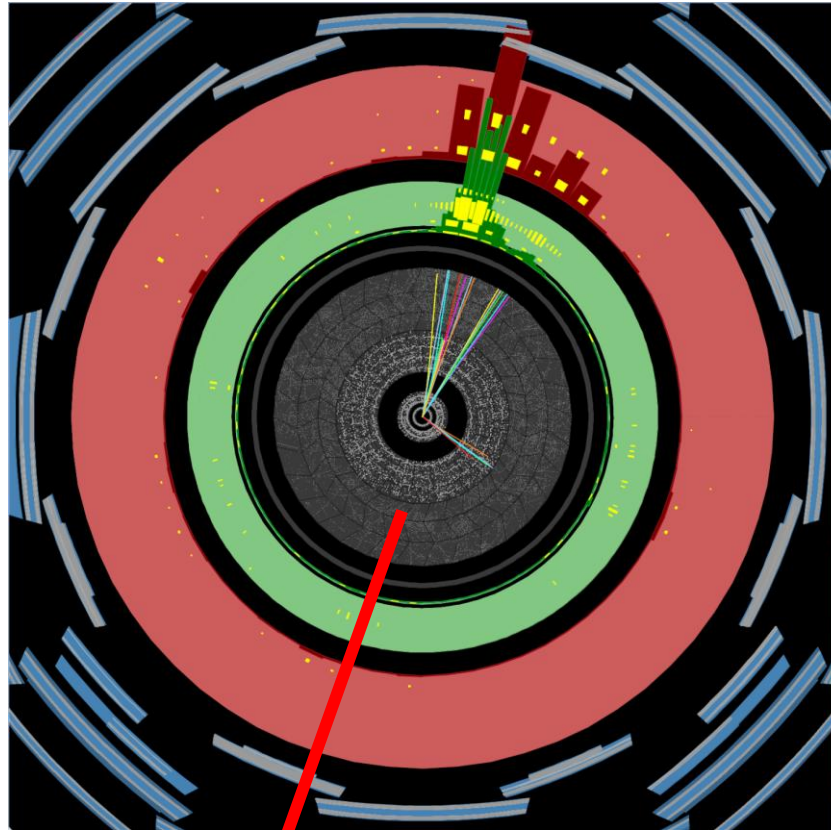




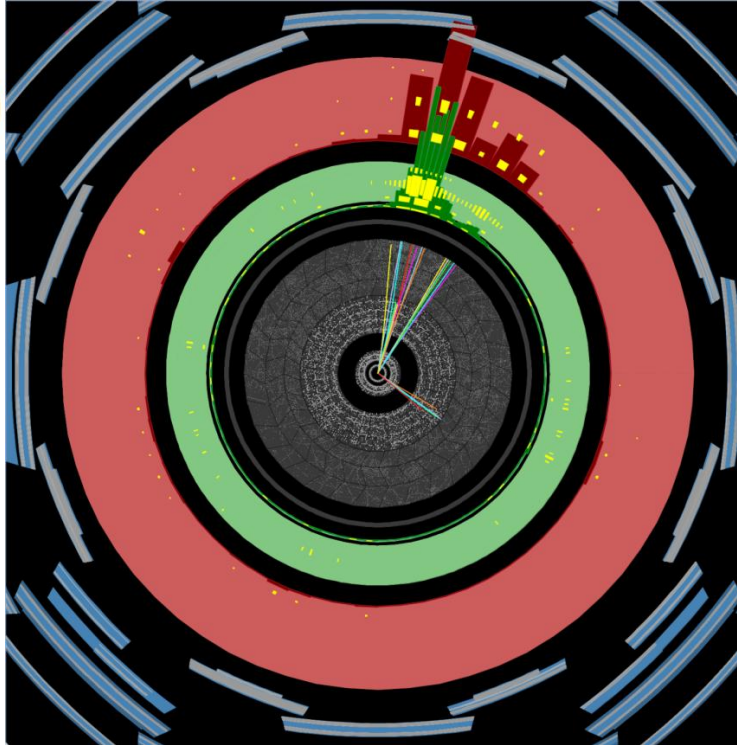
“unsichtbarer”
Wasserdampf



“Dunkle Materie”

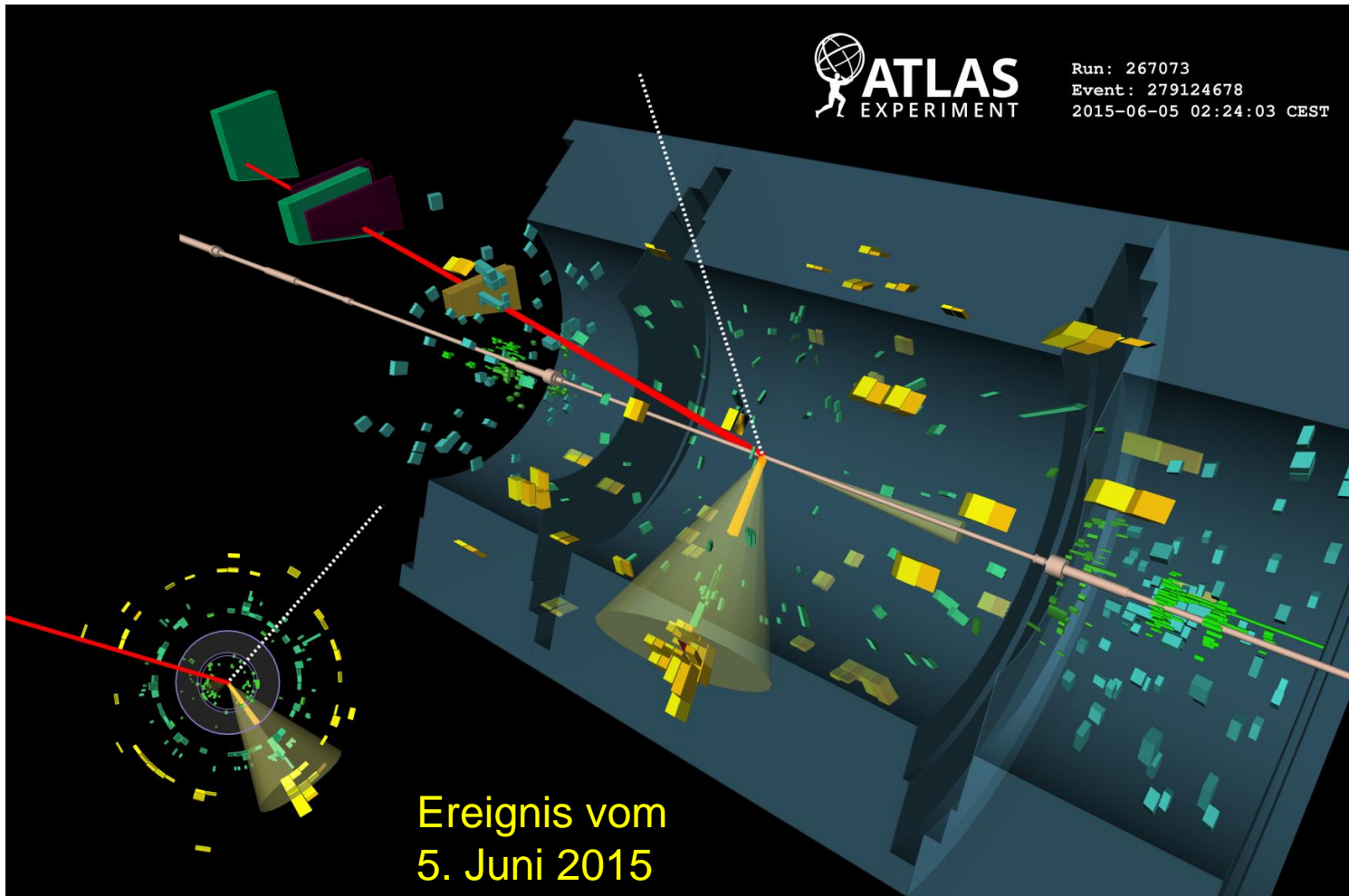


“Dunkle Materie”



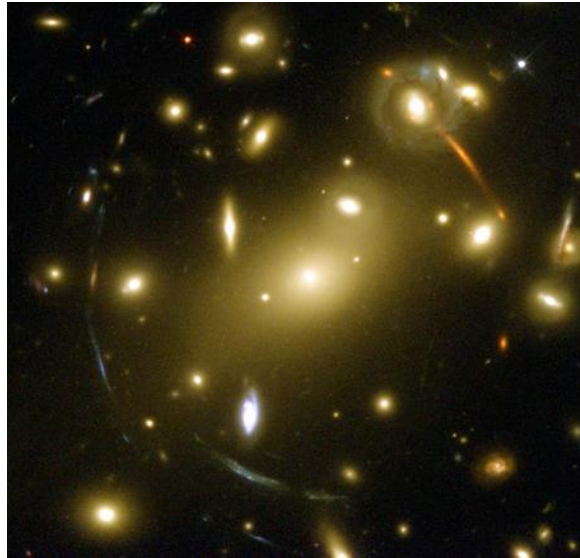
- Ergebnis der Datenanalyse am Large Hadron Collider:
 - **Leider nichts gefunden, das man nicht durch bekannte Materie erklären könnte**
- **Gesuchte Teilchen müssen sehr schwer sein oder noch seltener wechselwirken als wir bisher gedacht haben!**

- Der Beschleuniger wurde im Mai 2015 wieder gestartet mit doppelter Energie !
- Teilchen mit größerer Masse können entdeckt werden

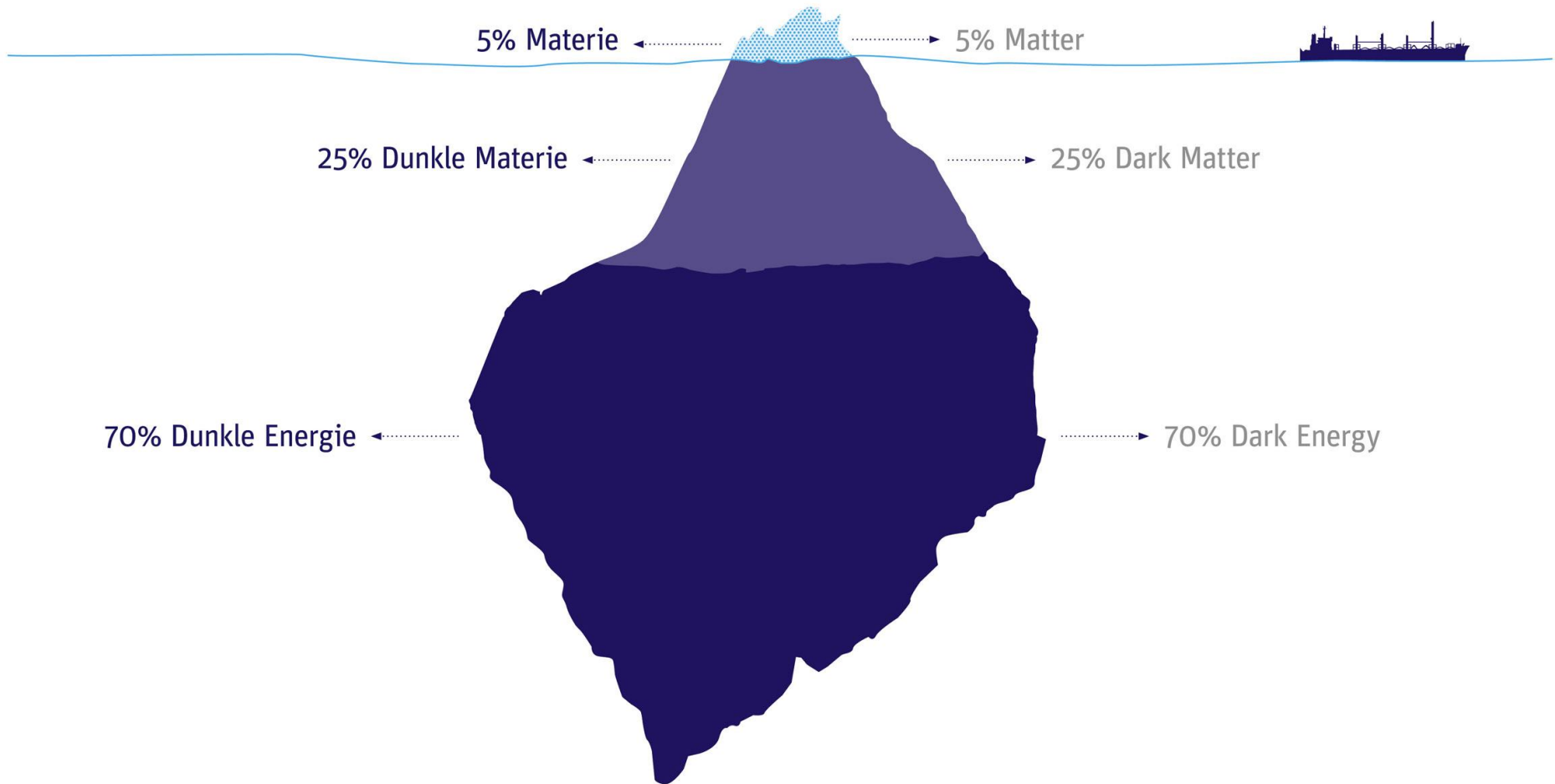


- Neue Ergebnisse zur Suche nach Dunkler Materie werden in einigen Wochen erwartet

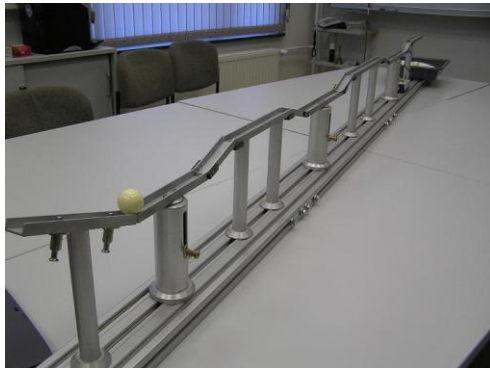
- Dunkle Materie wird im Universum mit vielen Methoden beobachtet



- Der Nachweis Dunkler Materie “im Labor” ist bisher nicht gelungen
- In den kommenden Jahren folgen viele weitere Experimente
 - mit neuen Detektoren
 - mit besseren Teleskopen und satellitengestützten Beobachtungen
 - mit Beschleunigern bei höherer Energie



Linearbeschleuniger (EG)



Teilchen-Buttons



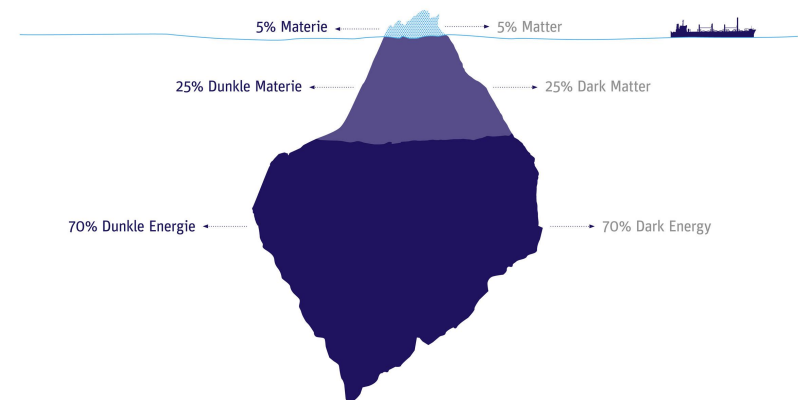
CosMO kosmische Strahlung



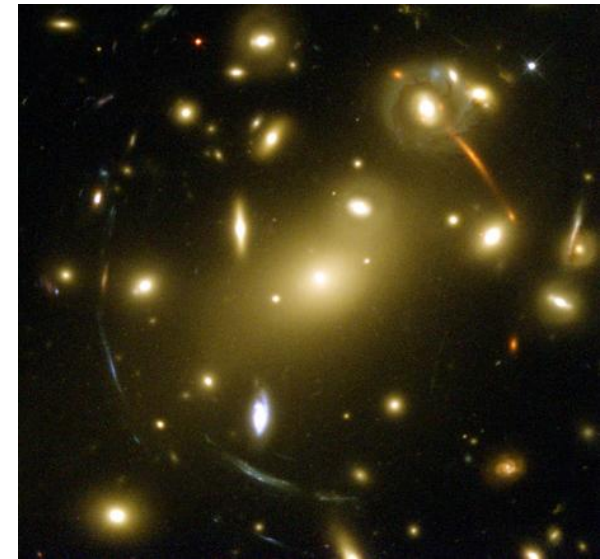
Dark Matter Popcorn



Cosmic Cocktail



- H. Lesch, J. Müller, Kosmologie für helle Köpfe: Die dunklen Seiten des Universums, Goldmann, 2006
- Spektrum Kompakt: Dunkle Materie - Die verborgene Seite unseres Universums, Spektrum Verlag 2015; <http://www.spektrum.de/pdf/spektrum-kompakt-dunkle-materie-die-verborgene-seite-unseres-universums/1329384>
- Ulrich Ellwanger, Vom Universum zu den Elementarteilchen, Springer Spektrum, 3. Aufl., 2015
- https://de.wikipedia.org/wiki/Dunkle_Materie
- <http://www.weltderphysik.de/gebiet/astro/dunkle-materie/>
- http://www.weltmaschine.de/physik/dunkle_materie/
- <http://pdg.lbl.gov/2014/reviews/rpp2014-rev-dark-matter.pdf>



Das Institut für Kern- und Teilchenphysik
lädt ein zum



Schülerforschungstag in der Teilchenphysik

International Masterclasses 2016



Wann?

Freitag, 11.03.2016, 8:30 - 17:00

Wer?

Schüler/innen ab Jahrgangsstufe 10

Was?

Selber mit echten Daten vom CERN forschen



Anmeldung und weitere Infos:

<https://indico.cern.ch/event/461648/>



Fortbildung für Lehrkräfte am 12.03.2016

