

Physik 1: Mechanik und Wärmelehre

Physik111

Prof. Dr. Florian Bernlochner
florian.bernlochner@uni-bonn.de

Dr. Tatjana Lenz
Dr. Yannick Dieter
Dr. Markus Prim



UNIVERSITÄT **BONN**

Vorlesung 1

Das Team

Vorlesung

Florian Bernlochner
Physikalisches Institut, Nussallee 12, Zi 2.011,
Tel. 0228-73-6344, florian.bernlochner@uni-bonn.de



Übungskoordination

Dr. Tatjana Lenz tlenz@uni-bonn.de
Dr. Yannick Dieter dieter@physik.uni-bonn.de



Organisatorisches

Modul „physik110“ – Experimentalphysik 1 – „Mechanik und Wärmelehre“

Wichtigstes Kommunikationsmedium: eCampus!

https://ecampus.uni-bonn.de/goto_ecampus_crs_2727296.html

| | Mittwoch | | Freitag |
|------------|------------------|------------|---------------------|
| 12.10.2022 | 1 | 14.10.2022 | 2 |
| 19.10.2022 | 3 | 21.10.2022 | 4 |
| 26.10.2022 | 5 | 28.10.2022 | 6 |
| 02.11.2022 | 7 | 04.11.2022 | 8 |
| 09.11.2022 | 9 | 11.11.2022 | 10 |
| 16.11.2022 | 11 | 18.11.2022 | 12 |
| 23.11.2022 | 13 | 25.11.2022 | 14 |
| 30.11.2022 | 15 | 02.12.2022 | 16 |
| 7.12.2022 | Dies Academicus | 9.12.2022 | 17 |
| 14.12.2022 | 18 | 16.12.2022 | 19 |
| 21.12.2022 | 20 | 23.12.2022 | Vorlesung fällt aus |
| 28.12.2022 | Weihnachtsferien | 30.12.2022 | Weihnachtsferien |
| 4.01.2023 | Weihnachtsferien | 6.01.2023 | Weihnachtsferien |
| 11.01.2023 | 22 | 13.01.2023 | 23 |
| 18.01.2023 | 24 | 20.01.2023 | 25 |
| 25.01.2023 | 26 | 27.01.2023 | 27 |
| 01.02.2023 | 28 | 03.02.2023 | 29 |

Mittwoch 8h c.t. – 10h
Freitag 8h c.t. – 10h
Wolfgang-Paul-Hörsaal

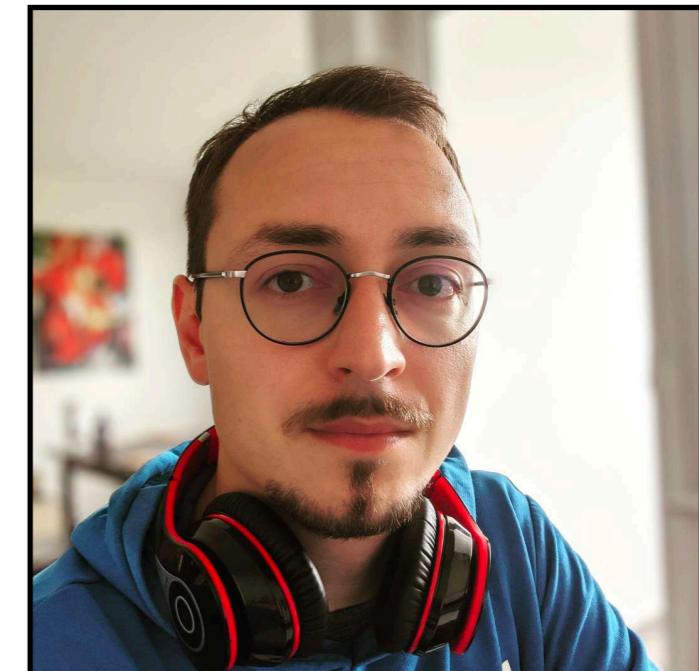
Technik: Michael Kortmann, Timo Poller
Video: Julian Sehr

Mathematische Ergänzungen zur Physik 1

Lehramtsmodul (Wahlpflicht) (4 CP) aber offen für alle Studierenden

Freitags 14-16h, WPH

Dr. Markus Prim
Physikalisches Institut, Nussallee 12, Zi 2.014,
markus.prim@uni-bonn.de



Übersicht:

Vorläufiger Vorlesungsplan

Vorlesung

- Freitag 14:00 – 16:00 Uhr im Wolfgang-Paul-Hörsaal
- [eCampus Physik 1 \(Klick mich\)](#)

Übung

- Selber Turnus wie die Physik I Übung: Ausgabe und Abgabe der Übungsblätter mit der Physik I.
- Leistungsnachweis mit Abgabe der Übungsblätter.
- Kein dediziertes Tutorium, Besprechung einzelner Aufgaben in der Vorlesung.

| Termin (jeweils Freitag) | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 14.10.2022 | Vektoralgebra |
| 21.10.2022 | Reelle und komplexe Funktionen |
| 28.10.2022 | Integration |
| 04.11.2022 | Keine Vorlesung (Physik I Saalübung) |
| 11.11.2022 | Differentialgleichungen |
| 18.11.2022 | Differentialgleichungen |
| 25.11.2022 | Krummlinige Koordinaten |
| 02.12.2022 | Matrizen, Vektorfunktionen |
| 09.12.2022 | Vektorfunktionen |
| 16.12.2022 | Felder |
| <u>23.12.2022</u> | Keine Vorlesung |
| <u>30.12.2022</u> | Keine Vorlesung |
| <u>06.01.2022</u> | Keine Vorlesung |
| 13.01.2022 | Felder |
| 20.01.2022 | Statistik |
| 27.01.2022 | Statistik |
| 03.02.2022 | tbd |

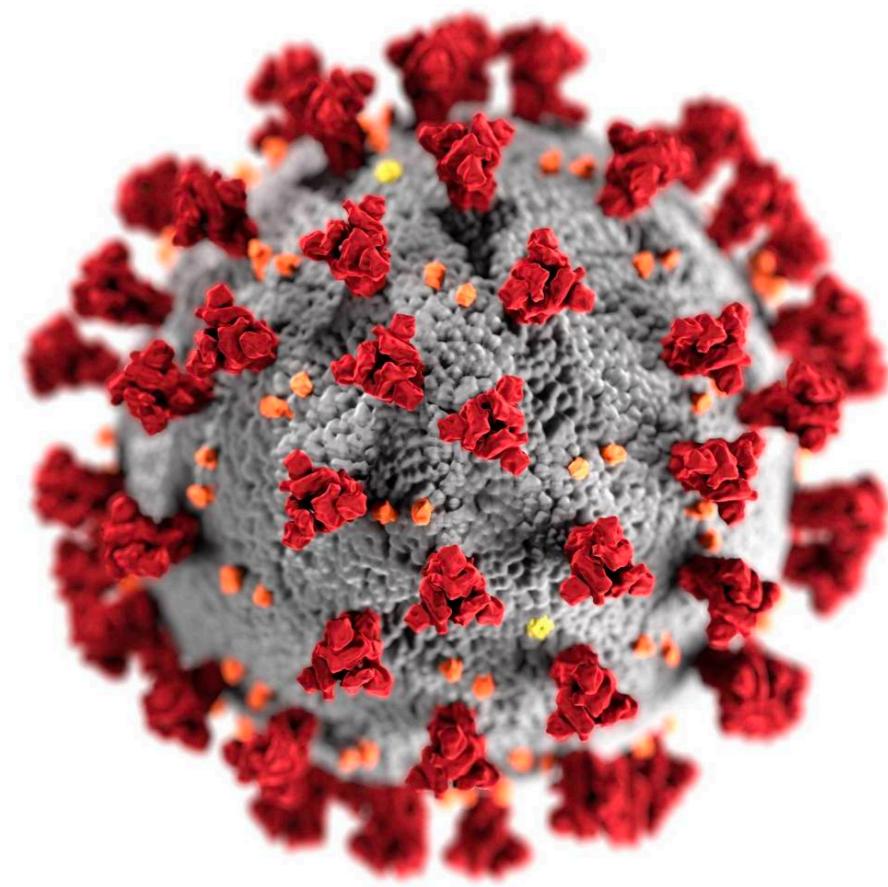
Es gilt die Corona-Verordnung des Landes NRW

Vorlesung erstmal im Präsenzbetrieb geplant

Falls sie sich krank fühlen, bleiben sie zuhause! Verpasste Vorlesungen können aufgearbeitet und Übungen können nachgereicht werden.

Falls sie sich schützen wollen, tragen sie eine Maske

Falls sich etwas an der Sachlage ändert, informieren wir bzw. die Universität sie



Organisatorisches - Aufzeichnung der Vorlesung

Solltet ihr eine Vorlesung **verpasst** haben:

Alle Vorlesungen werden aufgezeichnet und auf
ecampus hochgeladen

Die Aufzeichnungen sind nur ihnen und ihren Mitstudierenden zugänglich

Aufgezeichnet werde nur ich, das Tafelbild und die Experimente :-)



Organisatorisches - Übungen

Übungen finden in Tutorien von 18-20 Personen statt.

- Die Vergabe beginnt **heute um 12:00 Uhr**

Um einem Tutorium beizutreten bitte hinten auf das blaue Icon klicken.

- Jeder bitte nur EINEM Tutorium beitreten!

- Das Tutorium 20 ist auf Englisch!

- Tutorien 22 und 23 sind rein online!



Übungsgruppe 1

Anmeldungsbeginn: Morgen, 12:00 Freie Plätze: 20



Tutoren

Amelia de Lope
Angelos Dema
Karin Haderlein
David Kowalk
Lea Kutsch
Max Mucha
Christopher Lörler
Elgi Orozi
Elena Päffgen
Judith Sanders
Marius Schuchmann
Leonardo Thome
Philina Voss

(13 Tutoren)

Modus: Ohne Korrektur aber mit Vorlösen

20 Räume / 2 Online Tutorien = 22 Gruppen
(1 Tutorium auf English)

2 Gruppen Online

Zwei Gruppen auf Englisch

| Gruppe | Tag/Uhrzeit | Raum | Tutor | Kommentar |
|--------|------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| 1 | Dienstag 14:00-16:00 | 2.036 / AVZ I | Max Mucha | |
| 2 | Dienstag 14:00-16:00 | Ü4 / 0.020/ AVZ I | Elena Päffgen | |
| 3 | Dienstag 14:00-16:00 | Ü5 / 0.021 / AVZ I | David Kowalk | |
| 4 | Dienstag 14:00-16:00 | Ü17 / 0.023 / AVZ I | Judith Sanders | |
| 5 | Dienstag 14:00-16:00 | Ü218 / 2.030/ AVZ I | Amelia de Lope | |
| 6 | Dienstag 16:00-18:00 | 2.036 / AVZ I | Max Mucha | |
| 7 | Dienstag 16:00-18:00 | Ü6 / 0.022/ AVZ I | Elena Päffgen | |
| 8 | Dienstag 16:00-18:00 | Ü16 / 0.024/ AVZ I | Leonardo Thome | |
| 9 | Dienstag 16:00-18:00 | Ü17 / 0.023 / AVZ I | Judith Sanders | |
| 10 | Dienstag 16:00-18:00 | Ü218 / 2.030/ AVZ I | Amelia de Lope | |
| 11 | Donnerstag 14:00-16:00 | 2.036 / AVZ I | Lea Kutsch | |
| 12 | Donnerstag 14:00-16:00 | Ü4 / 0.020/ AVZ I | Elgi Orozi | |
| 13 | Donnerstag 14:00-16:00 | Ü5 / 0.021 / AVZ I | Marius Schuchmann | |
| 14 | Donnerstag 14:00-16:00 | Ü17 / 0.023 / AVZ I | Philina Voss | |
| 15 | Donnerstag 14:00-16:00 | Ü218 / 2.030/ AVZ I | Christopher Lörler | |
| 16 | Donnerstag 16:00-18:00 | 2.036 / AVZ I | Lea Kutsch | |
| 17 | Donnerstag 16:00-18:00 | Ü6 / 0.022/ AVZ I | Marius Schuchmann | |
| 18 | Donnerstag 16:00-18:00 | Ü16 / 0.024/ AVZ I | Leonardo Thome | |
| 19 | Donnerstag 16:00-18:00 | Ü17 / 0.023 / AVZ I | Philina Voss | |
| 20 | Donnerstag 16:00-18:00 | Ü218 / 2.030/ AVZ I | Christopher Lörler | Englisch |
| 21 | | | Angelos Dema* | Mathematische Begleitung |
| 22 | Dienstag 16:00-18:00 | Zoom | Elgi Orozi | Online |
| 23 | Donnerstag 16:00-18:00 | Zoom | Karin Haderlein | Online |

- Die Übungsblätter werden freitags auf ecampus (Ordner Übungsblätter) hochgeladen.
- Die **Anwesenheitsaufgaben** werden in den Tutorien am Dienstag-Donnerstag bearbeitet.
- Die Hausaufgaben müssen abhängig freitags bis 12:00 Uhr auf ecampus hochgeladen werden. Hierfür befindet sich in der jeweiligen Übungsgruppe eine 'Übung' mit dem Titel '**Abgabe der Übungsblätter**'.
- Bei der ersten Abgabe sollte ein 'Team' aus **2 Studierenden** definiert werden (s. auch die Datei **ecampus-Exkurs-fürStudenten.pdf**). Dazu muss einer der beiden Studierenden den Partner in sein Team hinzufügen. Hierfür muss er dessen Uni-ID kennen. Die Studenten eines Teams müssen im gleichen Tutorium sein.
- Die Hausaufgaben werden vom Tutor **kontrolliert, aber nicht korrigiert**. Die Lösungen werden dann am folgenden Dienstag-Donnerstag in den Übungen besprochen.
- Jedes Tutorium verfügt auch über ein Forum, in dem Fragen zum Übungsblatt oder zur Vorlesung auch in kleinerem Kreis diskutiert werden können.

Prüfungsleistung für das Modul ist das Bestehen der Klausur (Bachelor Physik, Lehramt Physik). Bei Nebenfächlern wird die Klausur ggf. auch benotet, wenn die jeweilige Prüfungsordnung das vorsieht.

Zulassung zur Klausur: mindestens **50% der Übungszetteln sinnvoll bearbeitet** und mindestens zweimal in der Gruppe Hausaufgaben vorgerechnet.

Es gibt **zwei Klausuren**. Wenn die erste bestanden wurde, brauchen Sie die zweite nicht mitzuschreiben.

Die **zweite Klausur** kann zur **Notenverbesserung** geschrieben werden (wenn Ihr Modul benotet wird). Dann gilt das bessere Ergebnis aus beiden Klausuren

Wer an der ersten Klausur nicht teilnimmt hat nur einen Versuch (= 2. Klausur)

Termine:

1. Klausur: Mi, 8.2.2023 10-12h
2. Klausur: Do, 16.3.2023 10-12h

Bereits erworbene **Klausurzulassungen aus früheren Semestern** werden **anerkannt**:

- wenn Sie so schon eine Klausur (physik110) geschrieben haben brauchen Sie nichts zu tun (geht automatisch)
- nur wenn Sie Zulassung haben aber noch keine Klausur geschrieben → der TutorIn mitteilen, in welchem Semester (wir prüfen das dann)

Alle:

- Tragen Sie sich in eCampus für eine Übungsgruppe ein

BSc Physik + Lehramt Physik - Studierende:

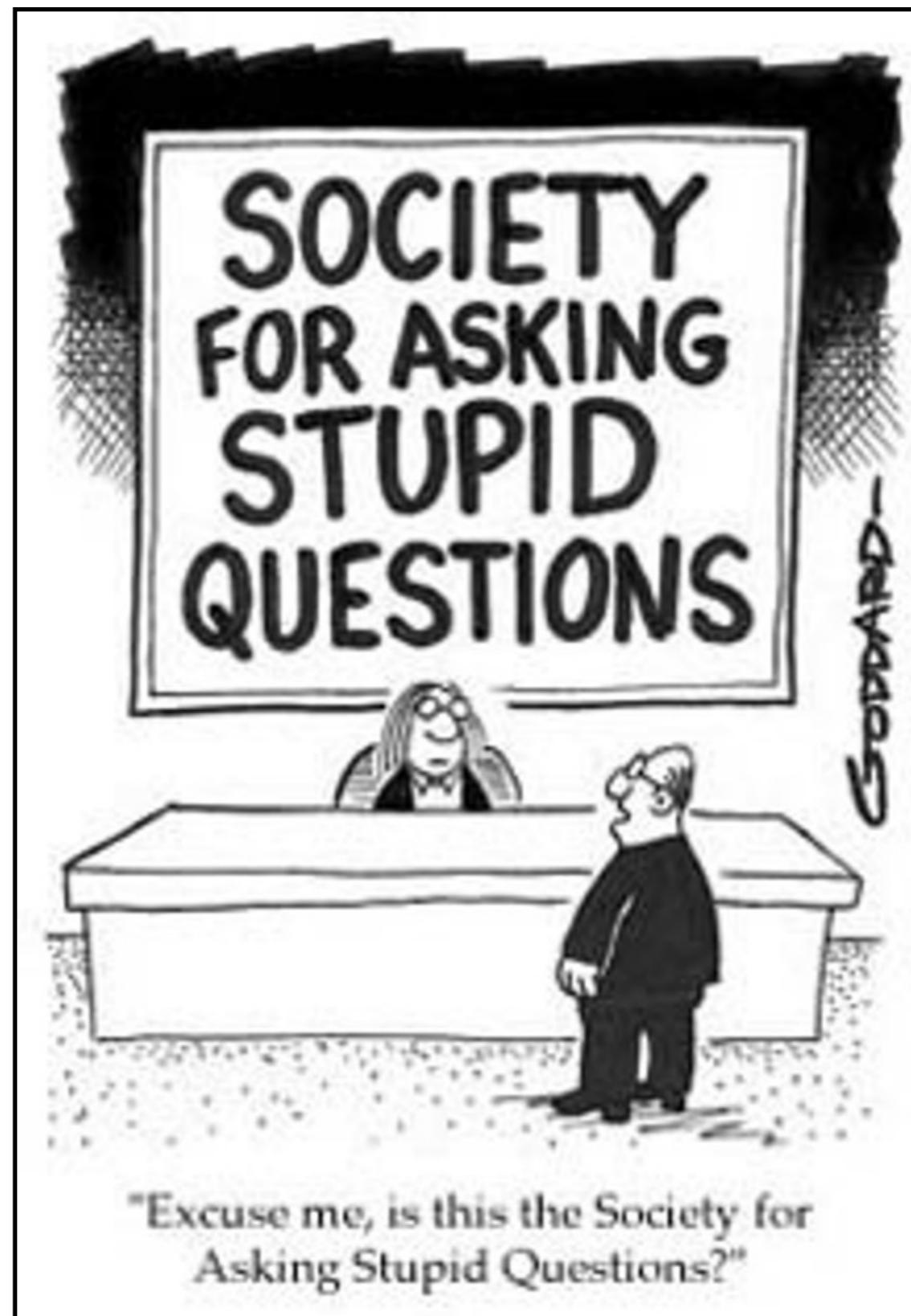
- Melden Sie sich zur Klausur in basis an! Frist **15.01.2023** (das geht erst, wenn Sie im Prüfungsamt Ihren „Antrag auf Zulassung zur Bachelorprüfung“ gestellt haben)
- “Belegen“ bitte zusätzlich das Modul „Übungen“ (das dient nur zu statistischen Zwecken, ist nicht prüfungsentscheidend)

FFF-Studierende (Fördern, Fordern, Forschen):

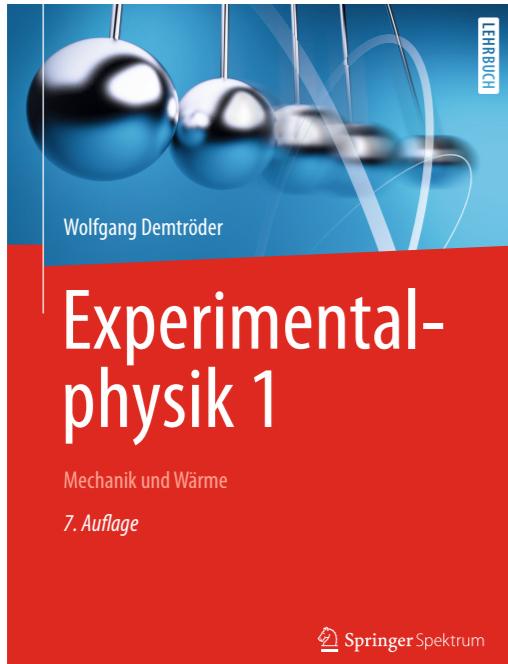
- Sie brauchen (und können) sich nicht in basis anmelden. Sie bekommen bei Bestehen am Semesterende einen Schein.

Alle anderen:

- Melden Sie sich zur Klausur in basis an! Frist **15.01.2023**
- Belegung der „Übungen“ in basis nicht notwendig.



Empfohlene Literatur



Es gibt eine Vielzahl guter (und nicht ganz so guter) Bücher

Vorlesung orientiert sich von der Struktur an

Demtröder, Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme, Springer, 44,99€
(aktuell 8. Auflage, frühere Auflagen ab 3. sind auch ok - als ebook/pdf verfügbar in der ULB)

Weitere gute Bücher auf eCampus...

Es lohnt sich, wenigstens ein Experimentalphysikbuch zu besitzen :-)

Physikalisches Kolloquium

(fast) jeden **Freitag** treffen sich Professoren, Forscher, Promovierende, und Studierende der Physik zum “Physikalischen Kolloquium”

HS1 im Physikalischen Institut, 15:15

| | | |
|------------|--------------------------|--|
| 21.10.2022 | Prof. Eugene Polzik | Quanteninformation |
| 28.10.2022 | Prof. Martin Weitz | Nobelpreis 2022 |
| 04.11.2022 | Dr. Andreas R. Maier | Laser-Plasmabeschleunigung |
| 11.11.2022 | Prof. Malcom Fairbairn | Dark Matter – How to do science when you don't know what you're looking for. |
| 18.11.2022 | Prof. Roman Schnabel | Gravitationswellen |
| 25.11.2022 | Dr. Laura Kreidberg | James Webb Teleskop |
| 02.12.2022 | Dr. Jamie Boyd | FASER Experiment |
| 09.12.2022 | Prof. Tilman Pfau | Photonik |
| 16.12.2022 | TBC | |
| 13.01.2023 | Prof. Melanie Schnell | Spektroskopie molekularer Prozesse |
| 20.01.2023 | Dr. Phil Mason | Schweres Wasser |
| 27.01.2023 | Prof. Ulrike Endesfelder | Biophysik |
| 03.02.2023 | Julia Sammet | Physiklernzentrum — Konzept und Vision |

Materialien

- Ich werde zu jeder Vorlesung eine Kurzzusammenfassung (pdf) hochladen (enthält auch gezeigte Folien, aber nur teilweise das Tafelbild)
- Ein offizielles Skript von mir gibt es nicht
- Praktisch alle behandelten Themen stehen auch im Demtröder zum Nachlesen
- Mitschreiben erhöht (bei den meisten) die eigene Aufmerksamkeit!
- Aufzeichnungen der Vorlesung bleiben auf ecampus bis zum Semesterende, falls sie eine Vorlesung verpasst haben

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Einführung

- 1.1 Was ist Physik ?
- 1.2 Ein bisschen Geschichte
- 1.3 Physikalisches Weltbild heute
- 1.4 Messgrößen, Einheiten
- 1.5 Maßsysteme, SI-System, Normale

Kapitel 2: Massepunkte

- 2.1 Kinematik
- 2.2 Dynamik

Kapitel 3: Erhaltungsgrößen der Mechanik

- 3.1 Energie
- 3.2 Impuls
- 3.3 Drehimpuls

Kapitel 4: Trägheitskräfte und beschl. Bezugssysteme

- 4.1 Gleichmäßig beschleunigtes Bezugssystem
- 4.2 Gleichförmig rotierendes Bezugssystem
- 4.3 Die Erde als rotierendes Bezugssystem

Kapitel 5: Gravitation

- 5.1 Bewegung im Zentralkraftfeld
- 5.2 Keplersche Gesetze
- 5.3 Newton's Gravitationsgesetz
- 5.4 Äquivalenz von träger und schwerer Masse
- 5.5 Gravitationsfeld ausgedehnter Massevert.

Kapitel 6: Mechanik starrer Körper

- 6.1 Modell des starren Körpers
- 6.2 Schwerpunkt
- 6.3 Bewegung starrer Körper
- 6.4 Kräfte und Kräftepaare
- 6.5 Rotation: Trägheitsmoment, Rotationsenergie
- 6.6 Steinerscher Satz
- 6.7 Bewegungsgleichungen des starren Rotators
- 6.8 Rotation um freie Achsen (Kreisel)

Kapitel 7: Mechanische Schwingungen

- 7.1 Harmonische Schwingung
- 7.2 Überlagerung von Schwingungen

Inhaltsverzeichnis

- 7.3 Gedämpfte harmonische Schwingungen
- 7.4 Erzwungene harmonische Schwingung
- 7.5 Resonanz
- 7.6 Energie und Leistung bei Schwingungen

Kapitel 8: Deformierbare Körper

- 8.1 Aggregatzustände
- 8.2 Verformung fester Körper
- 8.3 Mechanische Spannungen
- 8.4 Biegung von Balken
- 8.5 Reibung

Kapitel 9: Ruhende Flüssigkeiten und Gase

- 9.1 Kompression und Druck
- 9.2 Flüssigkeiten und Gase im Schwerefeld
- 9.3 Auftrieb
- 9.4 Oberflächeneffekte bei Flüssigkeiten

Kapitel 10: Strömende Flüssigkeiten und Gase

- 10.1 Ideale strömende Flüssigkeiten und Gase
- 10.2 Reale Flüssigkeiten und Gase

- 10.3 Turbulenz
- 10.4 Dynamischer Auftrieb

Kapitel 11: Mechanische Wellen

- 11.1 Schallwellen in Festkörpern
- 11.2 Stehende Wellen
- 11.3 Schallwellen in Flüssigkeiten und Gasen
- 11.4 Energie und Intensität einer Welle
- 11.5 Dopplereffekt
- 11.6 (Akustik, Musikinstrumente)

Kapitel 12: Wärmelehre (ganz oder teilweise im SoSe)

- 12.1 Kinetische Gastheorie
- 12.2 Zustandsgrößen, Zustandsgleichung
- 12.3 Ausdehnung fester + flüss. Stoffe
- 12.4 Wärmetransport
- 12.5 Erster Hauptsatz, spezifische Wärme
- 12.6 Zustandsänderungen bei idealen Gasen
- 12.7 Zweiter Hauptsatz
- 12.8 Entropie
- 12.9 Dritter Hauptsatz
- 12.10 Reale Flüssigkeiten+Gase

Kapitel 1. Einführung – 1.1 Was ist Physik?

Wikipedia (dt., aktuell)

Die Physik ist eine Naturwissenschaft, die grundlegende Phänomene der Natur untersucht. Um deren Eigenschaften und Verhalten anhand von quantitativen Modellen und Gesetzmäßigkeiten zu erklären, befasst sie sich insbesondere mit Materie und Energie und deren Wechselwirkungen in Raum und Zeit.

Wikipedia (dt., ca. 2011)

Die Physik (altgriechisch *physike theoria* ‚Naturforschung‘ und lateinisch *physica* ‚Naturlehre‘) ist die grundlegende Naturwissenschaft in dem Sinne, dass die Gesetze der Physik alle Systeme der Natur beschreiben.

Wikipedia (engl., aktuell)

Physics is the natural science that studies matter, its fundamental constituents, its motion and behavior through space and time, and the related entities of energy and force. Physics is one of the most fundamental scientific disciplines, with its main goal being to understand how the universe behaves.

J.C.Maxwell (1878)

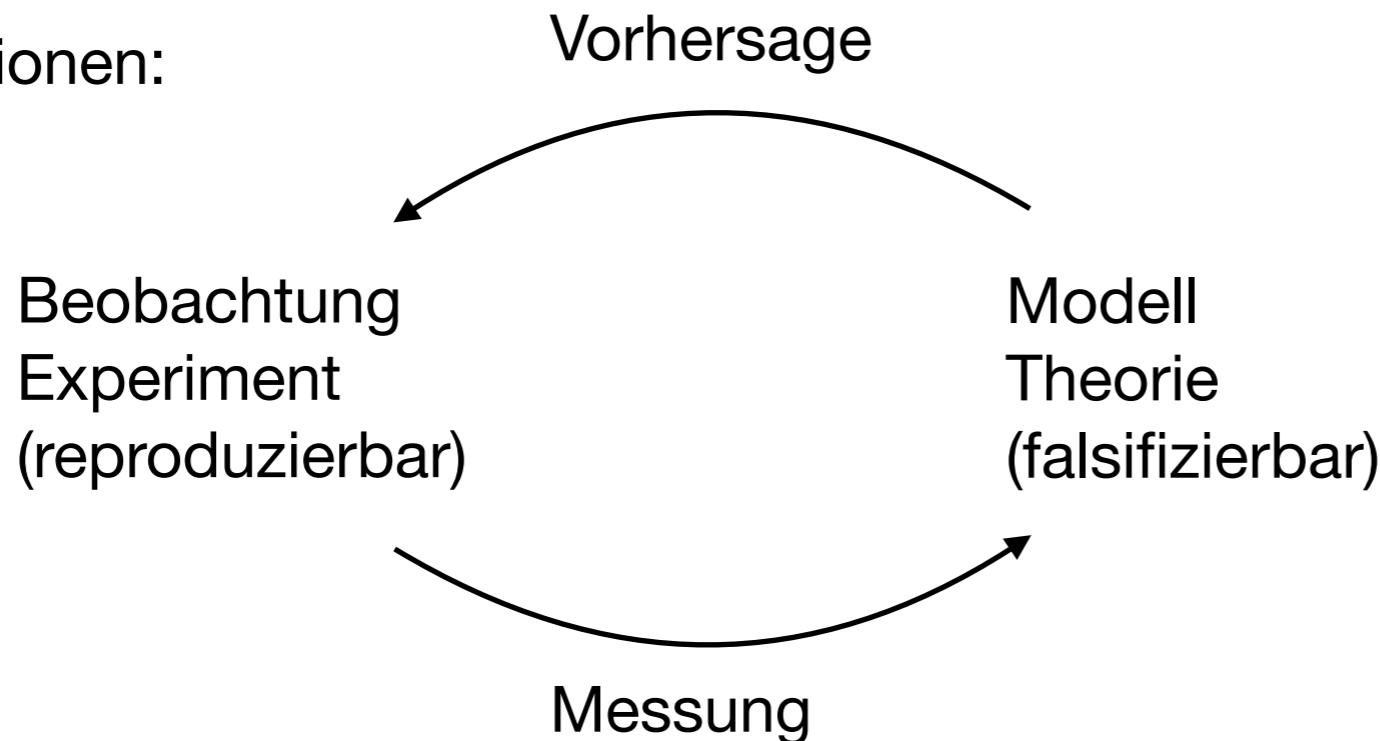
Physical science is that department of knowledge which relates to the order of nature, or, in other words, to the regular succession of events.

1.1 Was ist Physik?

Young, Freedman (2004)

Physics is an experimental science. Physicists observe the phenomena of nature and try to find patterns and principles that relate these phenomena. These patterns are called physical theories or, when they are very well established and of broad use, physical laws or principles

Definitionen:



★ empirisch

Natur beobachten

★ quantitativ

Messungen

★ reduktionistisch

möglichst wenige Gesetze für möglichst
viele Phänomene

★ abstrahierend

vereinfachende Annahmen + Korrekturen

Bsp. Massenpunkt; “ideales” Gas;
“reibungsfrei gelagert”

1.2 Geschichtlicher Überblick

Physik lässt sich in 3 Epochen gliedern:

- ★ Antike (Naturphilosophie)
- ★ Klassische Physik (seit Gallilei 1564-1642)
- ★ Moderne Physik (seit ca. 1900)

1.2 Ein bisschen Geschichte

Antike „Naturphilosophie“

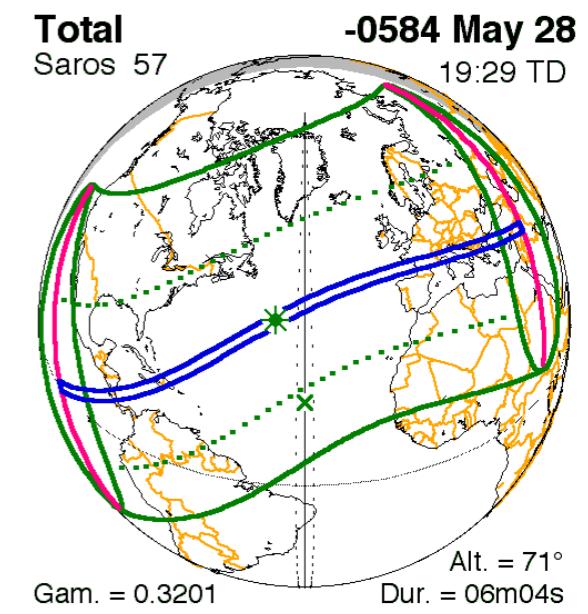
- erste Überlieferungen über die Beschäftigung mit Naturerscheinungen
 - Versuche rationale Begründungen zu finden
- Entmythologisierung der Natur (Götter, Zauber → „Mechanismus“)
- keine „Naturwissenschaft“ im heutigen Sinn
(teilweise) geniale Ideen – aber keine Überprüfung der Konsequenzen dieser Ideen durch Experimente

Beispiele:

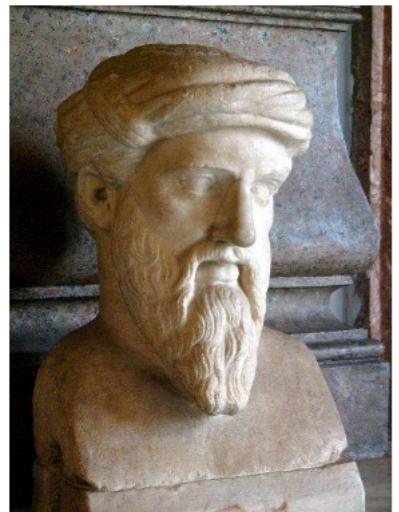


Thales von Milet (624-546 v.Chr) - Vorsokratiker

- Vorhersage Sonnenfinsternis 585 v. Chr ? (unter Zuhilfenahme babylonischer Aufzeichnungen)
- „alles aus Wasser“
- „Magnetstein bewegt Eisen“ → ist belebt
- Geometrie (Thales-Satz, Strahlensatz)



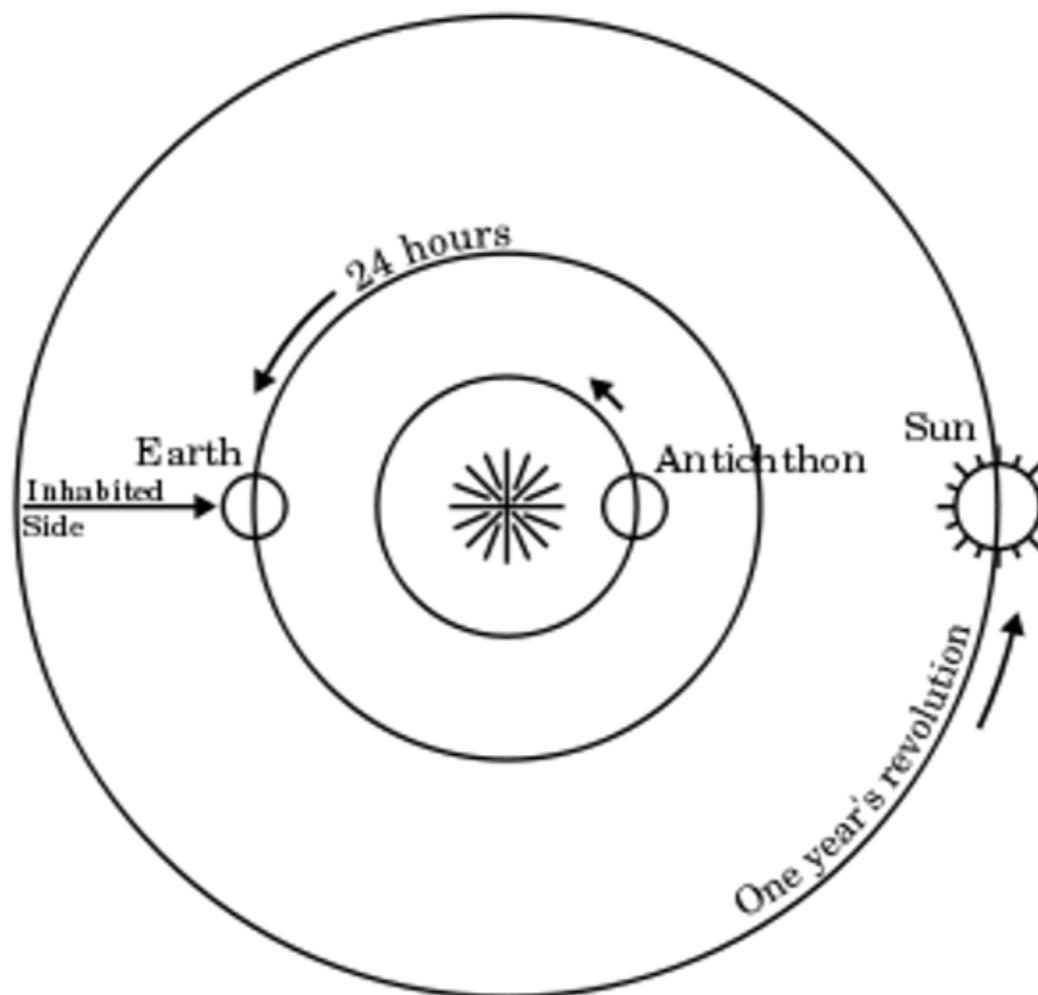
1.2 Ein bisschen Geschichte



Pythagoras (572(?)–492(?) v. Chr.) – Vorsokratiker

- Leistungen umstritten (s. Wikipedia...)
- Satz des Pythagoras schon Babylonieren bekannt

Philolaos (Pythagoräer): Gestirne kreisen um „Zentralfeuer“ – Erde + Gegenerde



1.2 Ein bisschen Geschichte

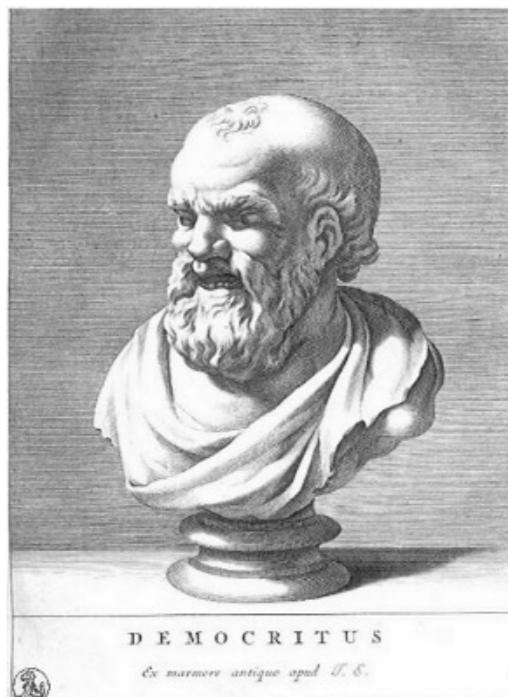


Anaxagoras (499-428 v.Chr)

„unendlich viele kleine Bestandteile unterschiedlicher Art“

Leukipp (5. Jh. v Chr)

„die Welt besteht aus leerem Raum und Materie“



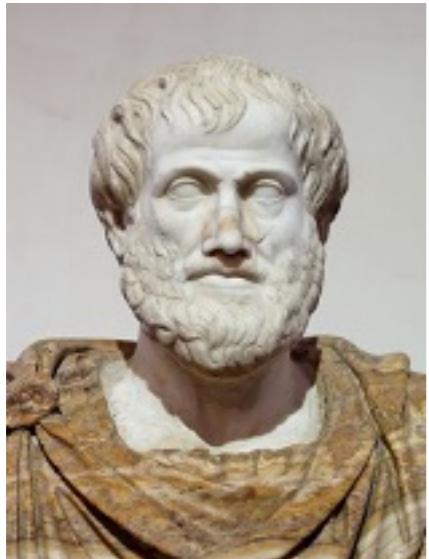
Demokrit (460(?) – 370(?) v. Chr.)

„Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe, nur scheinbar ist es süß oder bitter; in Wirklichkeit gibt es nur Atome im leeren Raum“

atomos = unteilbar

1.2 Ein bisschen Geschichte

27



Aristoteles (384-322 v.Chr)

- prägte den Begriff „jusikhs“ – Physik
- Begriffe: Raum – Zeit – Bewegung – Ursache
- Planeten in drehenden Kristallschalen befestigt



Aristarch von Samos (310-230 v.Chr)

laut Archimedes arbeite Aristarch an heliozentrischem Weltbild:

„... Seine Hypothesen sind, dass die Fixsterne und die Sonne unbeweglich sind, dass die Erde sich um die Sonne auf der Umfangslinie eines Kreises bewegt, wobei sich die Sonne in der Mitte dieser Umlaufbahn befindet, und dass die Sphäre der Fixsterne, deren Mitte diese Sonne ist und innerhalb derer sich die Erde bewegt, eine so große Ausdehnung besitzt, dass der Abstand von der Erde zu dieser Sphäre dem Abstand dieser Sphäre zu ihrem Mittelpunkt gleichkommt.“

1.2 Ein bisschen Geschichte

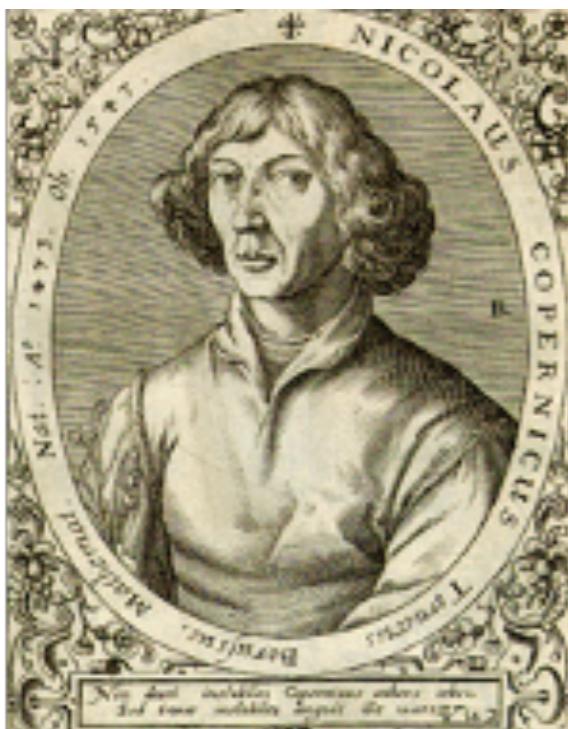
Dogmatisches Denken der antiken Philosophen bis ins Mittelalter

→ wenig/kein Fortschritt

→ Verfestigung eines geozentrischen Weltbildes (geschützt von der kath. Kirche)

Klassische Physik (und Astronomie)

1. Durchbruch in der Astronomie



Nikoalus Kopernikus
(1473-1543)



Tycho Brahe
(1546-1601)



Johannes Kepler
(1571-1630)

1.2 Ein bisschen Geschichte

Kopernikus (1543):



- vertritt heliozentrisches Weltbild
- Planeten auf Kreisbahnen um Sonne
- Fixsterne bewegen sich scheinbar aufgrund der Drehung der Erde
- immer noch „naturphilosophisch“ motiviert

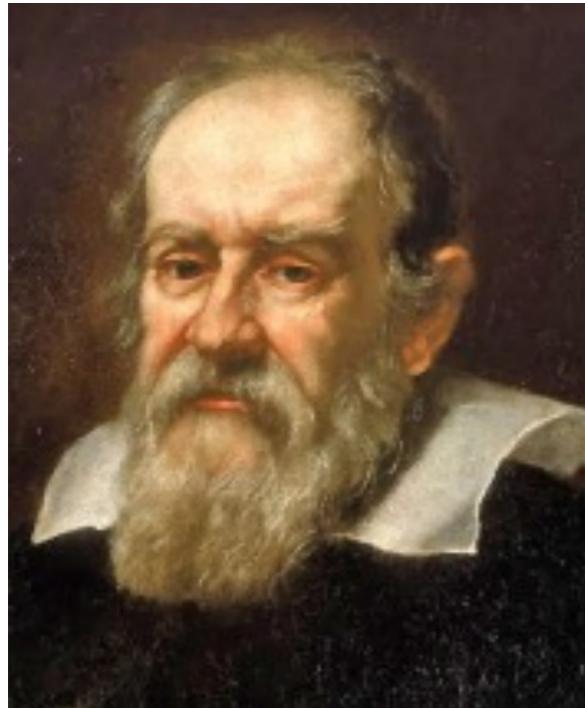
1.2 Ein bisschen Geschichte

Brahe („Experiment“) + Kepler („Theorie“)

- Brahe: Jahrzehnte lange Präzisionsmessungen von Stern- und Planetenbewegungen
- Präzision: 10 Bogensekunden!
- Kepler: Analyse der Daten
- (Keplersche) Gesetze über die Planetenbewegungen
- später von Newton als Lösungen des universellen Gravitationsgesetzes erkannt

1.2 Ein bisschen Geschichte

2. Durchbruch in der Physik:



Galileo Galilei (1564-1642)

- gilt als Begründer der Physik im heutigen Sinn
- macht als erster dedizierte Experimente zum Test von Hypothesen
- Beiträge zu
 - kopernikanischem Weltbild
 - Instrumente: Fernrohr → Entdeckung Jupitermonde
 - Uhren
 - Fallexperimente (Turm von Pisa, schiefe Ebene)
 - Thermometer
 - Hydraulik

...

1.2 Ein bisschen Geschichte



Isaac Newton (1642-1727)

- Einführung der Mathematik in die Physik
- Entwicklung der Infinitesimalrechnung (parallel zu Leibniz)
 -
- Grundlagen der Mechanik (Newton'sche Gesetze)
„Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“
- Gravitation
- Optik

Theoretische Formulierung der klass. Mechanik:

- Joseph-Louis de Lagrange (1736-1813)
- William Rowan Hamilton (1805-1865)

→ Endgültiger Abschied vom “philosophischen” Charakter der Physik

→ Mathematische Beschreibung von Experimenten im Zentrum

1.2 Ein bisschen Geschichte

Nach/ab Newton: Ausbildung von physikalischen Teildisziplinen

Wärmelehre, kinetische Gastheorie

Celsius (1701-1744)

Kelvin (1824-1907)

Julius Robert Meyer (1814-1878)

Rudolf Clausius (1822-1888) Bonn!

1. Hauptsatz d. Wärmelehre

2. Hauptsatz d. Wärmelehre

Optik

Lippersky (1570-1619) Linsen

Snellius (1591-1626) Brechung

Newton Spektralfarben

Grimaldi (1618-1663)

Huygens (1629-1695)

Young (1773-1829)

Fresnel (1788-1827) Wellenoptik

1.2 Ein bisschen Geschichte

Elektrizität + Magnetismus

Gilbert (1544-1603) Magnetfeld der Erde, Reibungselektrizität

Gray (1670-1736) Elektrische Ladung

Coulomb (1736-1806) Elektrometer, Coulomb-Gesetz

Galvani (1737-1798) Froschschenkelversuche (!), Kontaktspannung

Volta (1745-1827) Gleichstromelement

Ørsted (1777-1851) magn. Wirkung des elektrischen Stroms

Ampère (1775-1836) Begründung der mod. Elektrodynamik

Faraday (1791-1867) Induktion, Wechselstromtechnik

Maxwell (1831-1879) Grundgleichungen der Elektrodynamik,

Vorhersage der el.-mag. Wellen

Hertz (1857-1894) (u.a. in Bonn) Entdeckung der el.-mag. Wellen

Ende des 19. Jh.

Alle Probleme gelöst?

1.2 Ein bisschen Geschichte

Probleme – die zur **Modernen Physik** führten

- **Konstanz der Lichtgeschwindigkeit** (Michelson, 1881)

⇒ spezielle Relativitätstheorie (Einstein 1905)

- **Linienspektren der Atome** (Kirchhoff, Balmer, Paschen, Kayser (BN), ...)

- **Probleme bei der Beschreibung der Wärmestrahlung**

⇒ Quantentheorie (Planck, Bohr, Sommerfeld, Schrödinger, Heisenberg)

⇒ relativistische Quantenfeldtheorie (Dirac, Feynman, ...)

(Mehrere) **Paradigmenwechsel**:

Verabschiedung von

- deterministischem Weltbild
- Trennung von Raum und Zeit

Eine kurze Rundreise

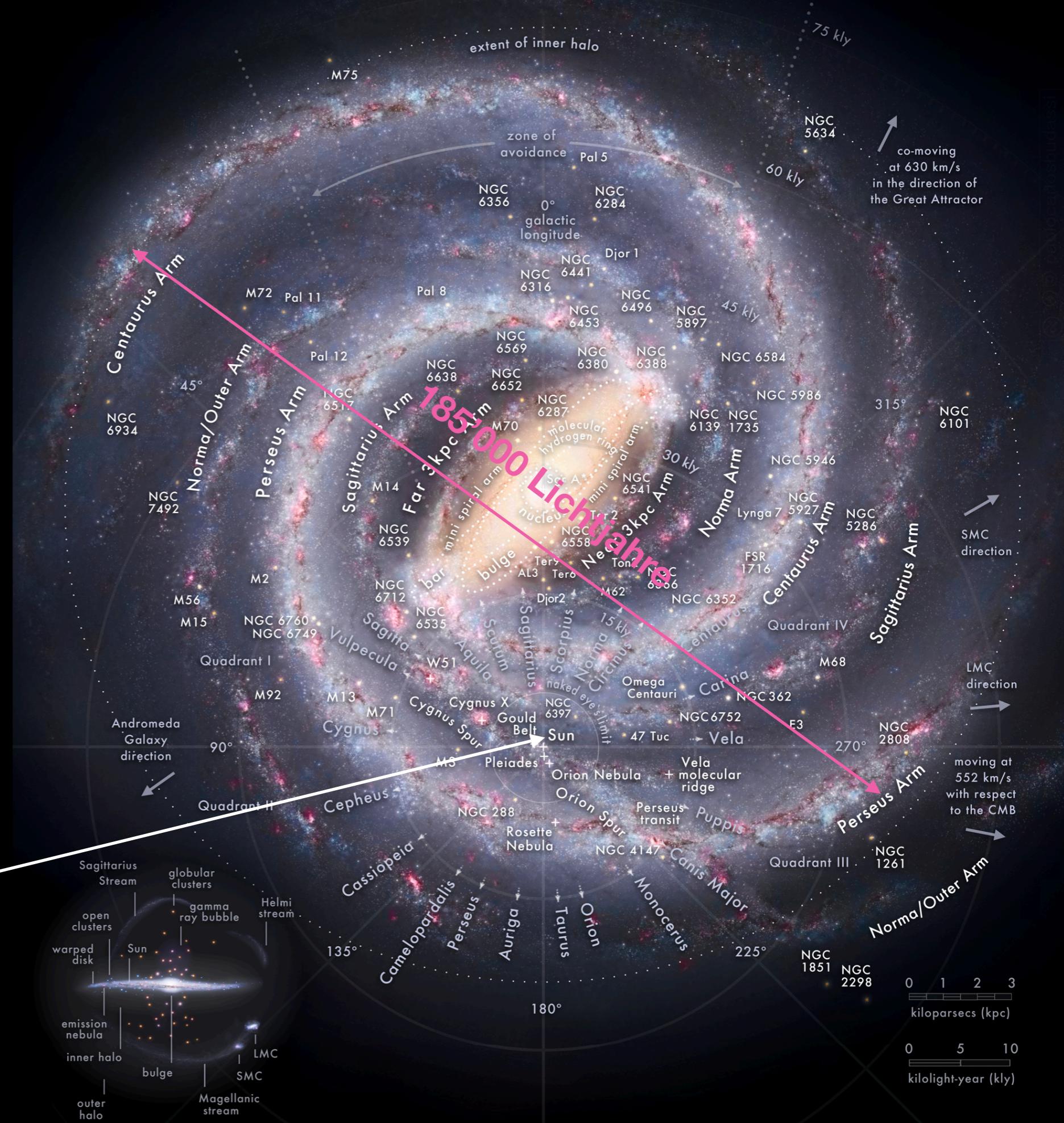
Die Milchstrasse

**Heimat von ca. 100-400
Milliarden Sternen
Durchmesser ca.
185'000 Lichtjahre**

**1 Lichtjahr = Distanz die
Licht im Vakuum in
einem Jahr zurücklegt**

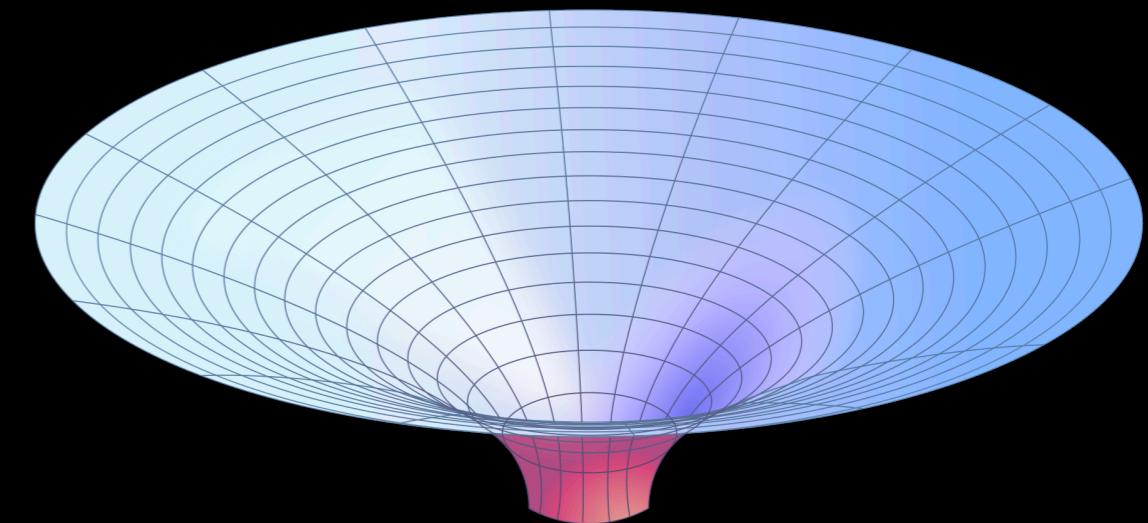
= ca. 9'500'000'000'000 km
(9.5×10^{12} km)

Unser Zuhause

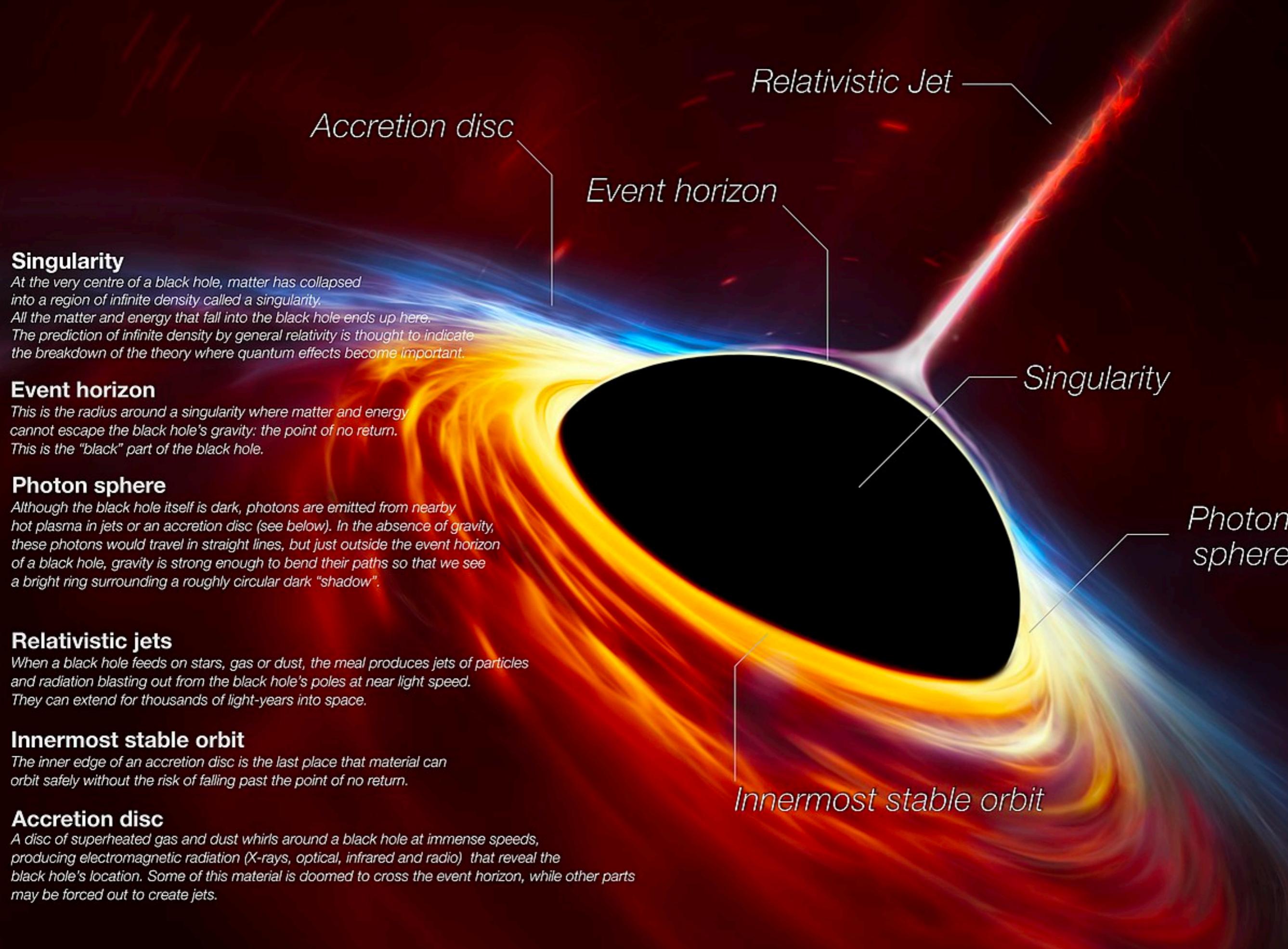




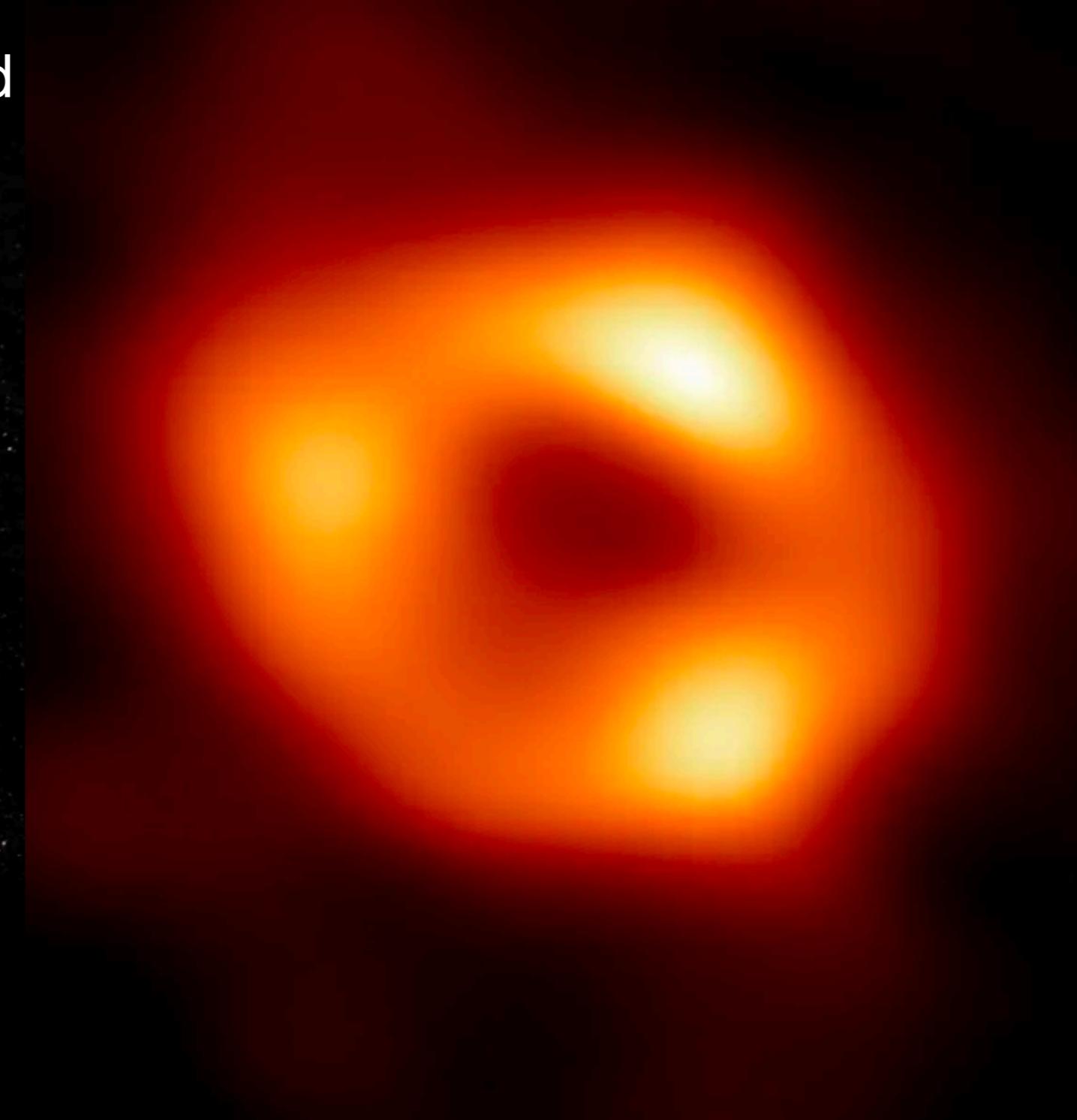
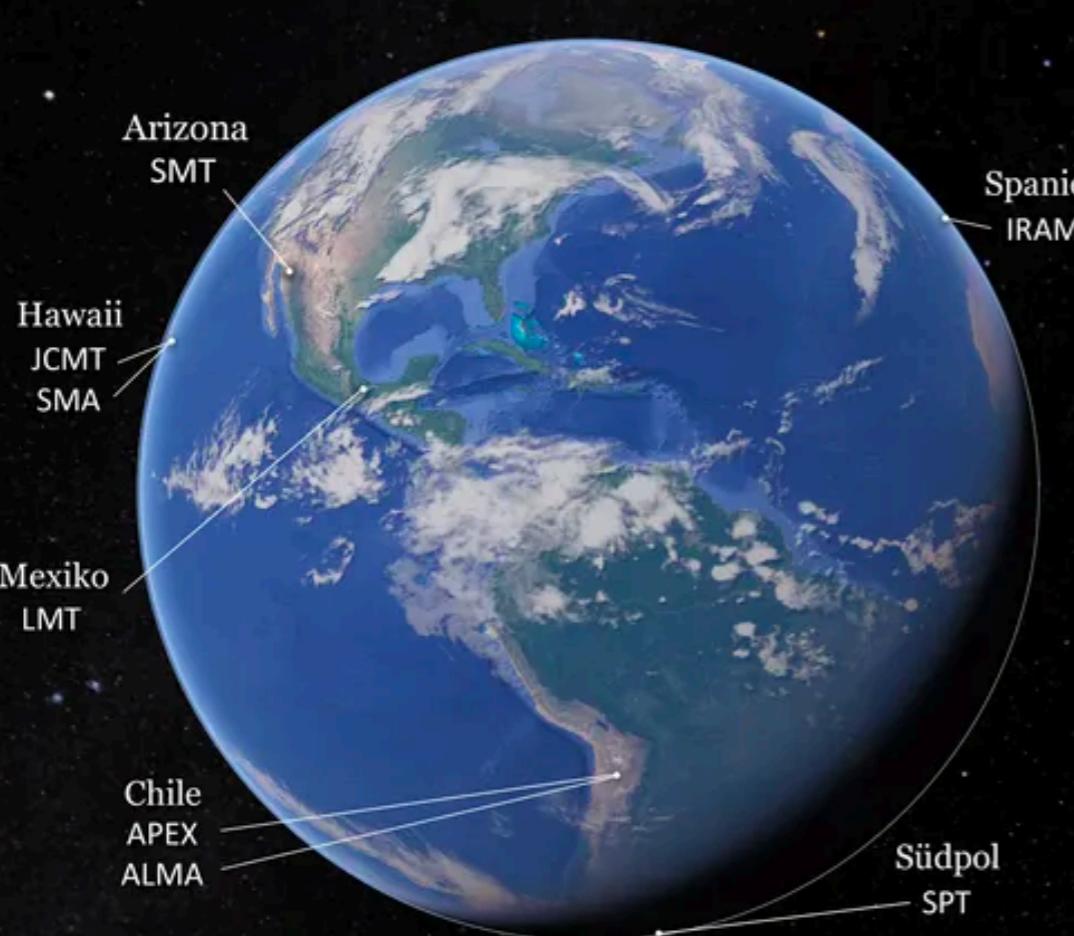
**Im Zentrum
der Galaxie ist
das Sternzeichen
Sagittarius A***



Durch die starke
Massenkonzentra-
tion verhalten
sich Raum und
Zeit dort anders

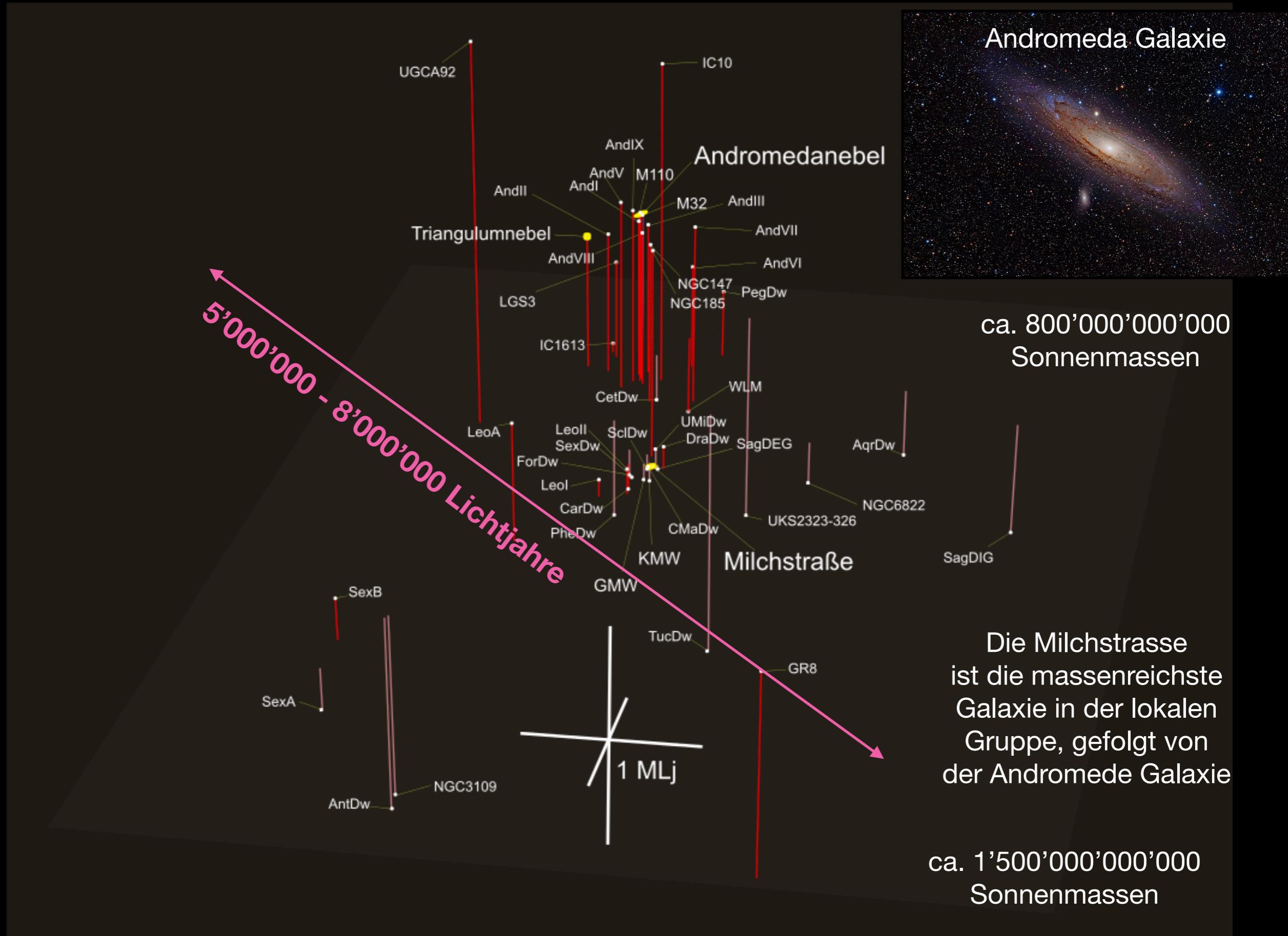


Event Horizon Telescope Verbund



Durch die geschickte
Kombination von mehreren Teleskopen
kann die Akkretionsscheibe abgebildet werden

Unsere Nachbarschaft: die lokale Gruppe



Die Andromeda Galaxie ist auf einem Kollisionskurs mit der Milchstrasse (Relativgeschw. 110 km/s) (die erste Kollision ist in 2 Milliarden Jahren zu erwarten, und beide Galaxien werden in ca. 5 Milliarden Jahren eine einzige Supergalaxie bilden)

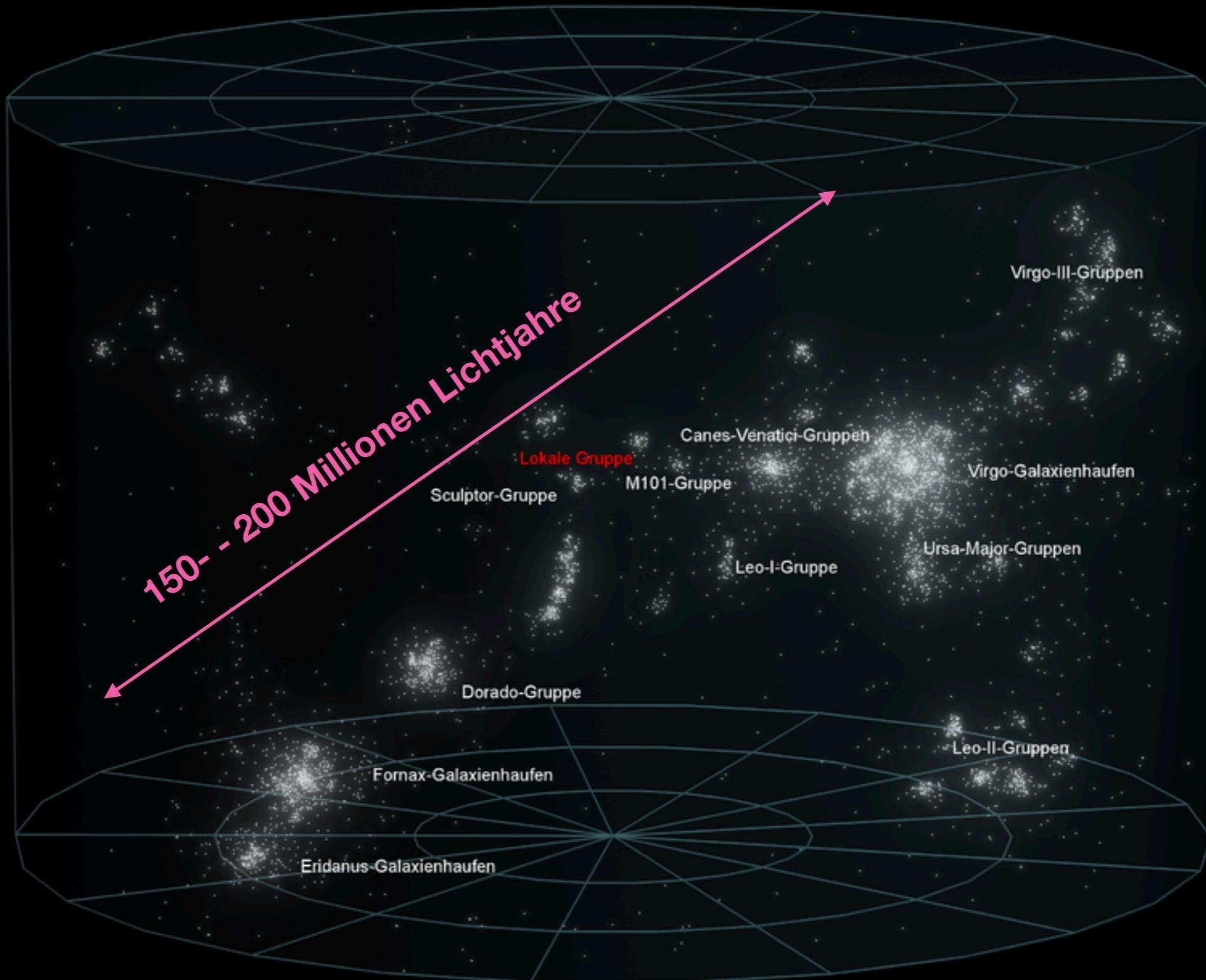


Los Angeles Times

“A perpetual operation, night after night, causes severe problems for looking at an object in that part of the sky,” Krupp said.

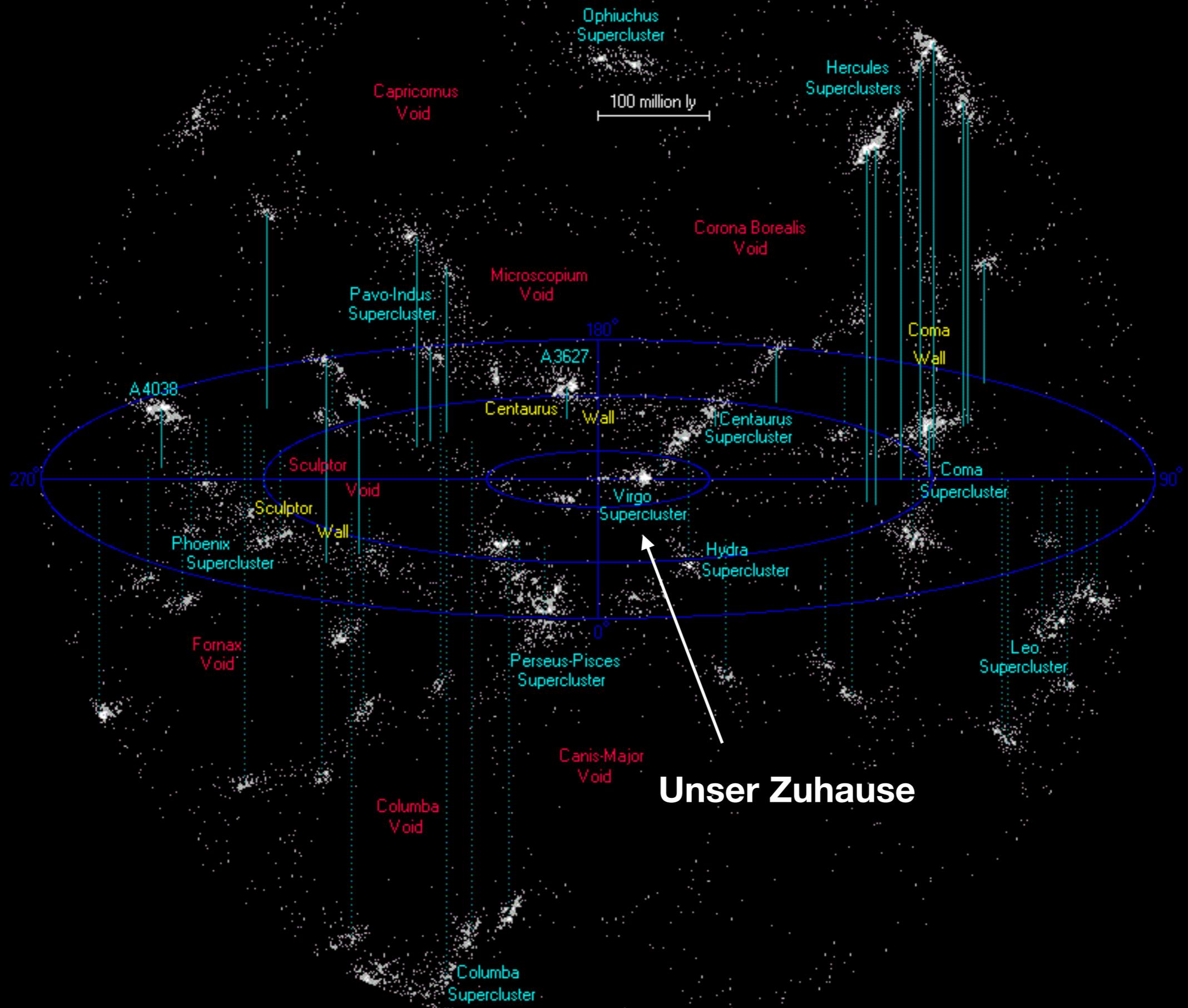
So foreign are the real night skies to Los Angeles that in 1994, after the Northridge earthquake jostled Angelenos awake at 4:31 a.m., the observatory received many calls asking about “the strange sky they had seen after the earthquake.”

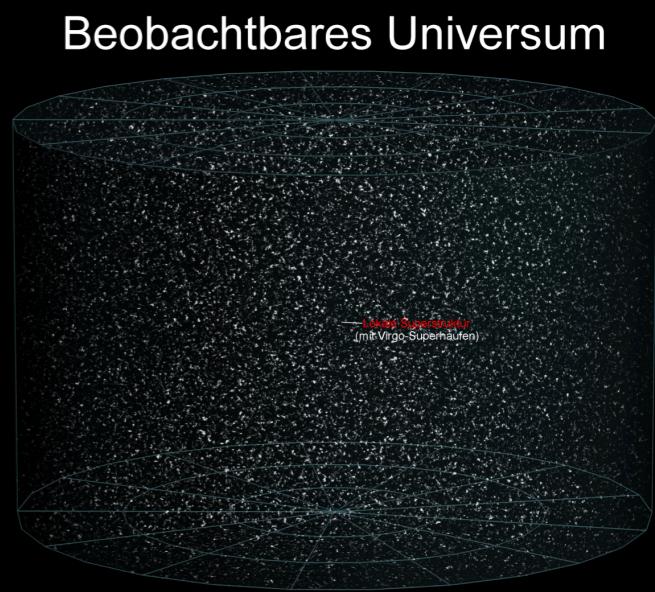
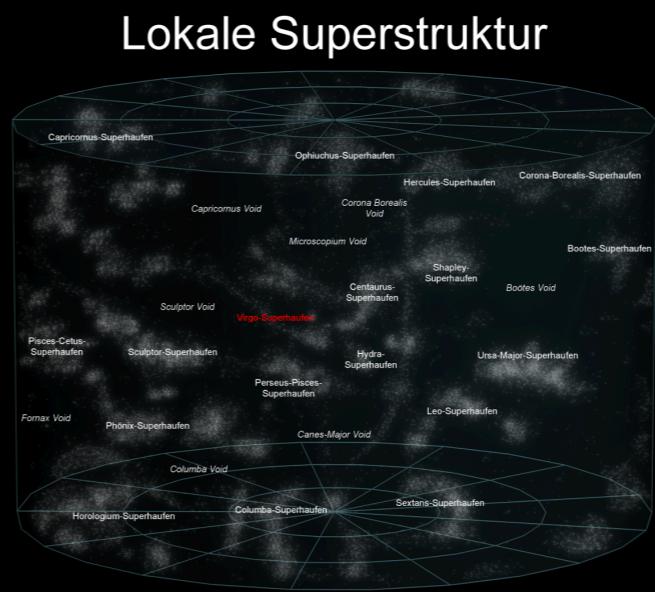
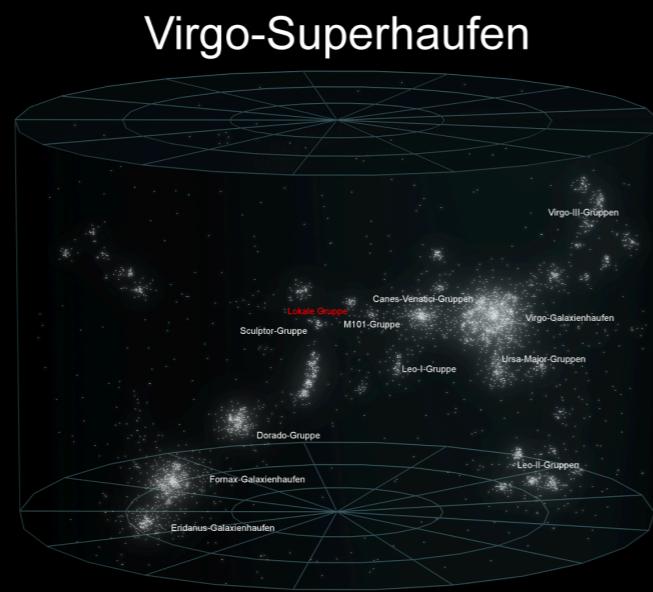
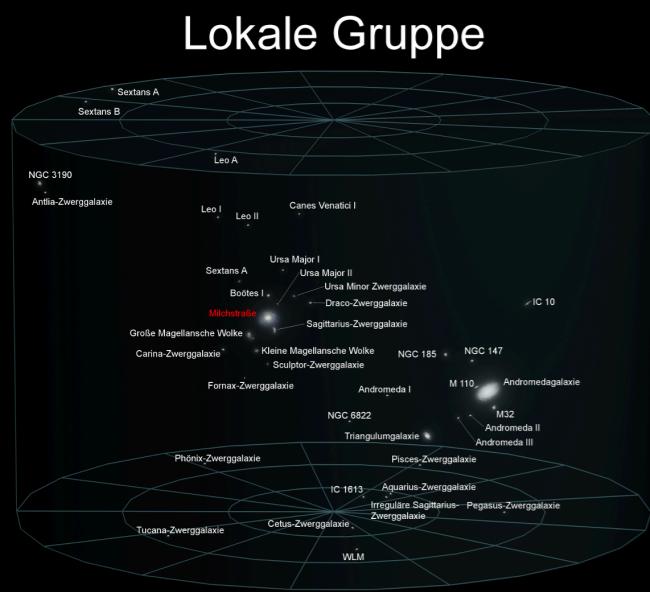
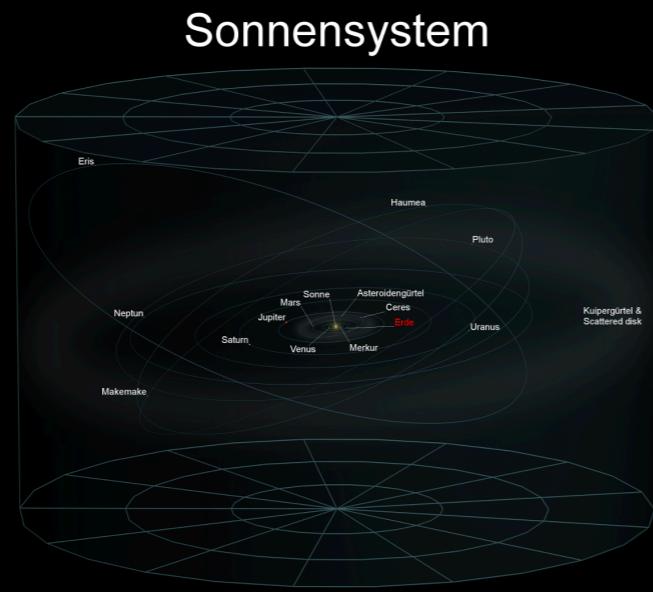
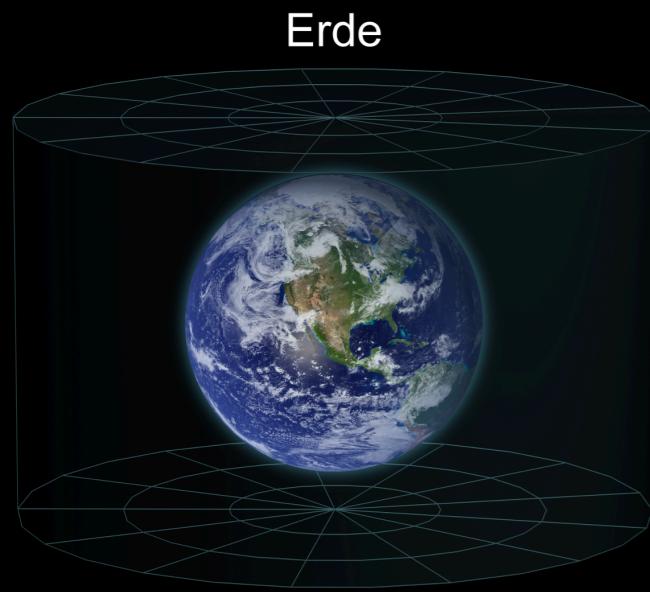
Virgo-Superhaufen



ca. 2'000 Galaxien, 10^{15} Sonnenmassen

Die Umgebung des Virgo-Superhaufens

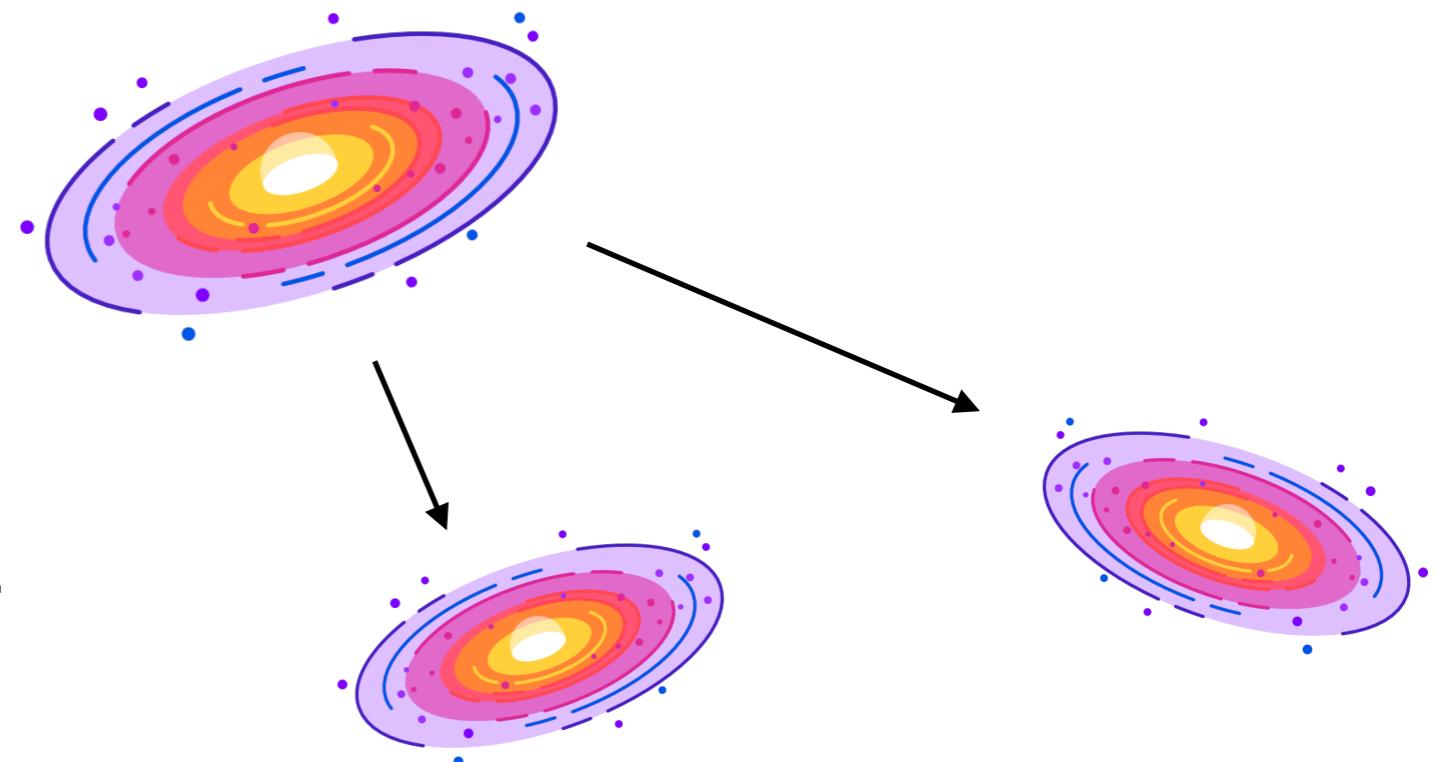




Edwin Hubble & Georges Lemaître

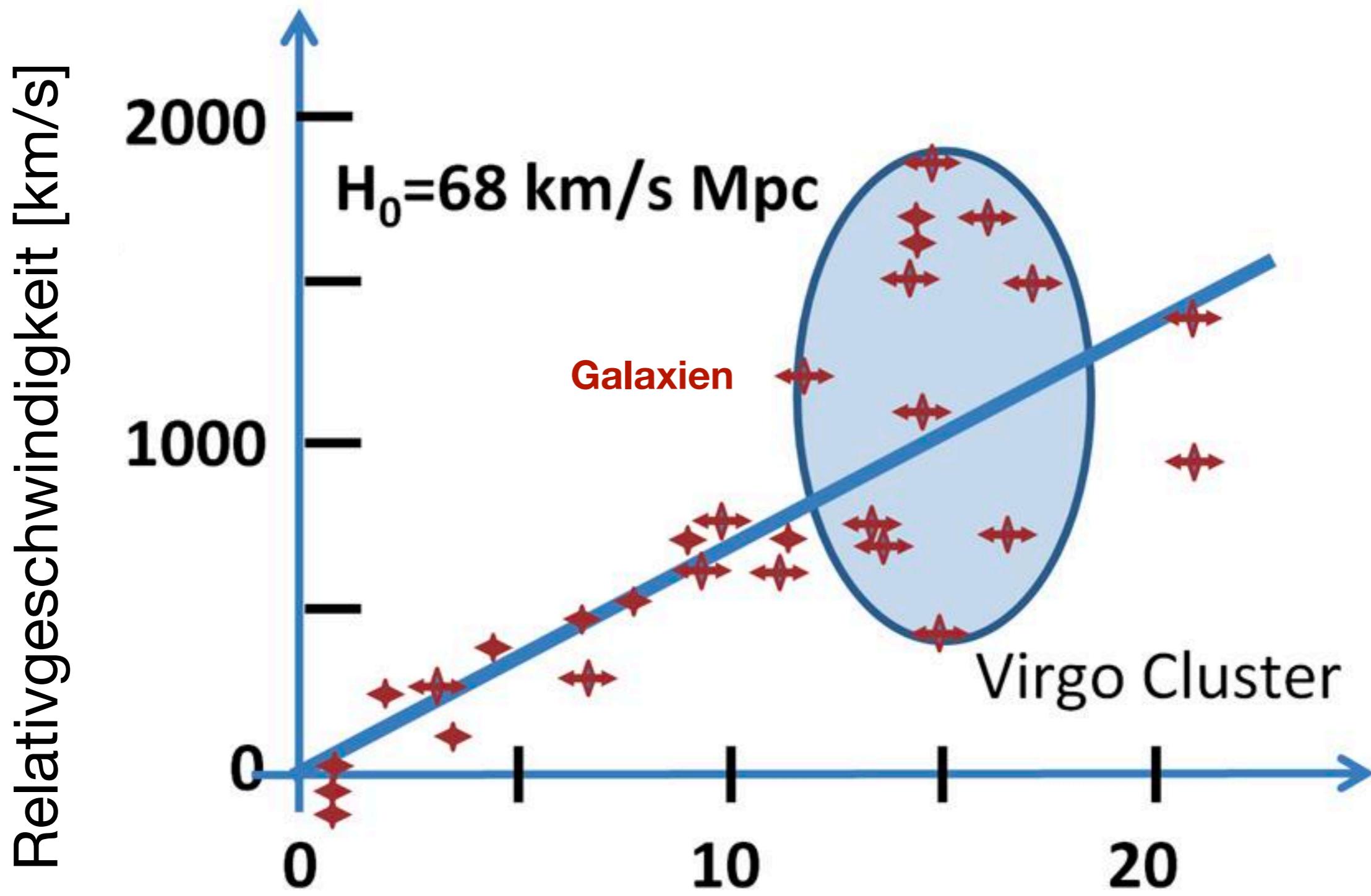


Edwin Hubble und andere Astronomen vermaßen die Distanz und Geschwindigkeit von benachbarten Galaxien (ca. 1925)



Die Daten deuten darauf hin,
dass sich die große Mehrheit der
Galaxien ausserhalb der lokalen
Gruppe von uns wegbewegen

Und je **größer** die **Distanz**, desto **größer** die Geschwindigkeit (?!)

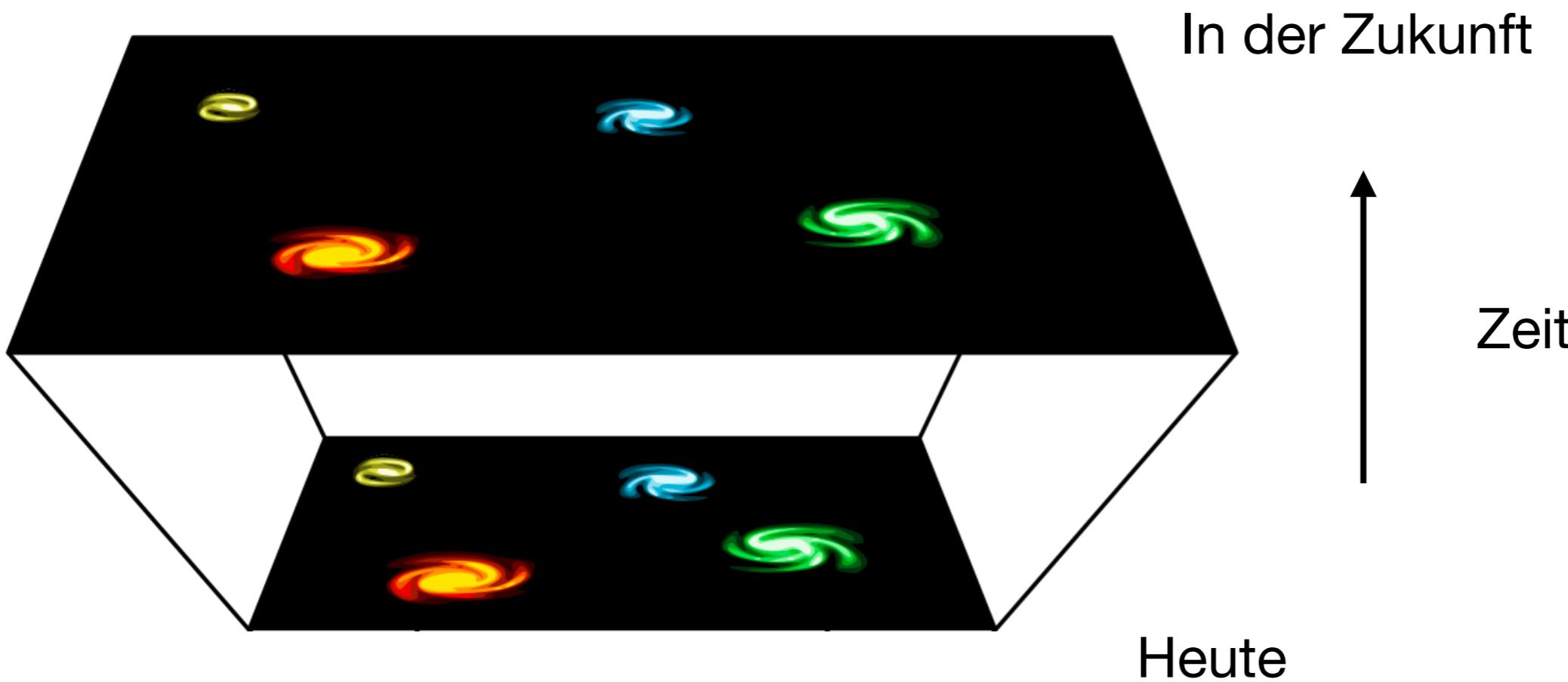


in Megaparsec = 3.26×10^6 Lichtjahre

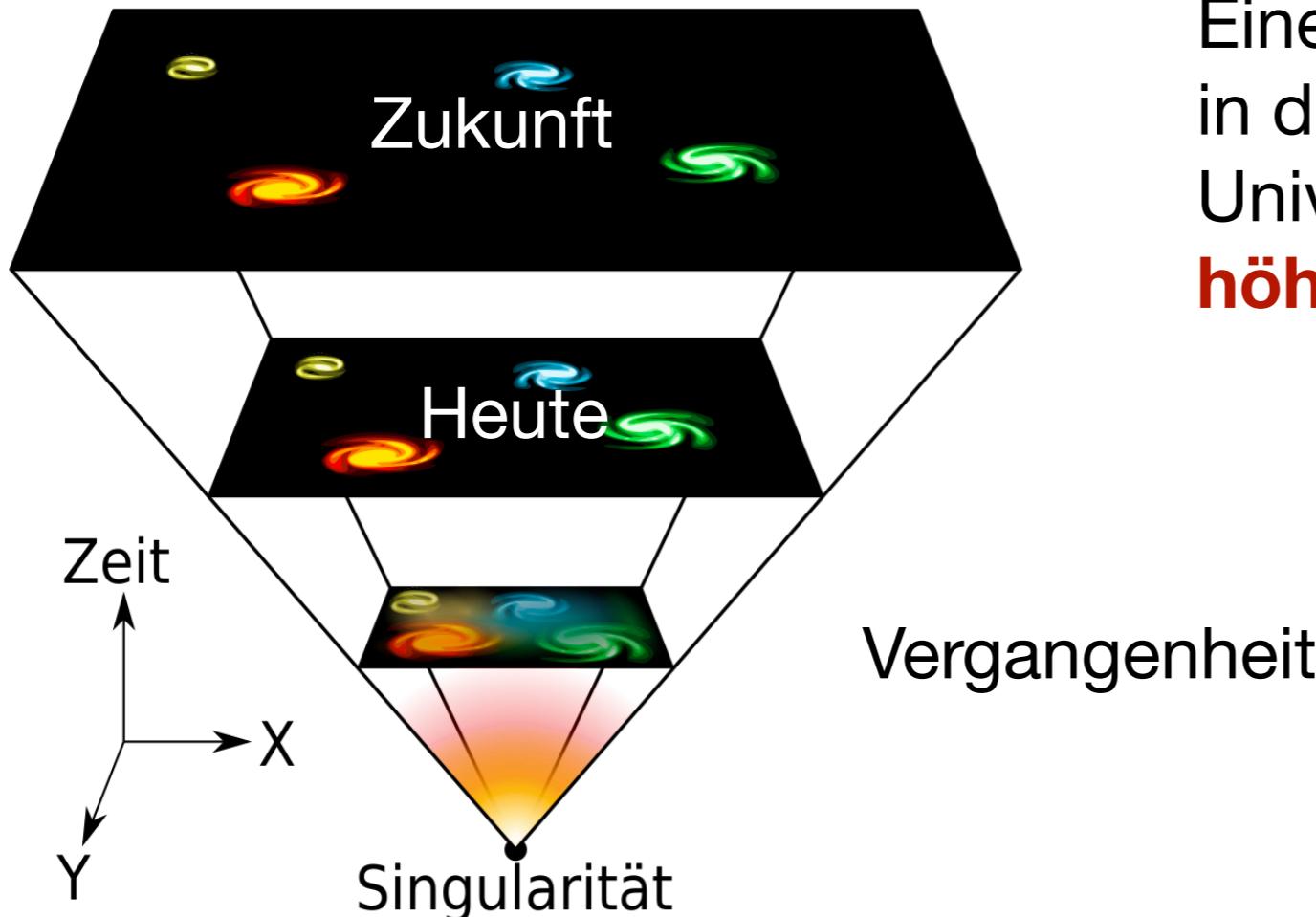


Hubble dachte, dass irgendwas mit dem Prinzip der Geschwindigkeitsmessung durch die sog. **Rotverschiebung** falsch sein muss...

Georges Lemaître erkannte aber, dass ein solches Verhalten im Einklang mit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie ist und postulierte 1927 die fortlaufende **Expansion des Weltalls**



Die Urknalltheorie



Eine Konsequenz hieraus ist, dass in der Vergangenheit, das Universum **viel kleiner** und eine **höhere Dichte besaß**.

Die wissenschaftliche Theorie dahinter ist die sog. **Urknalltheorie**

Die sichtbare Materie in der Milchstrasse

alle anderen
Elemente

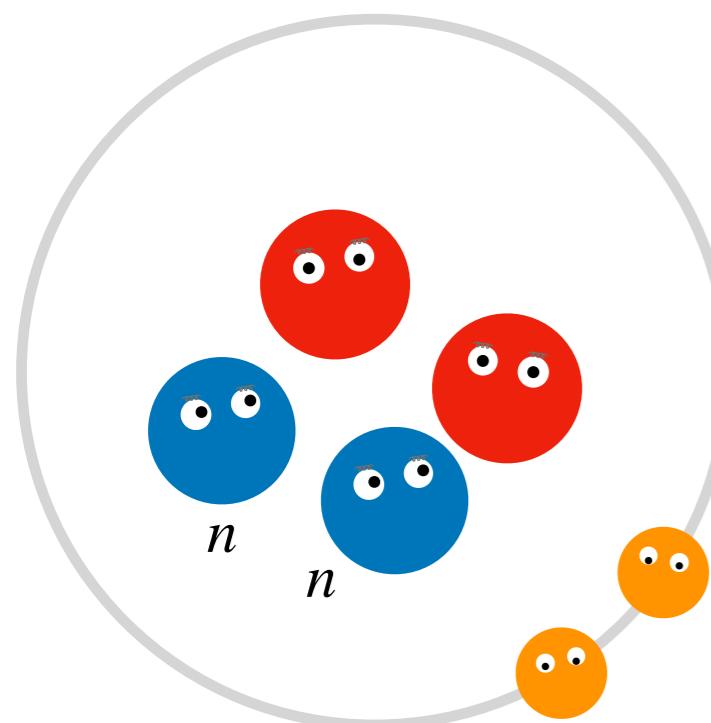
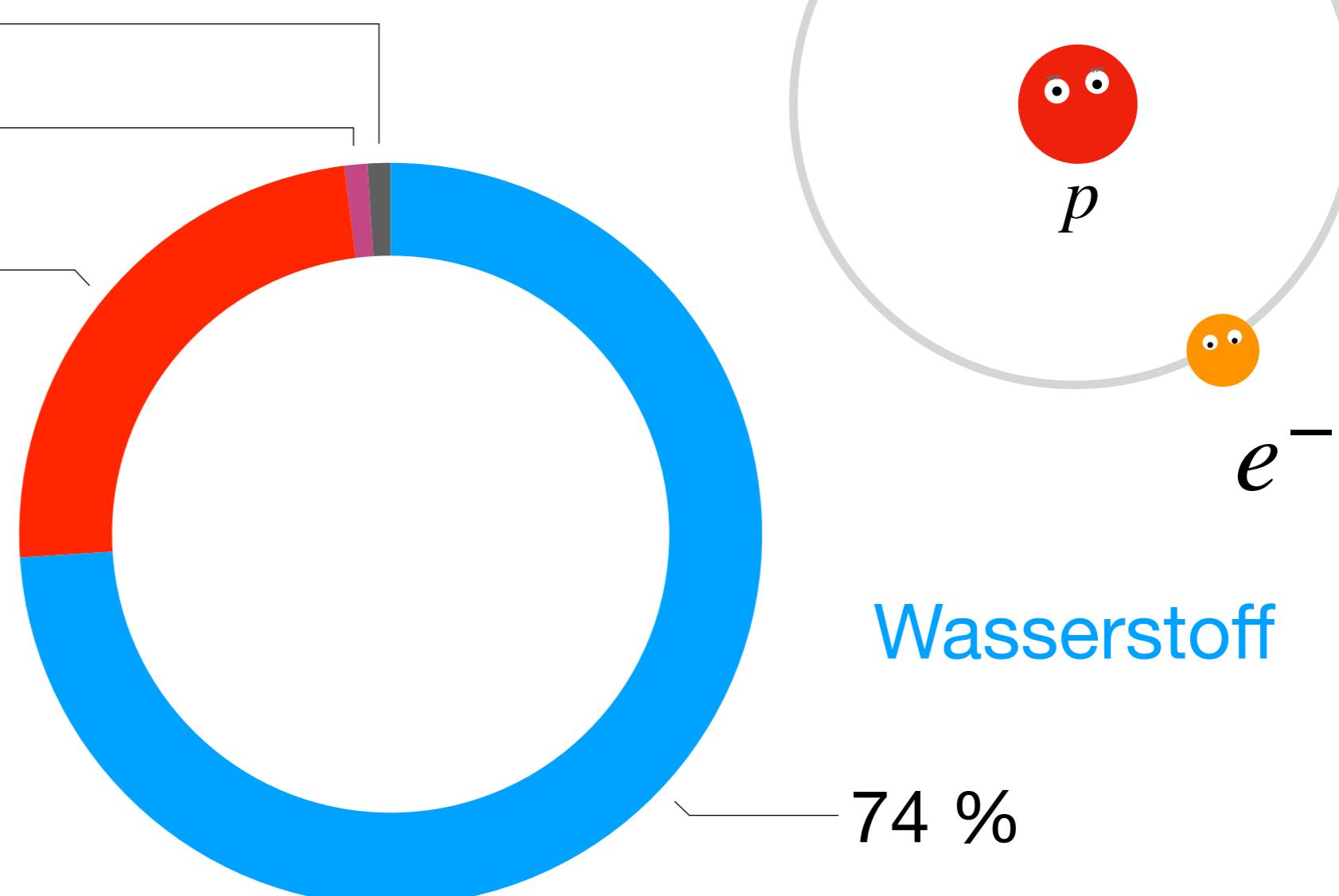
Sauerstoff

Helium

1 %

1 %

24 %



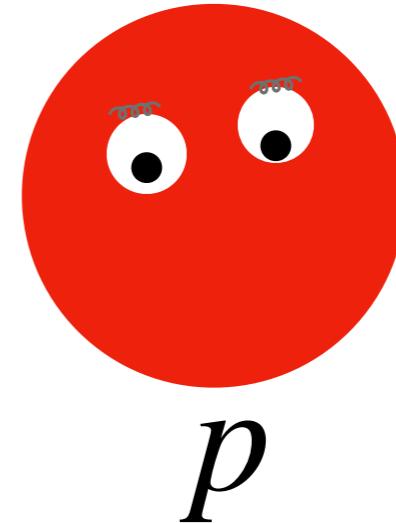
Bausteine der Materie

Alle chemischen Elemente sind aus **wenigen Elementarteilchen** aufgebaut:

Elektronen,
Protonen,
Neutronen



e

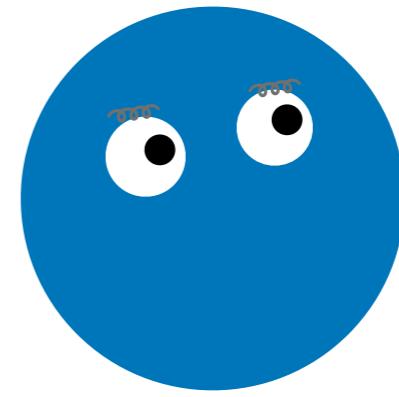


p

Elektronen haben
noch ungeladene
“Geisterteilchen”
als Cousins:
Elektron-Neutrinos



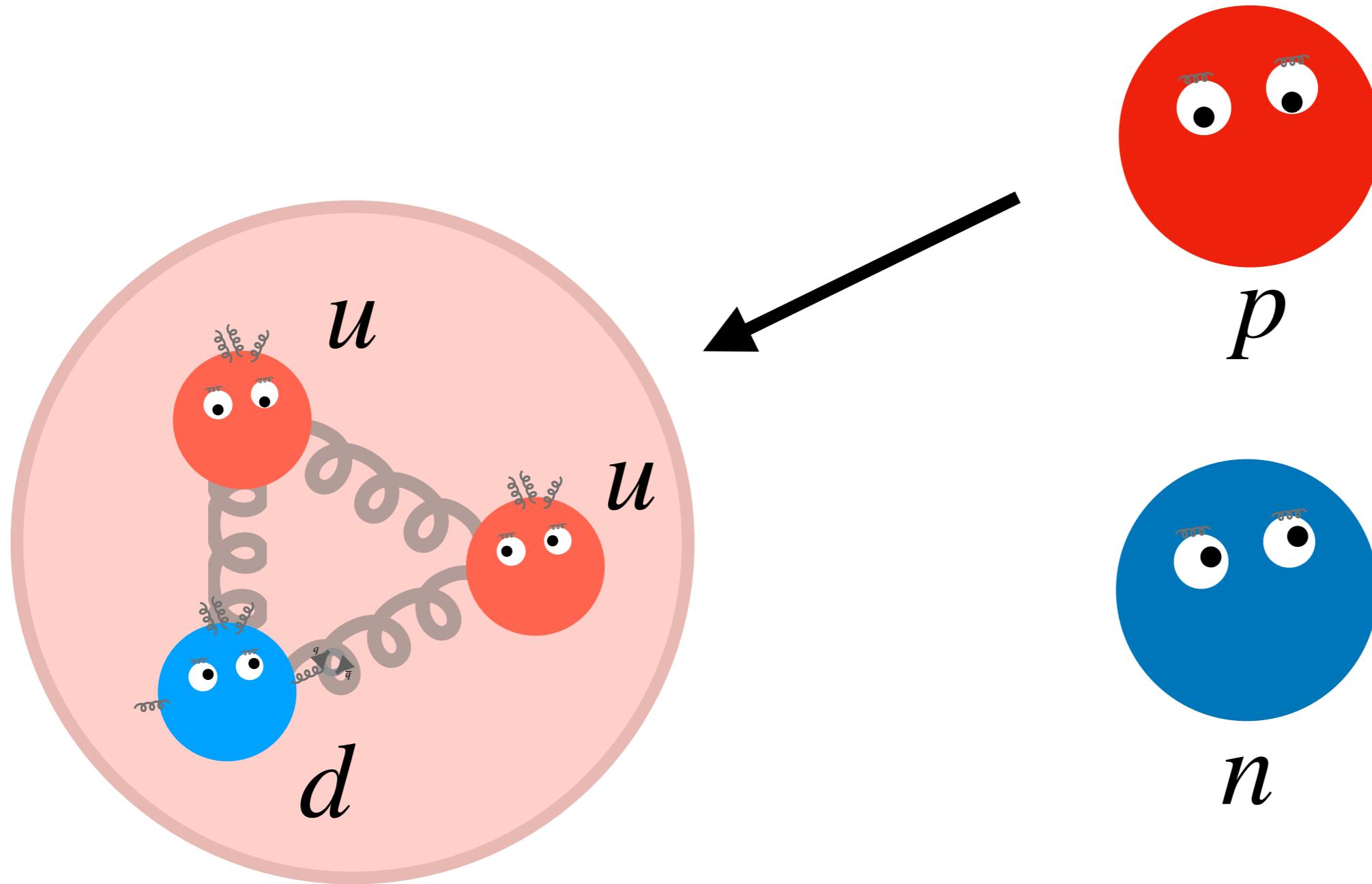
ν_e



n

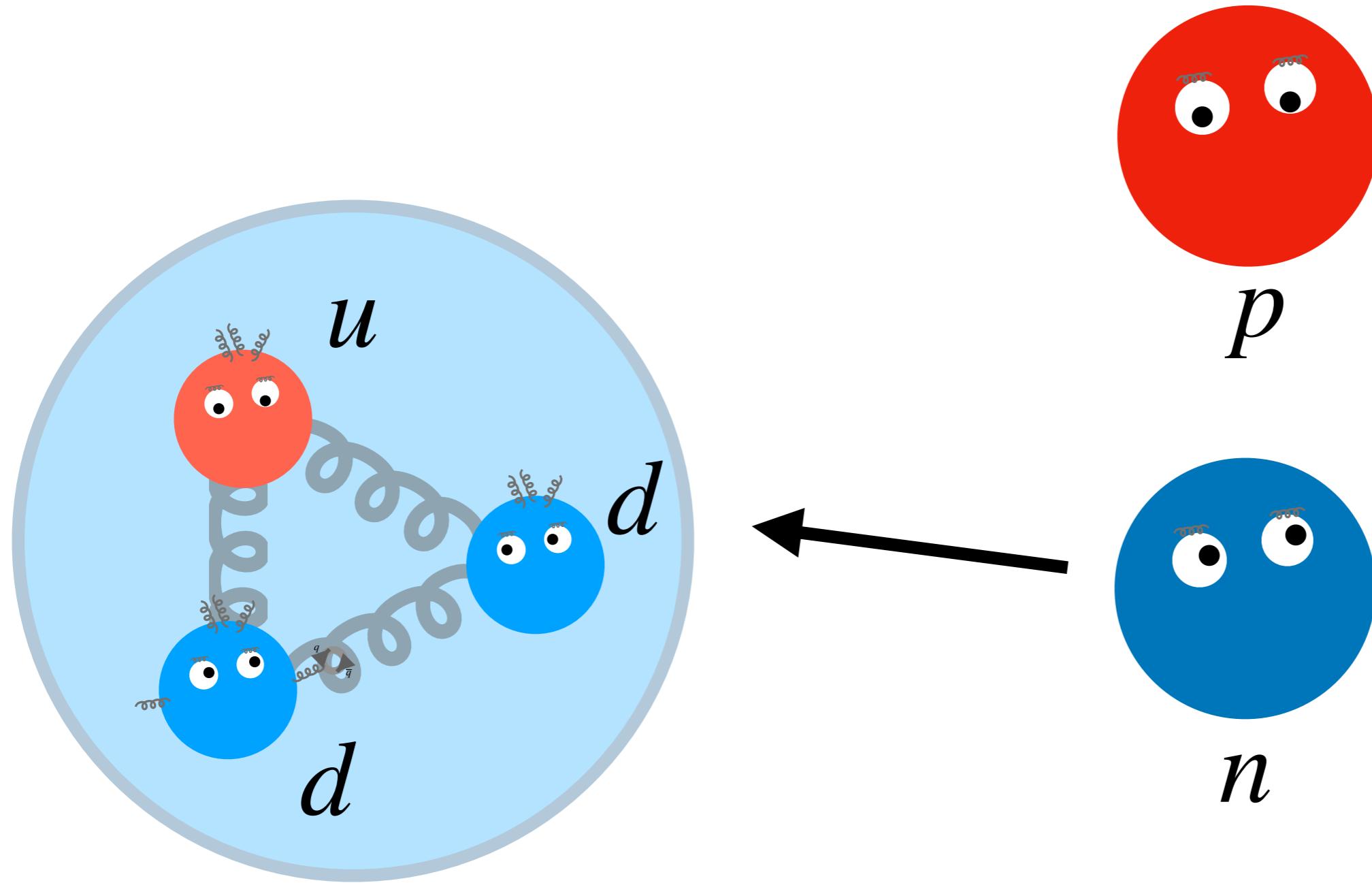
Bausteine der Materie

Protonen und Neutronen sind selber aus Elementarteilchen aufgebaut: **Up & Down Quarks**

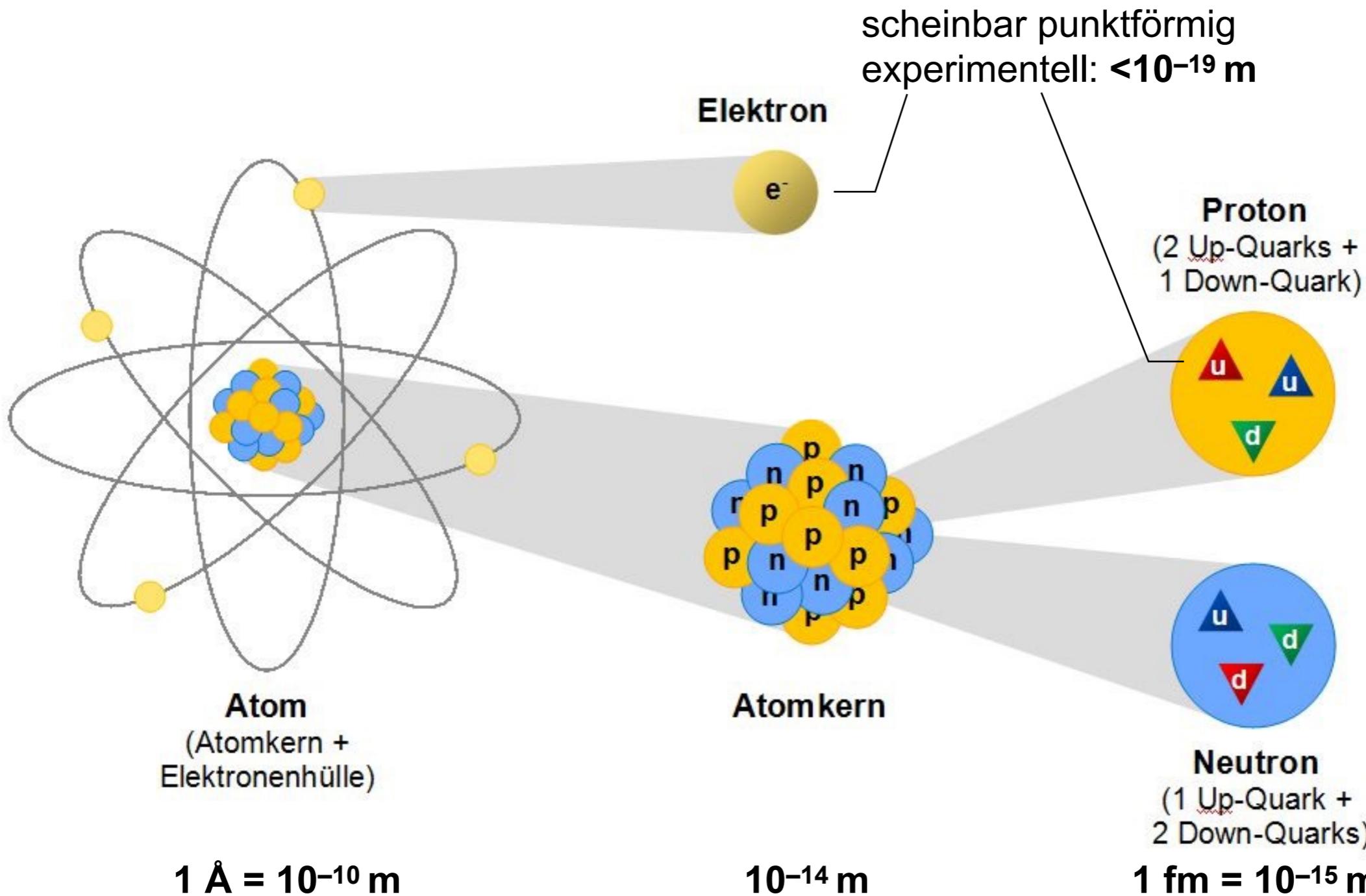


Bausteine der Materie

Protonen und Neutronen sind selber aus Elementarteilchen aufgebaut: **Up & Down Quarks**

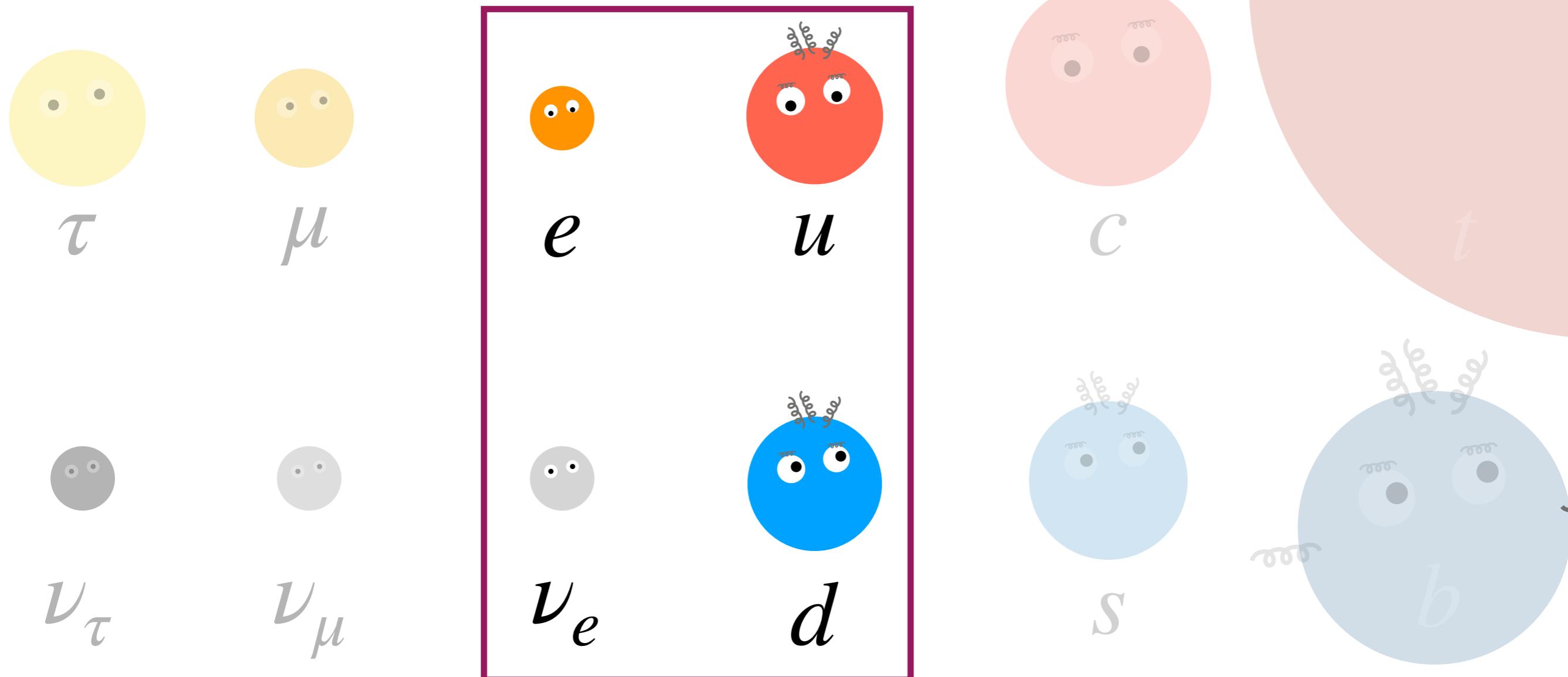


Größenskalen



Elementarteilchen

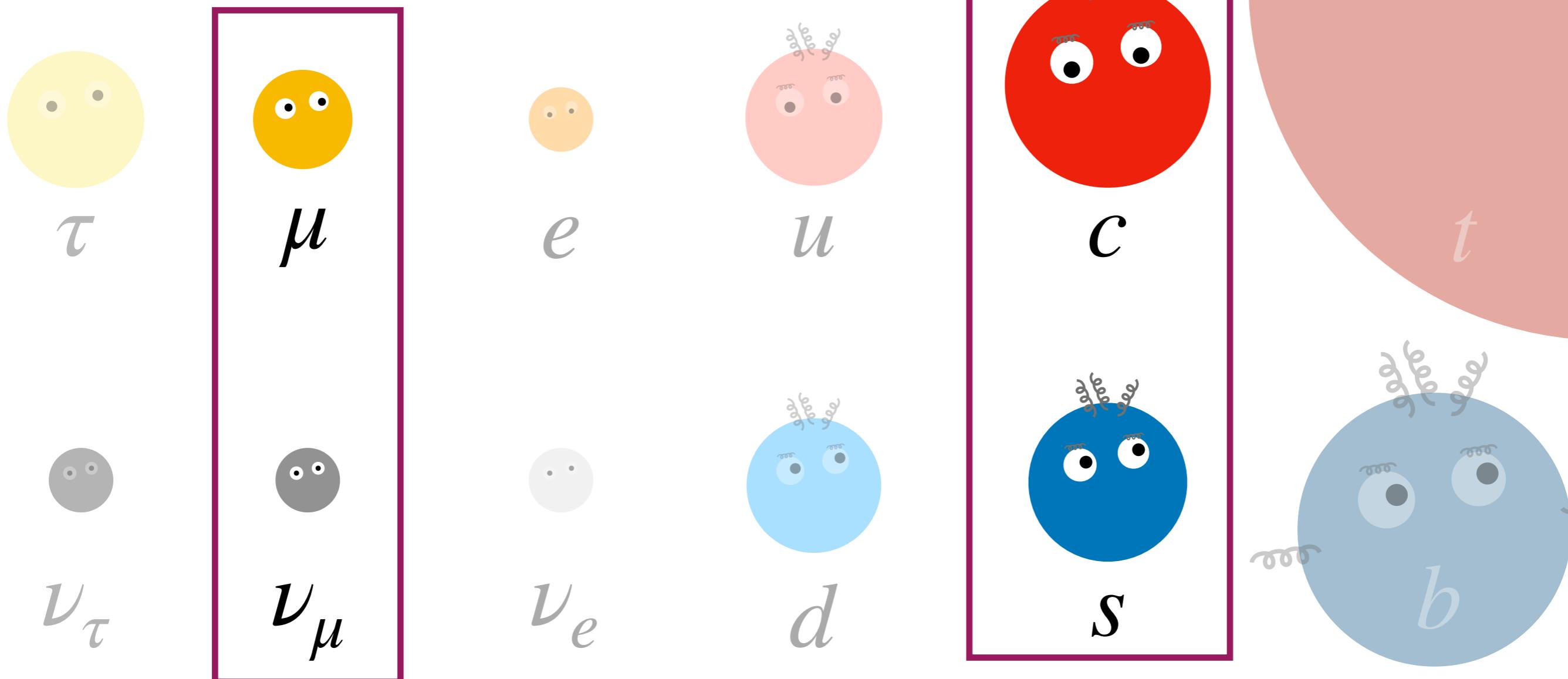
Wir beobachten 3 Generationen



1. Generation = Bausteine der Elemente

Elementarteilchen

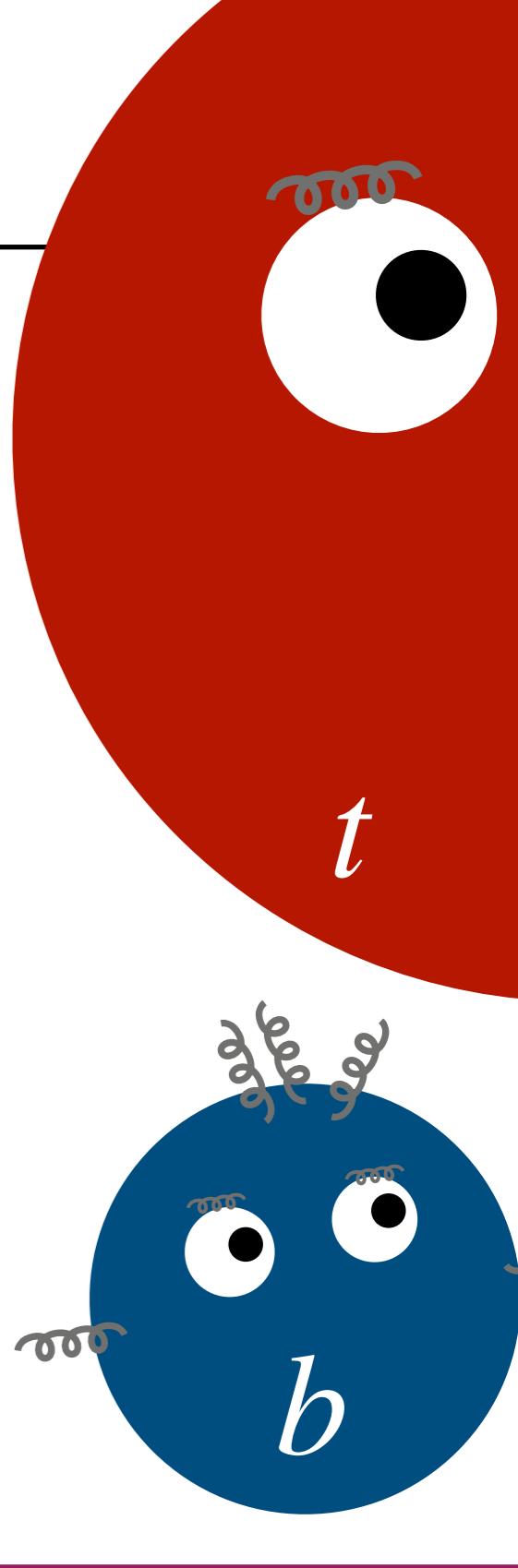
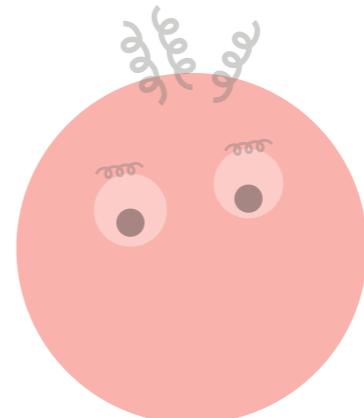
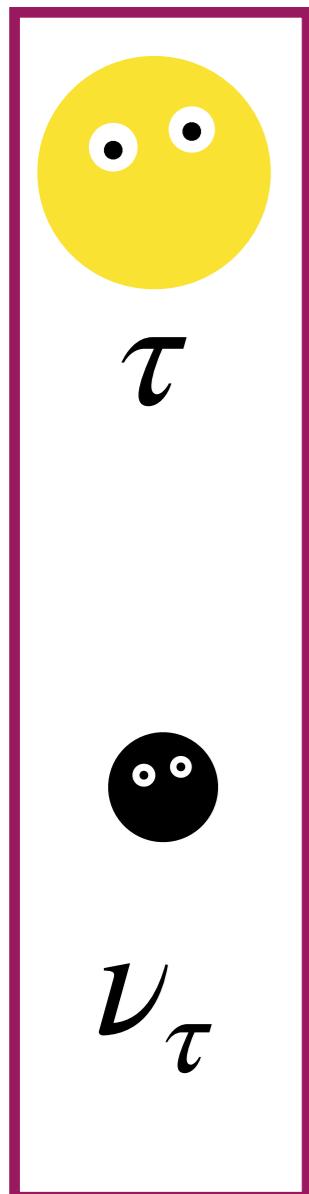
Wir beobachten 3 Generationen



2. Generation = Schwere Cousins mit kleinen Lebensdauern
(ausgeschlossen Myon-Neutrino)

Elementarteilchen

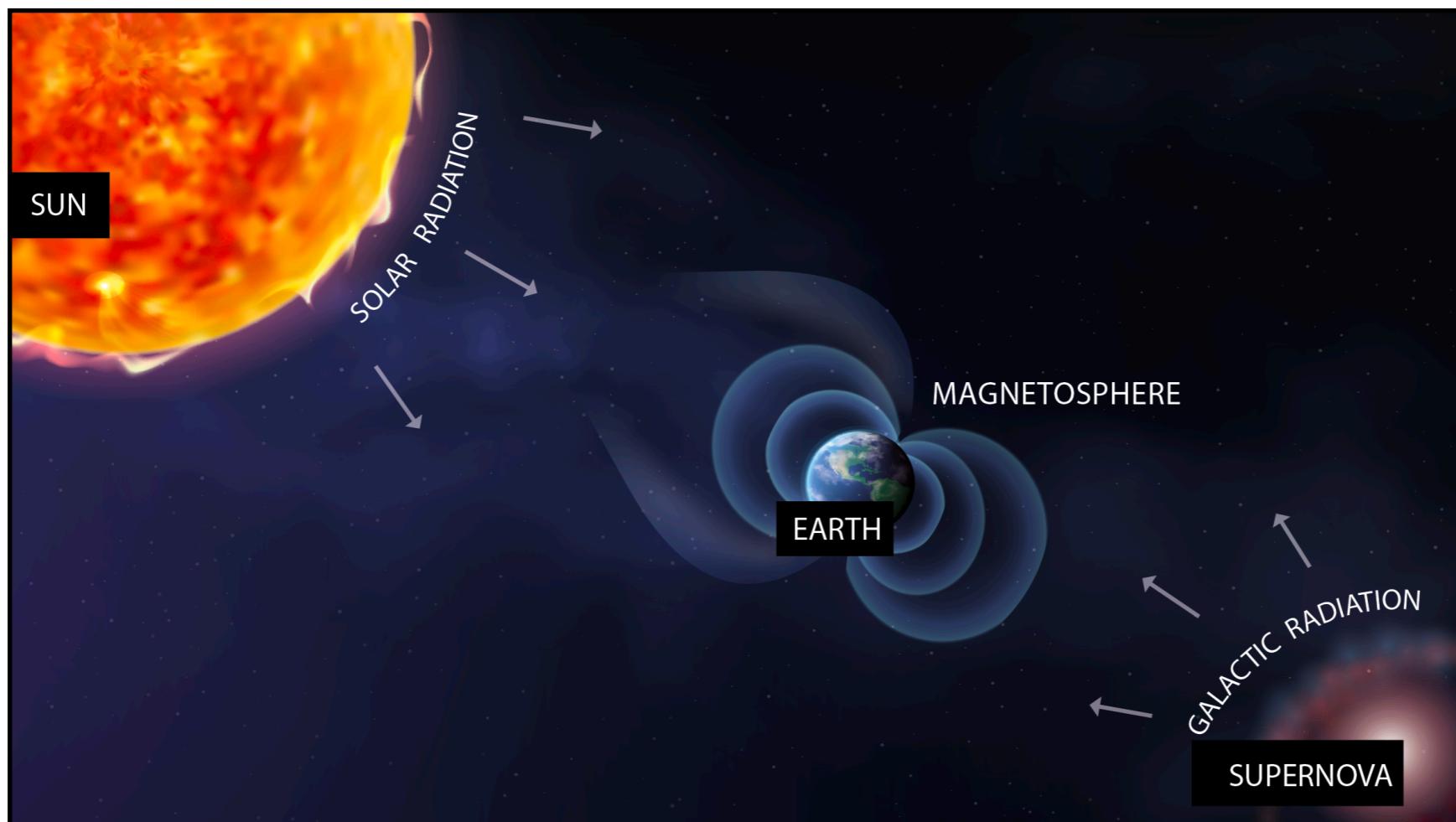
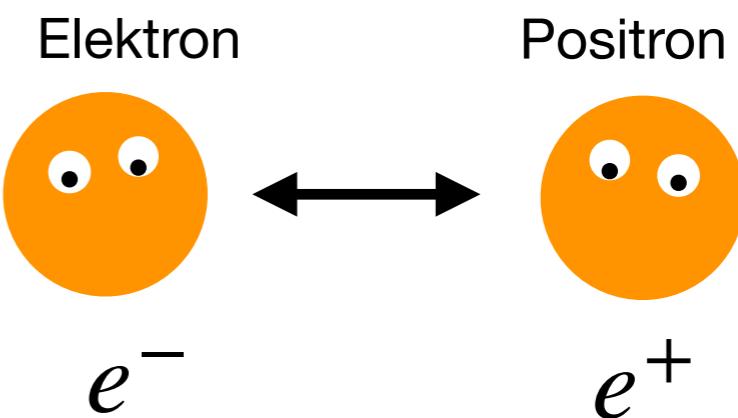
Wir beobachten 3 Generationen



3. Generation = noch schwerere Cousins mit kleinen Lebensdauern
(ausgeschlossen Tau-Neutrino)

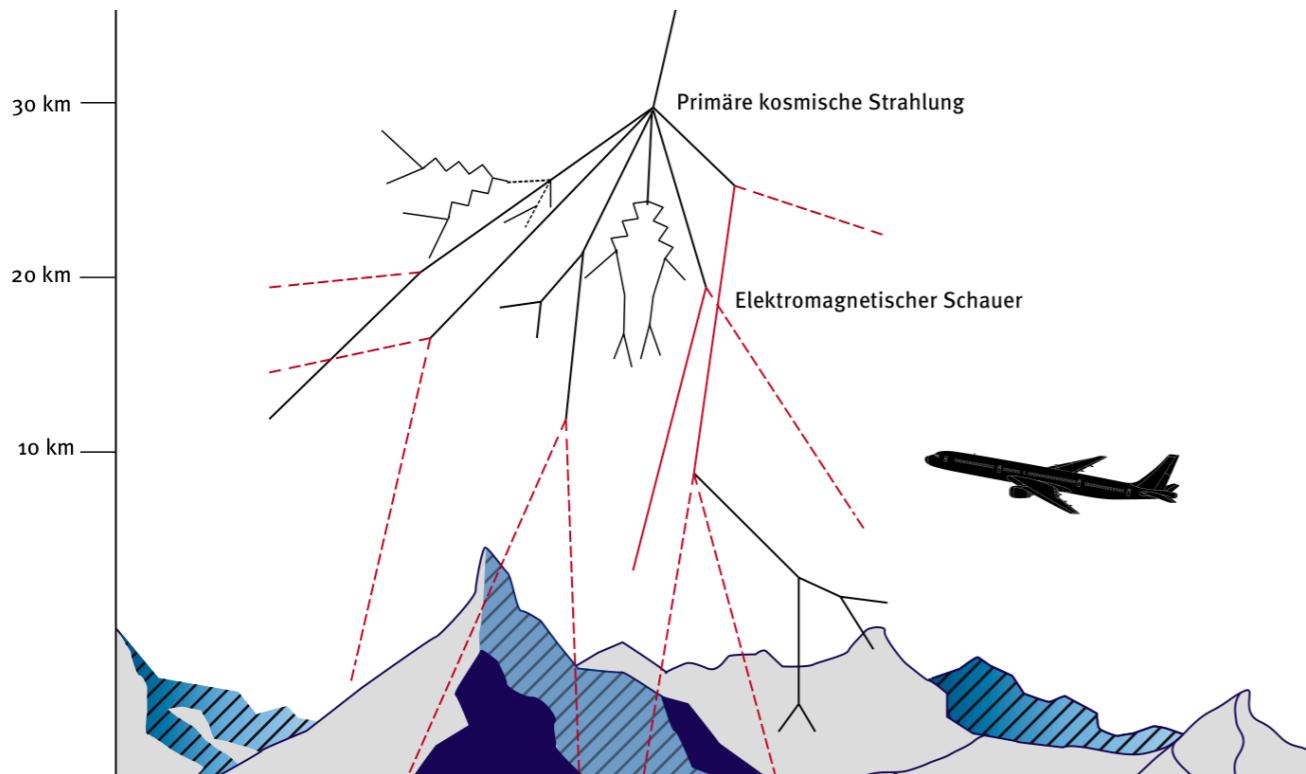
Entdeckung der Antimaterie

1932 konnte **Carl David Anderson** ein
“Elektron” mit positiver Ladung
nachgewiesen

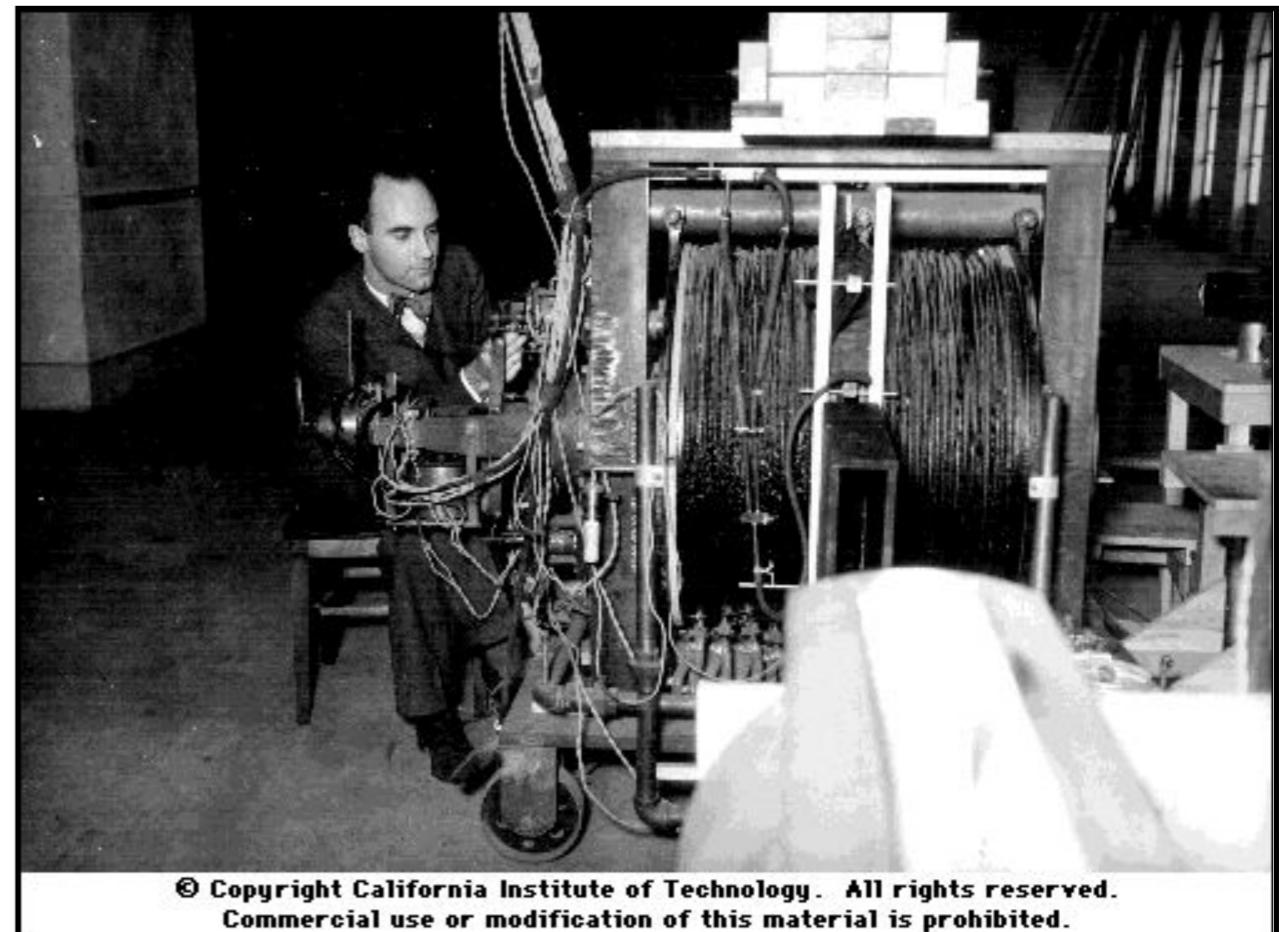


Entdeckung des Positrons

Kosmische Strahlung in Nebelkammer



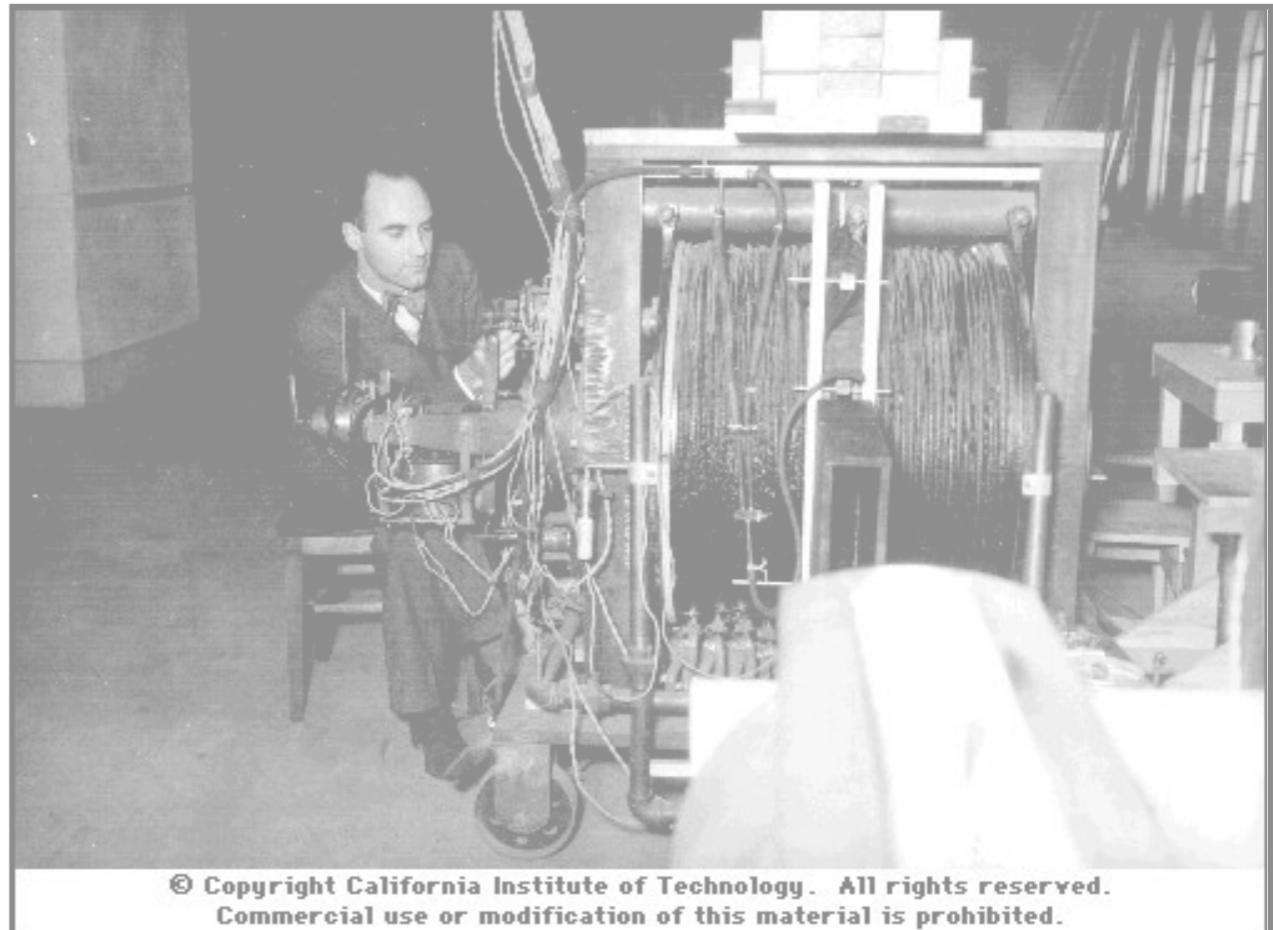
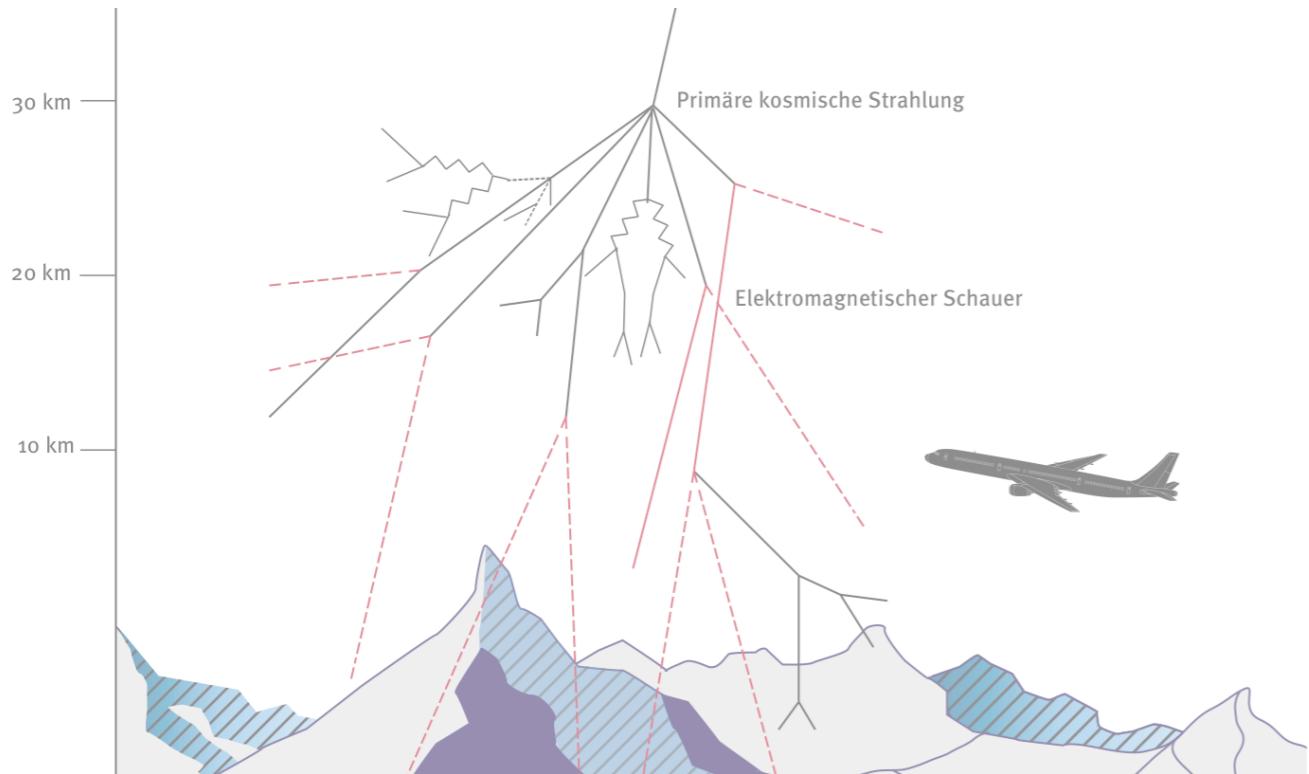
C.D. Anderson, Phys. Rev. 43 (1933) 491



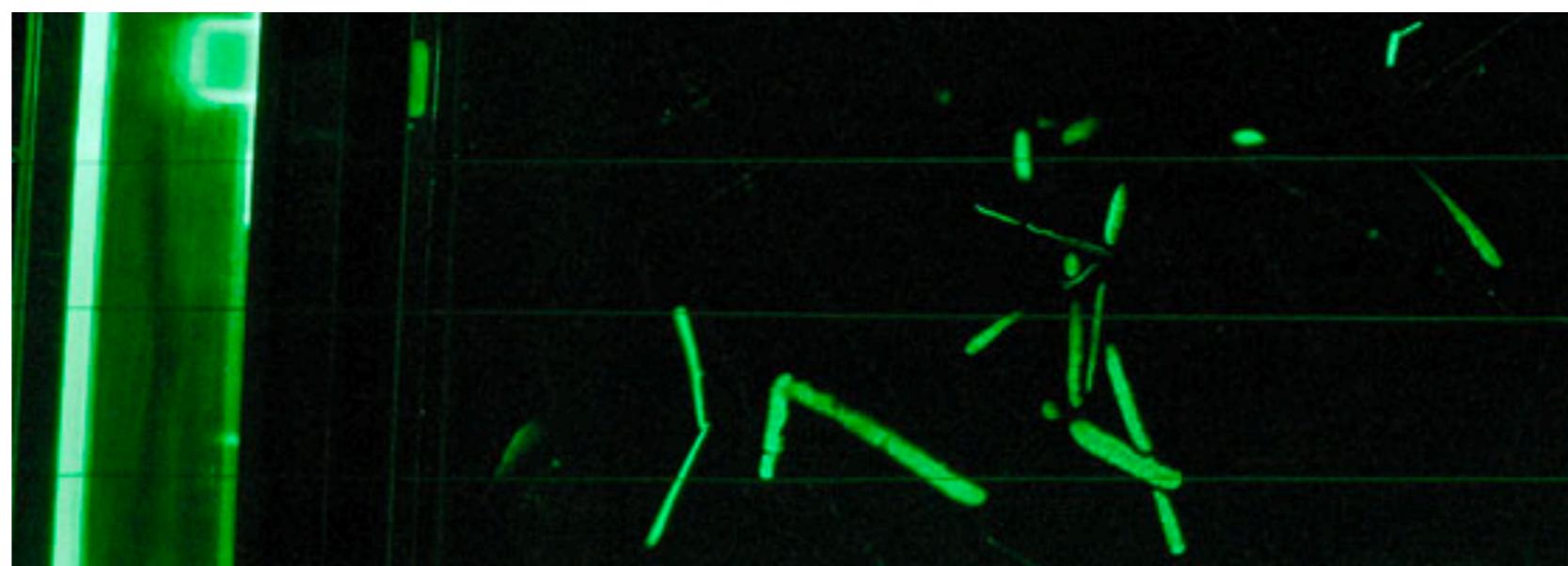
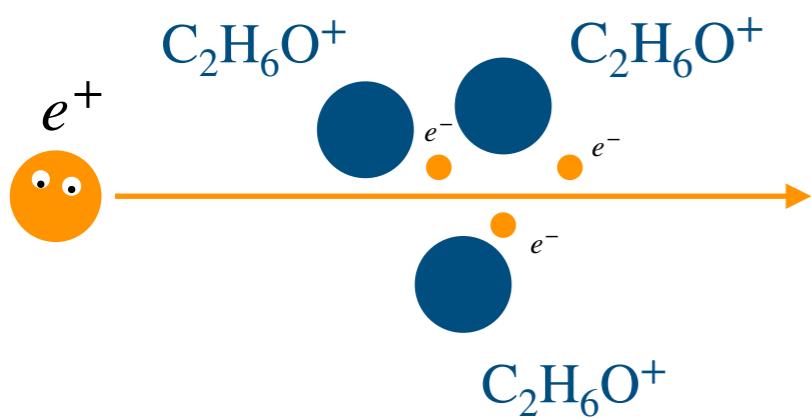
Entdeckung des Positrons

Kosmische Strahlung in Nebelkammer

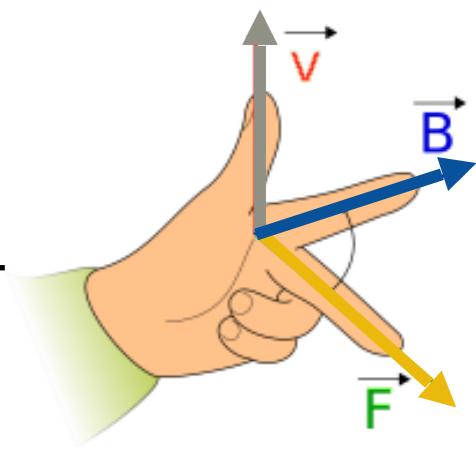
C.D. Anderson, Phys. Rev. 43 (1933) 491



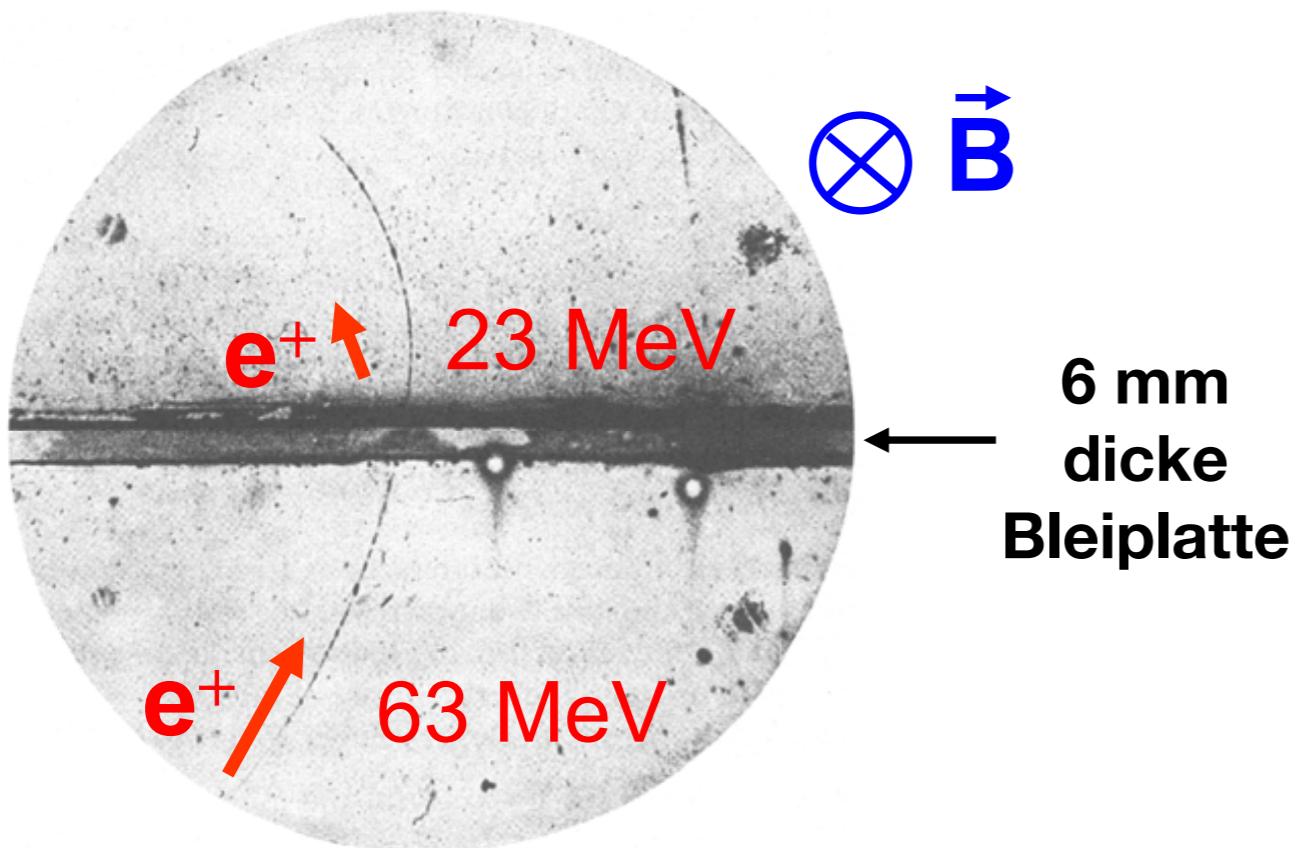
Energetisches geladenes Teilchen ionisiert Gas (z.B. Luft-Alkoholgemisch), Ionen bilden Kondensationskerne



Entdeckung des Positrons



Kosmische Strahlung in Nebelkammer



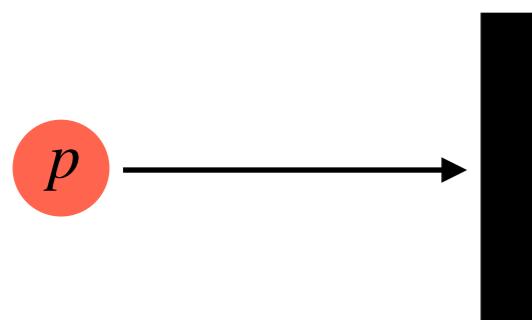
C.D. Anderson, Phys. Rev. 43 (1933) 491

Magnetfeld durchdringt Kammer nach unten, i.e.
pos. geladene Teilchen werden nach links abgelenkt

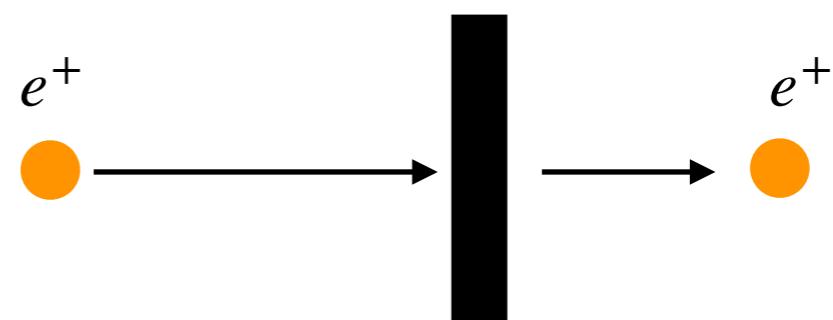
$$\text{Lorentzkraft: } \vec{F} = \vec{v} q \wedge \vec{B}$$



Positron wird in der Bleiplatte abgebremst

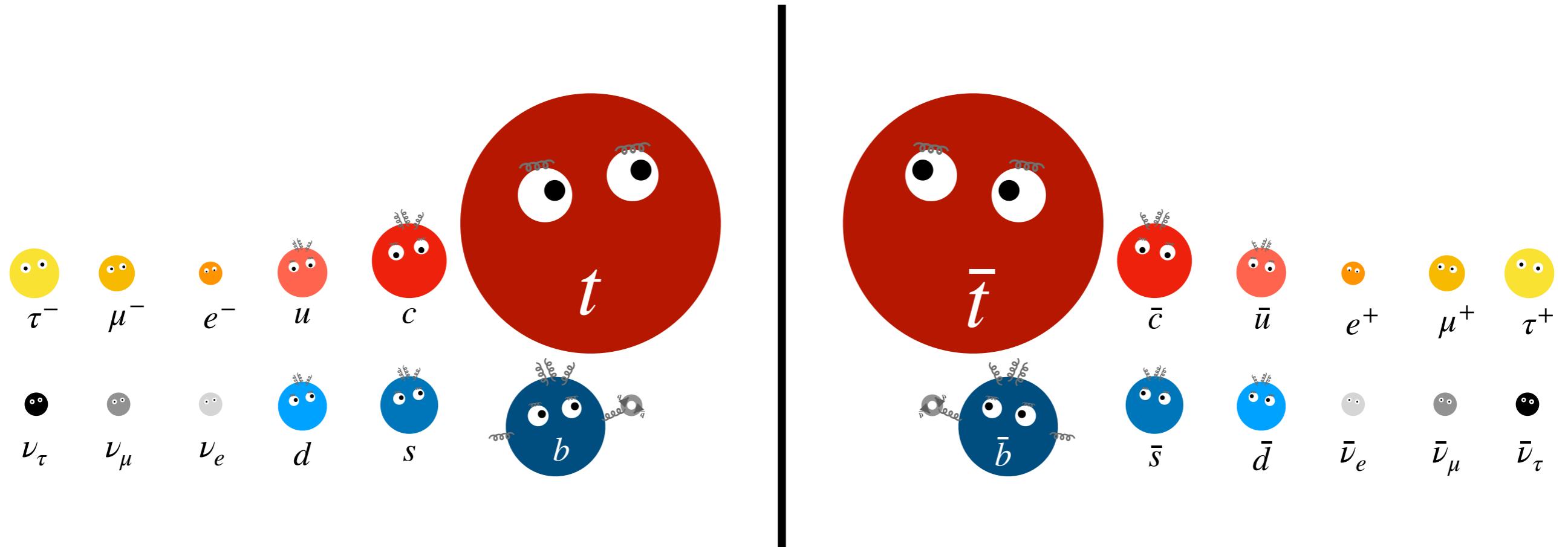


Proton wird
in der Bleiplatte
gestoppt.



Antimaterie

Zu jedem Teilchen gibt es ein Antiteilchen mit gleicher Masse, aber umgedrehter elektromagnetischer Ladung:



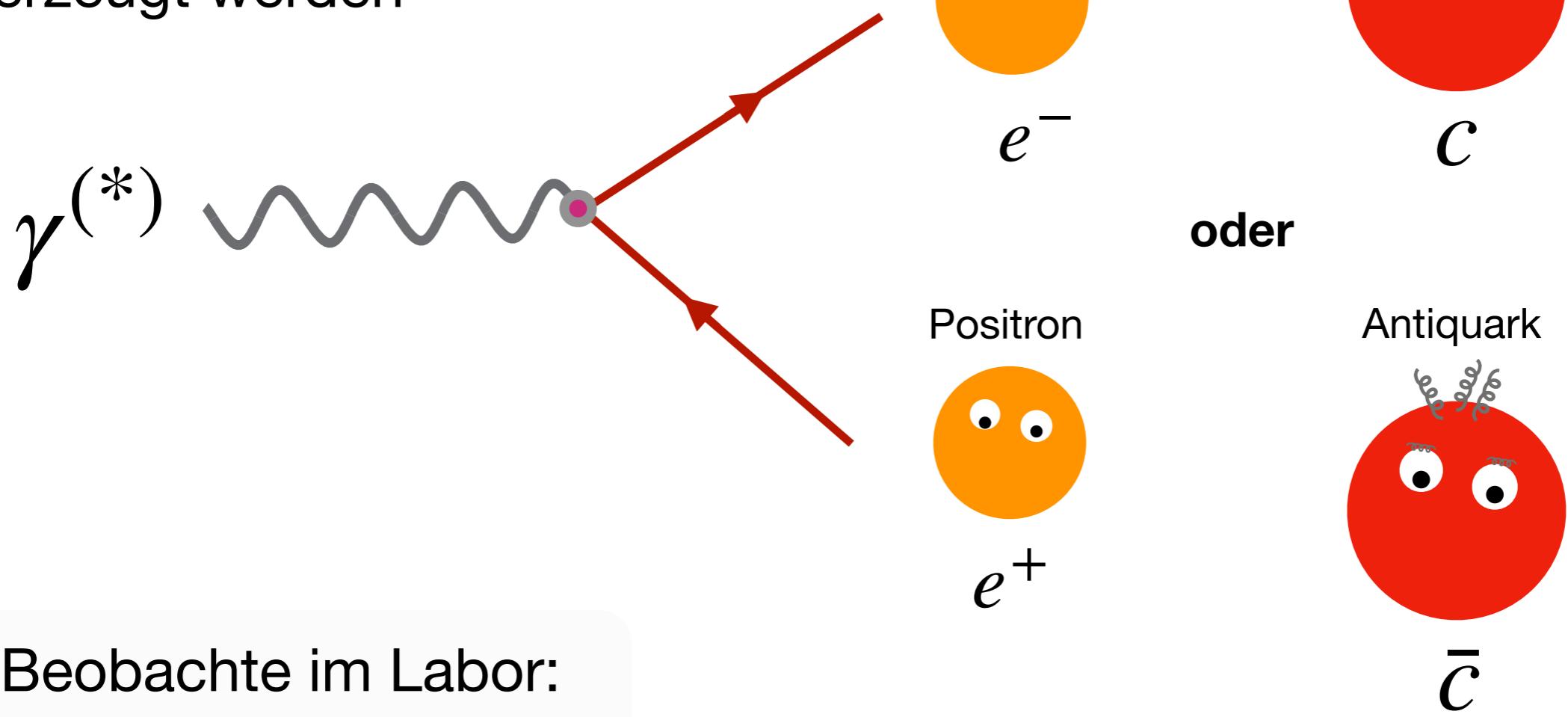
Die Symmetrie, dass sich Materie und Antimaterie gleich verhalten wird auch

C

Symmetrie genannt

Herstellung von Antimaterie im Labor

z.B. durch Photonen
können Materie-
Antimaterie-Paare
erzeugt werden



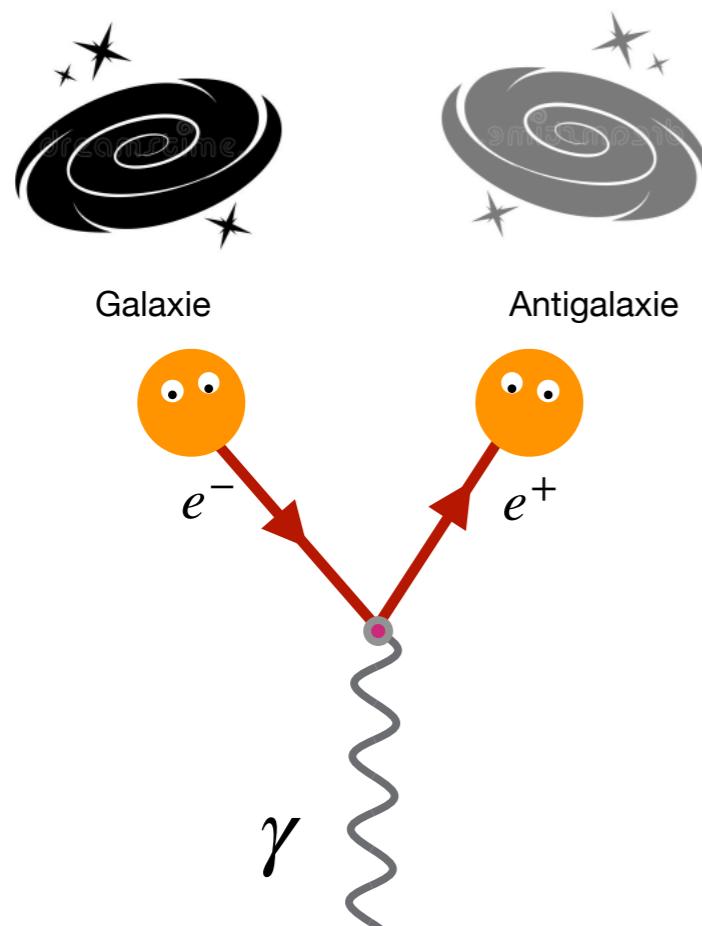
Beobachte im Labor:

$$N_{\text{Materie}} = N_{\text{Antimaterie}}$$

Ok, aber wo ist die Antimaterie?

Wenn es zu jedem Teilchen ein **Antiteilchen** gibt, **warum** ist das **Universum** dann von **Materie** dominiert?

Gibt es Galaxien aus **Antimaterie? Antiplaneten oder Antisonnen?**



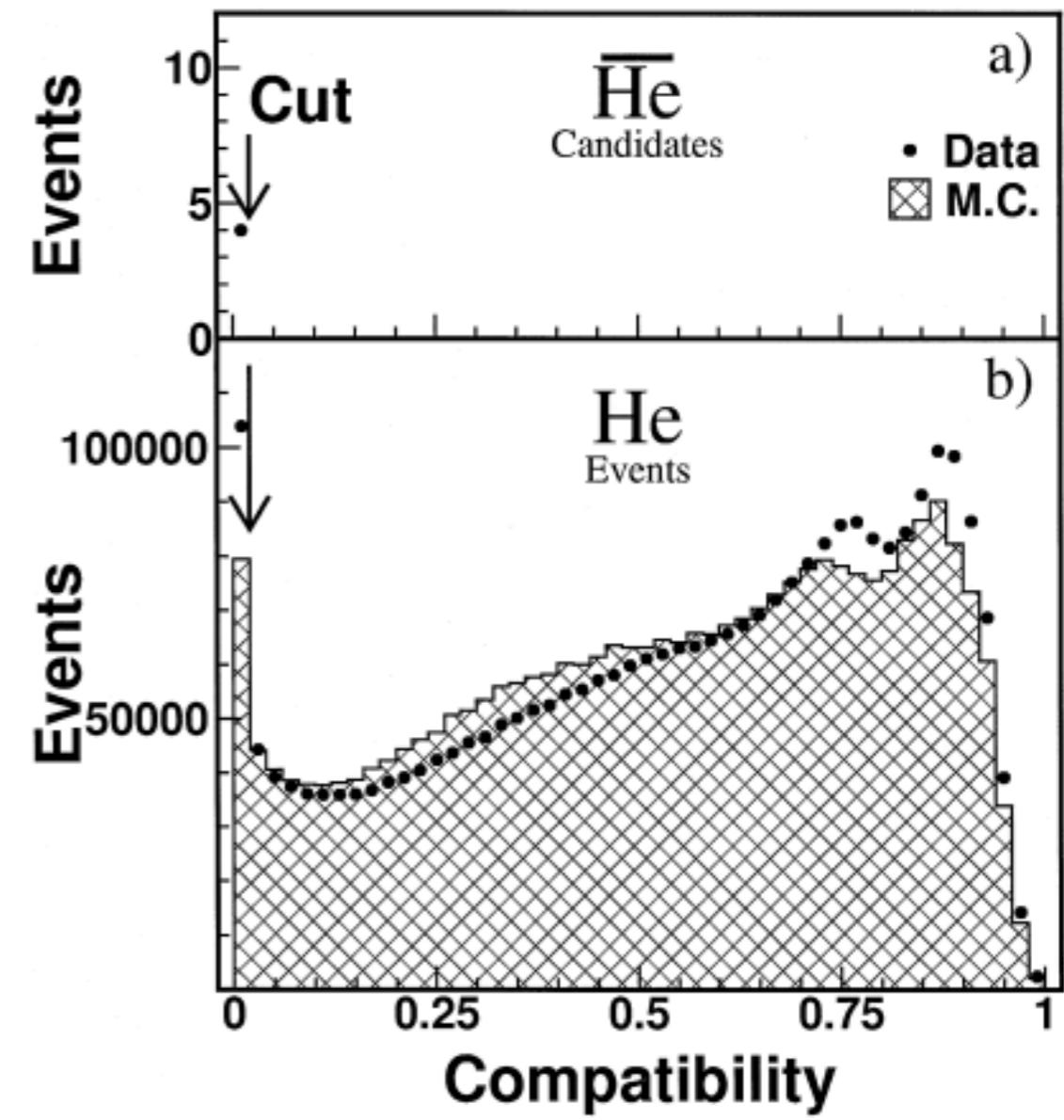
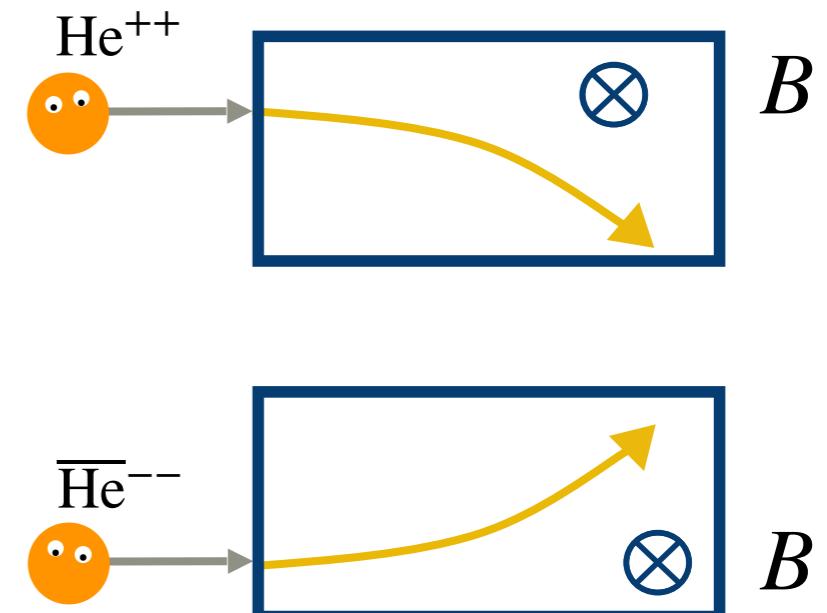
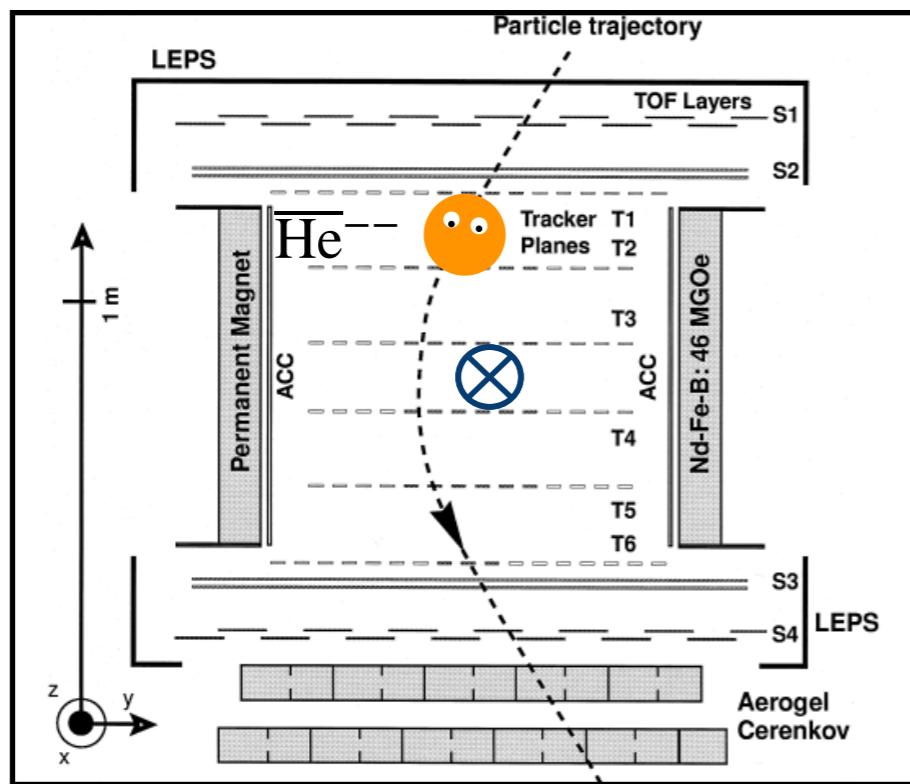
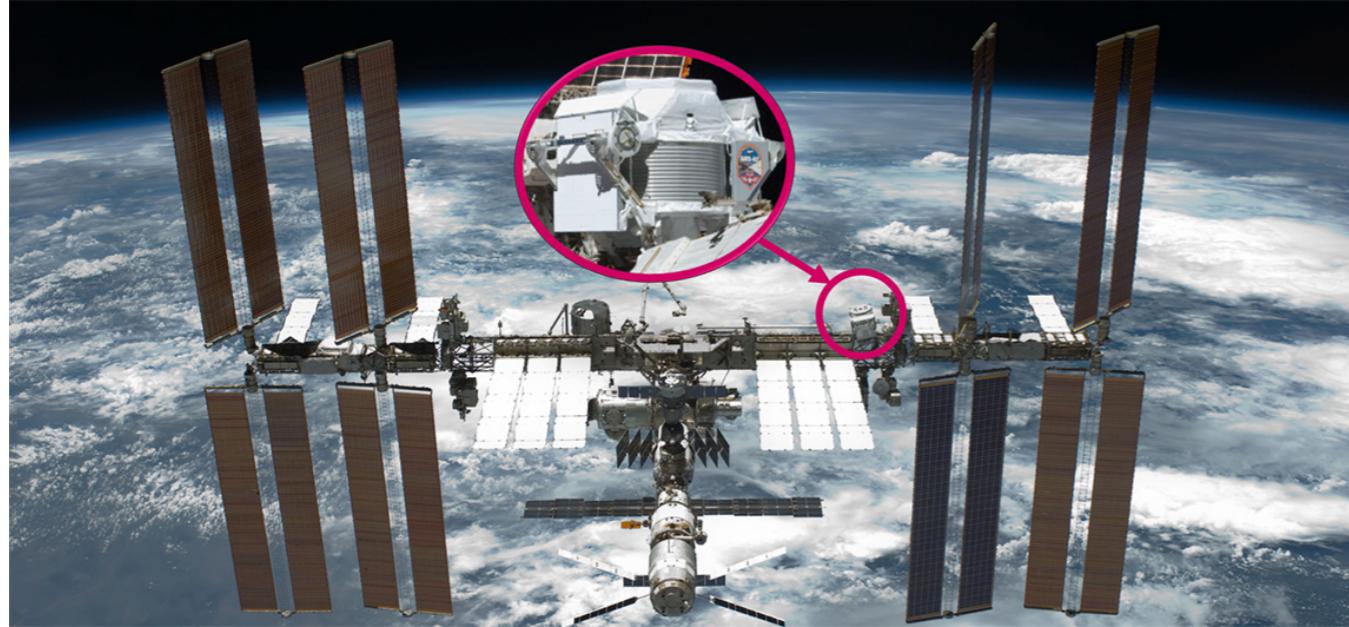
Viele viele Galaxien sind auf
Kollisionskursen zueinander

... aber wir sehen **keine Hinweise**
auf Materie-Antimaterie Reaktionen in
den Kollisionen

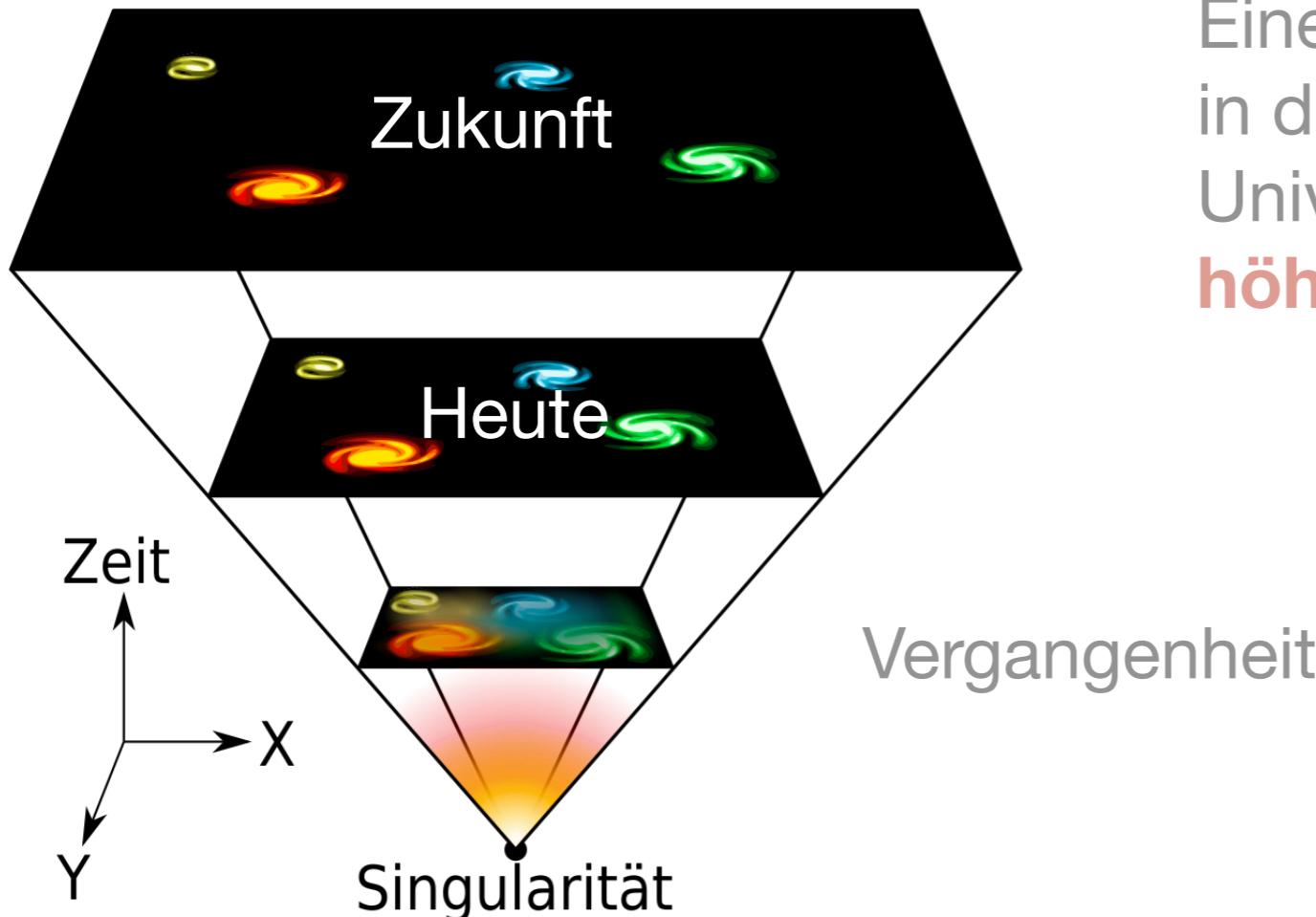


Kosmische Strahlung von Antisternen

Beste Signatur: **Antihelium Kerne**



Die Urknalltheorie

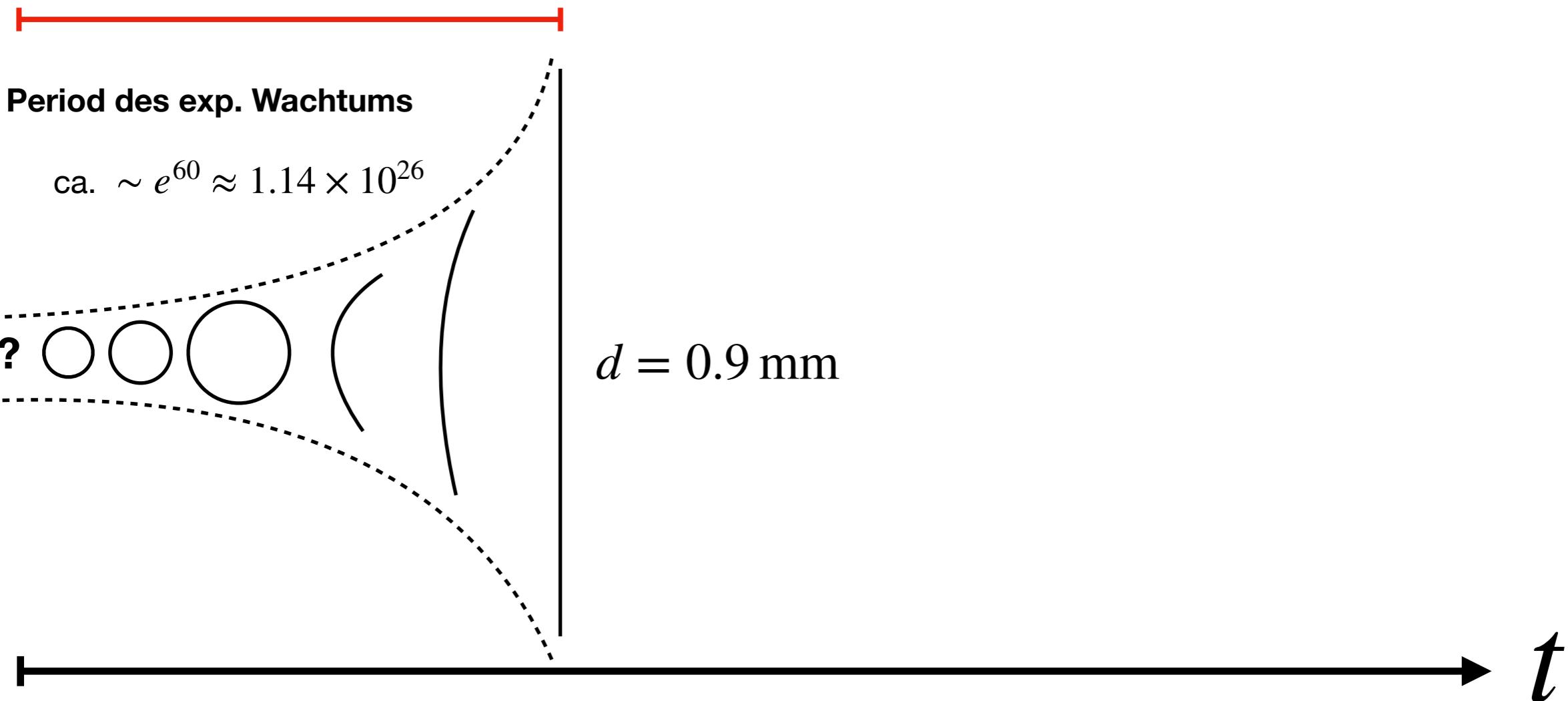


Eine Konsequenz hieraus ist, dass in der Vergangenheit, das Universum **viel kleiner** und eine **höhere Dichte besaß**.

Die wissenschaftliche Theorie dahinter, ist die sog. **Urknalltheorie**

Eine kurze Geschichte der Zeit

Rapide Expansion
(Inflation)



0 s

 10^{95} g/cm^3 10^{32} K 10^{-32} s 10^{71} g/cm^3 10^{26} K

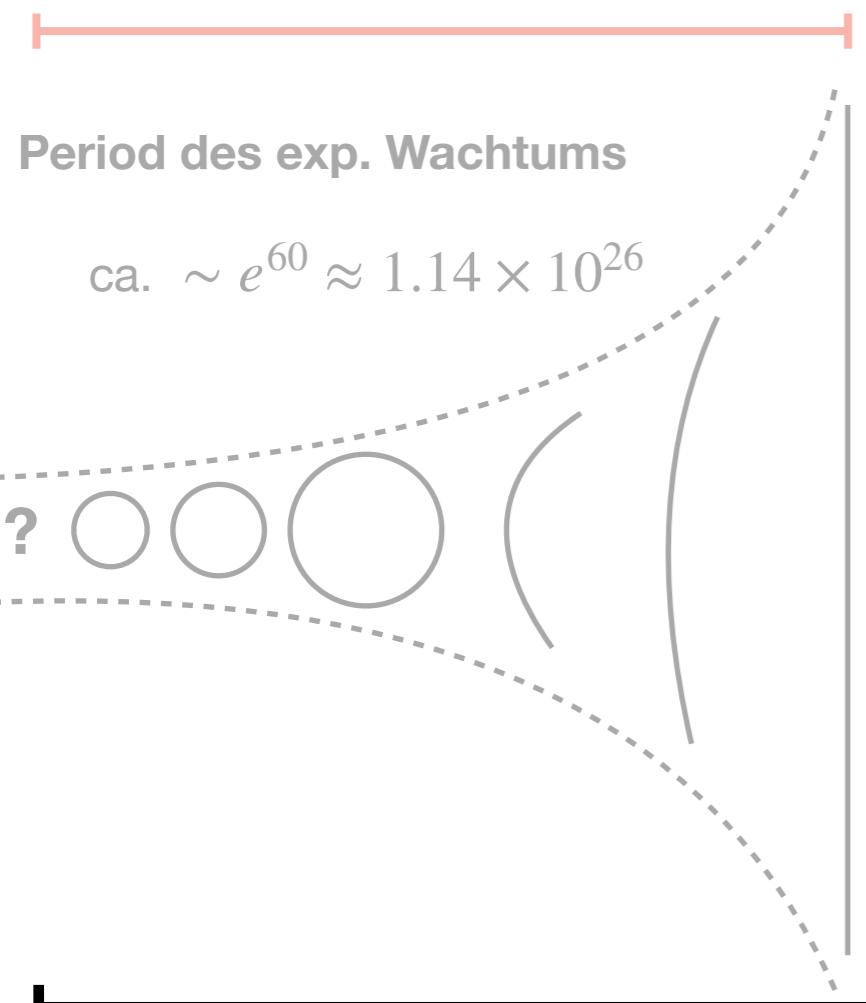
Zeit

Dichte

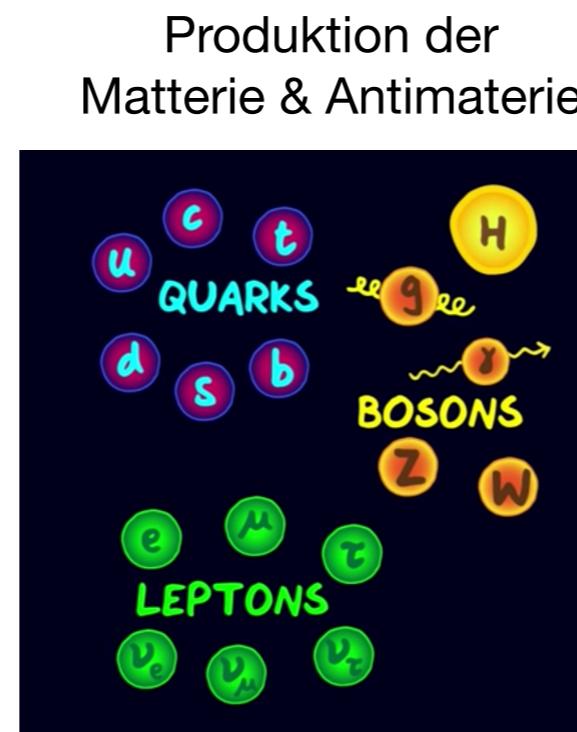
Temperatur

Eine kurze Geschichte der Zeit

Rapide Expansion
(Inflation)



Ära des heissen Big Bangs



Das Universum wächst weiter

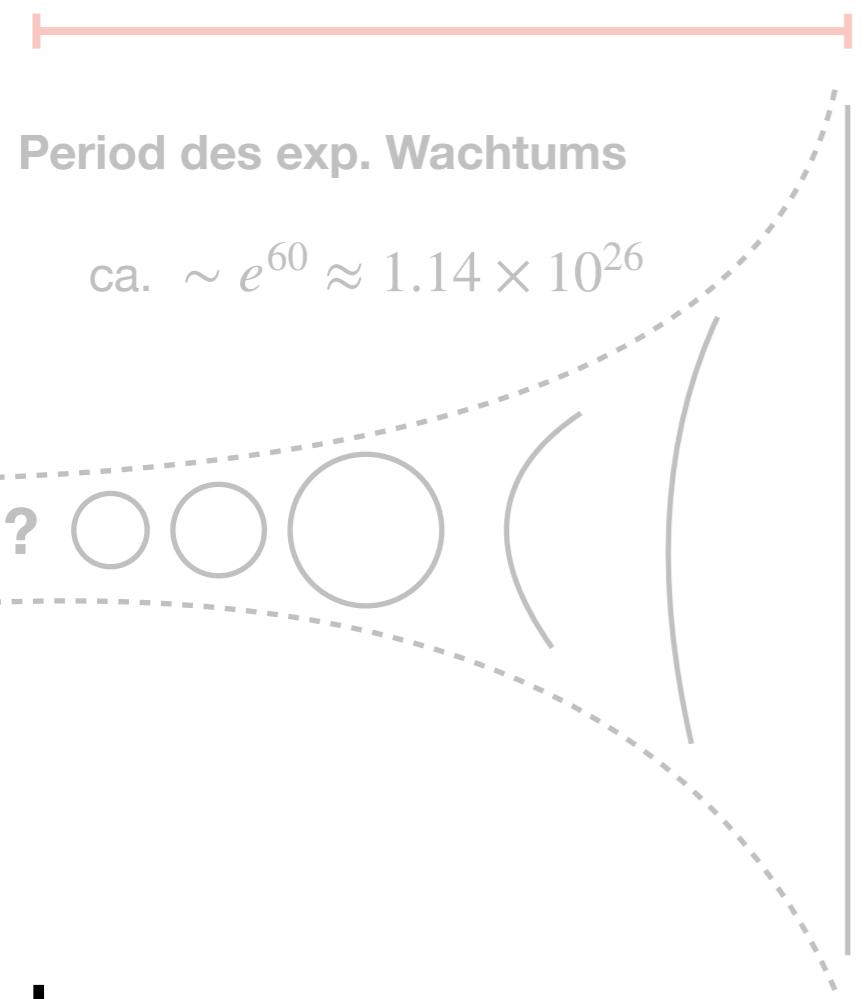
Gleichzeitig:
Das Universum kühlt sich ab

t

| | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|------------|
| 0 s | 10^{-32} s | 10^{-6} s | Zeit |
| 10^{95} g/cm^3 | 10^{71} g/cm^3 | 1 g/cm^3 | Dichte |
| 10^{32} K | 10^{26} K | 10^9 K | Temperatur |

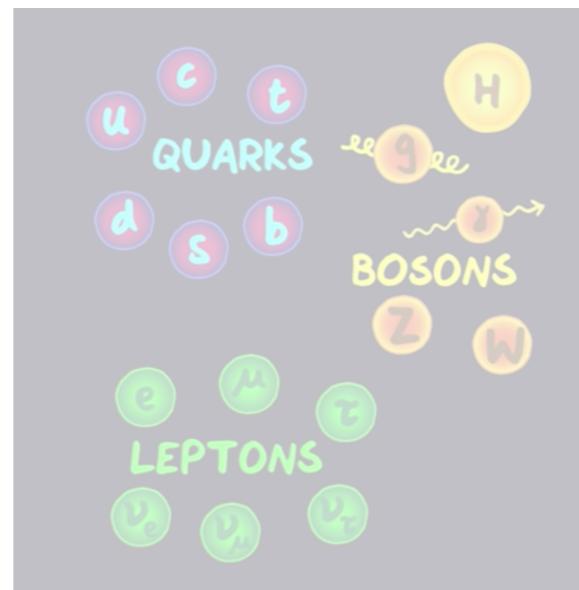
Eine kurze Geschichte der Zeit

Rapide Expansion
(Inflation)



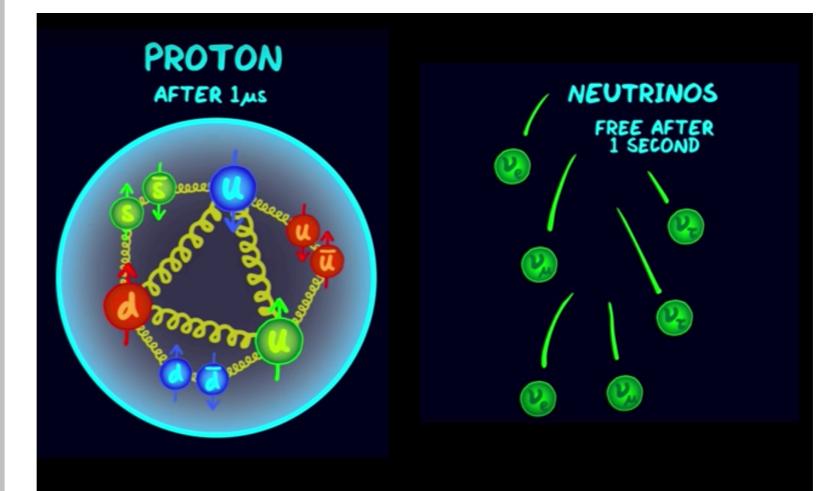
Ära des heissen Big Bangs

Produktion der
Matterie & Antimatterie



Ära der Protonen
& Neutronen

Protonen bilden sich
Neutrinos entkoppeln sich



→ t

0 s

10^{-32} s

10^{-6} s

380'000 a

10^{95} g/cm³

10^{71} g/cm³

1 g/cm³

10^{-21} g/cm³

10^{32} K

10^{26} K

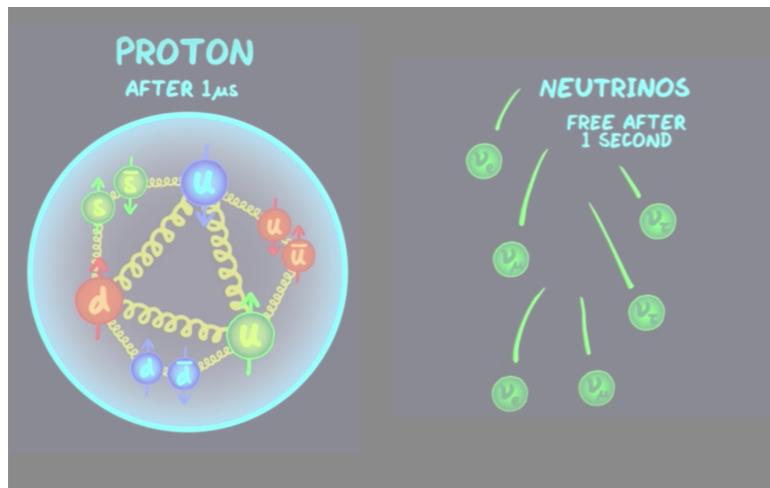
10^9 K

3000 K

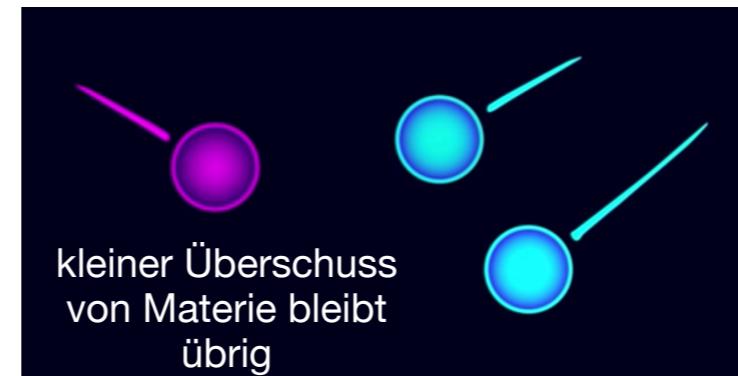
Eine kurze Geschichte der Zeit

Ära der Protonen & Neutronen

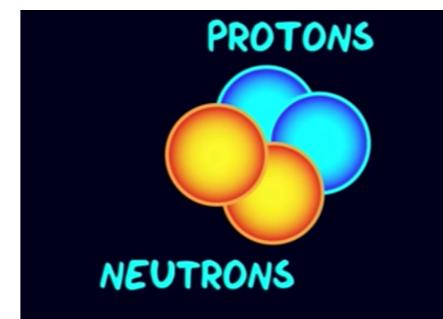
Protonen bilden sich
Neutrinos entkoppeln sich



Annihilation der Materie mit Anti-Materie



Heliumkerne bildet sich



10^9 versus $10^9 + 1$

10^{-6} s

1 g/cm³

10^9 K

380'000 a

10^{-21} g/cm³

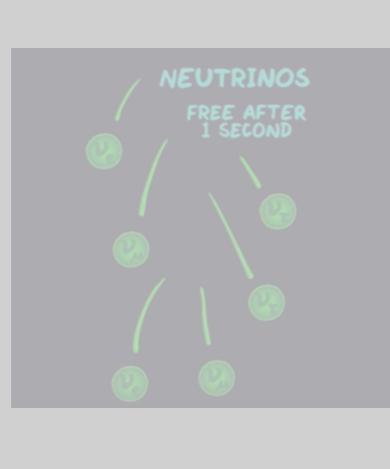
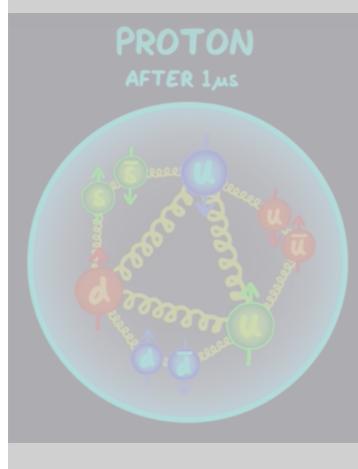
3000 K

t

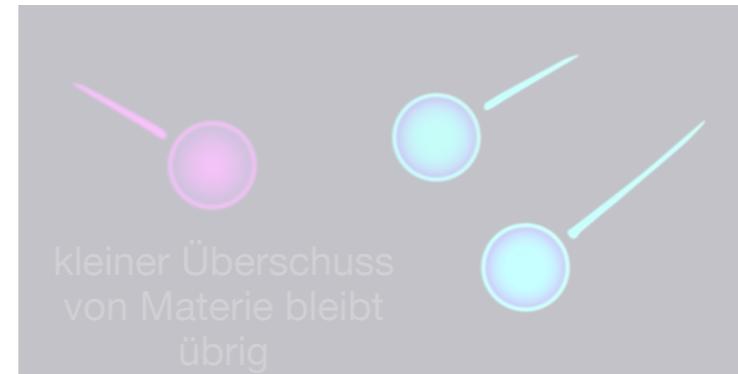
Eine kurze Geschichte der Zeit

Ära der Protonen
& Neutronen

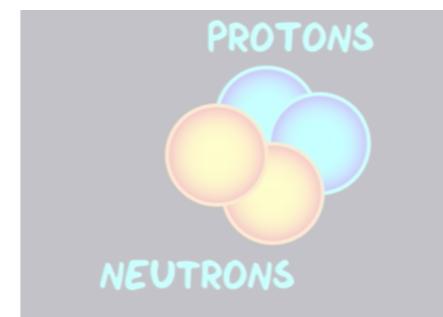
Protonen bilden sich
Neutrinos entkoppeln sich



Annihilation der Materie mit Anti-Materie

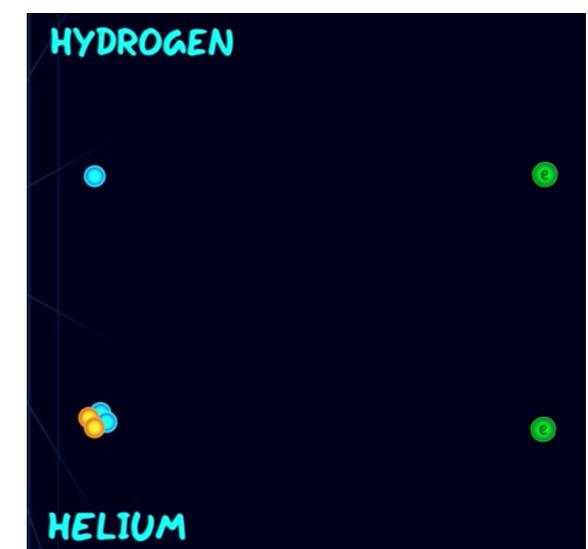


Helium bildet sich



Ära der Rekombination

Wasserstoff und Helium Atome bilden sich



10^{-6}s

1 g/cm^3

10^9 K

380'000 a

10^{-21} g/cm^3

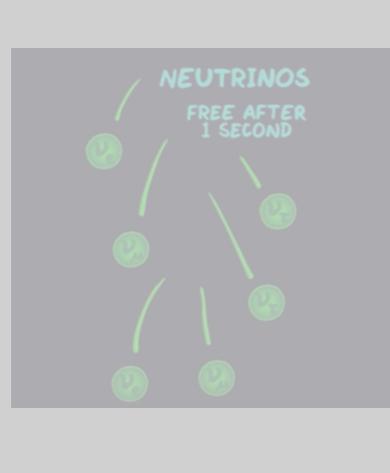
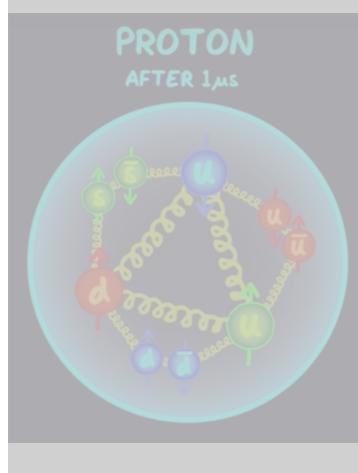
3000 K

t

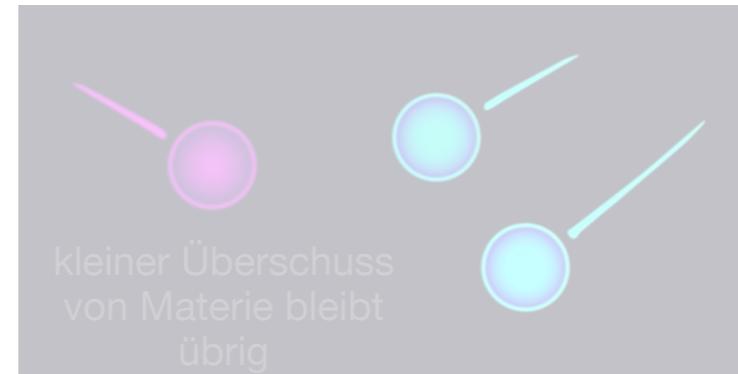
Eine kurze Geschichte der Zeit

Ära der Protonen & Neutronen

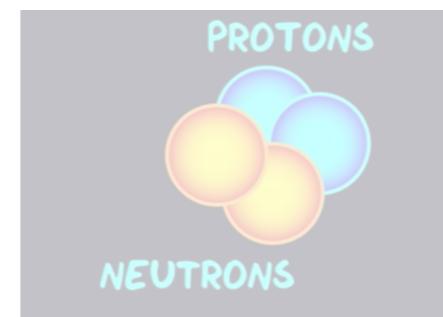
Protonen bilden sich
Neutrinos entkoppeln sich



Annihilation der Materie mit Anti-Materie

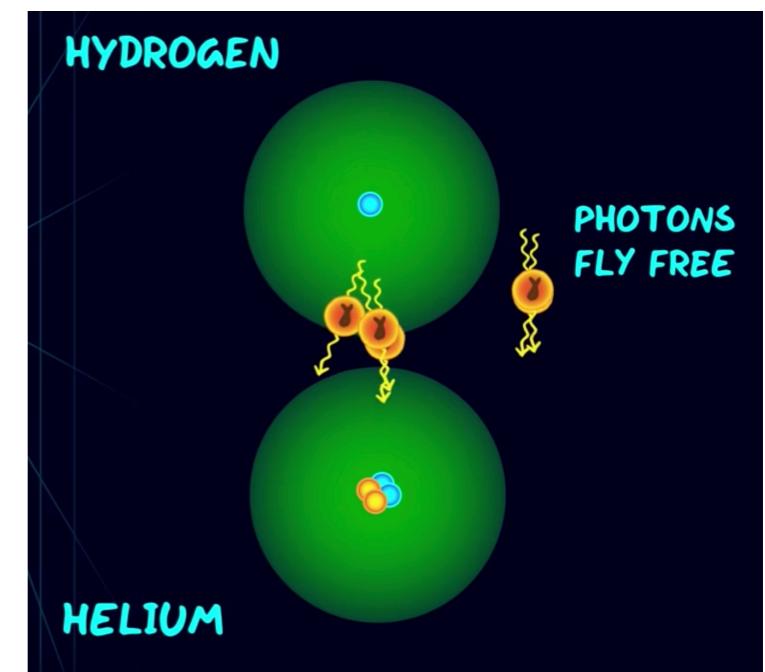


Helium bildet sich



Ära der Rekombination

Das Universum wird transparent



10^{-6} s

1 g/cm³

10^9 K

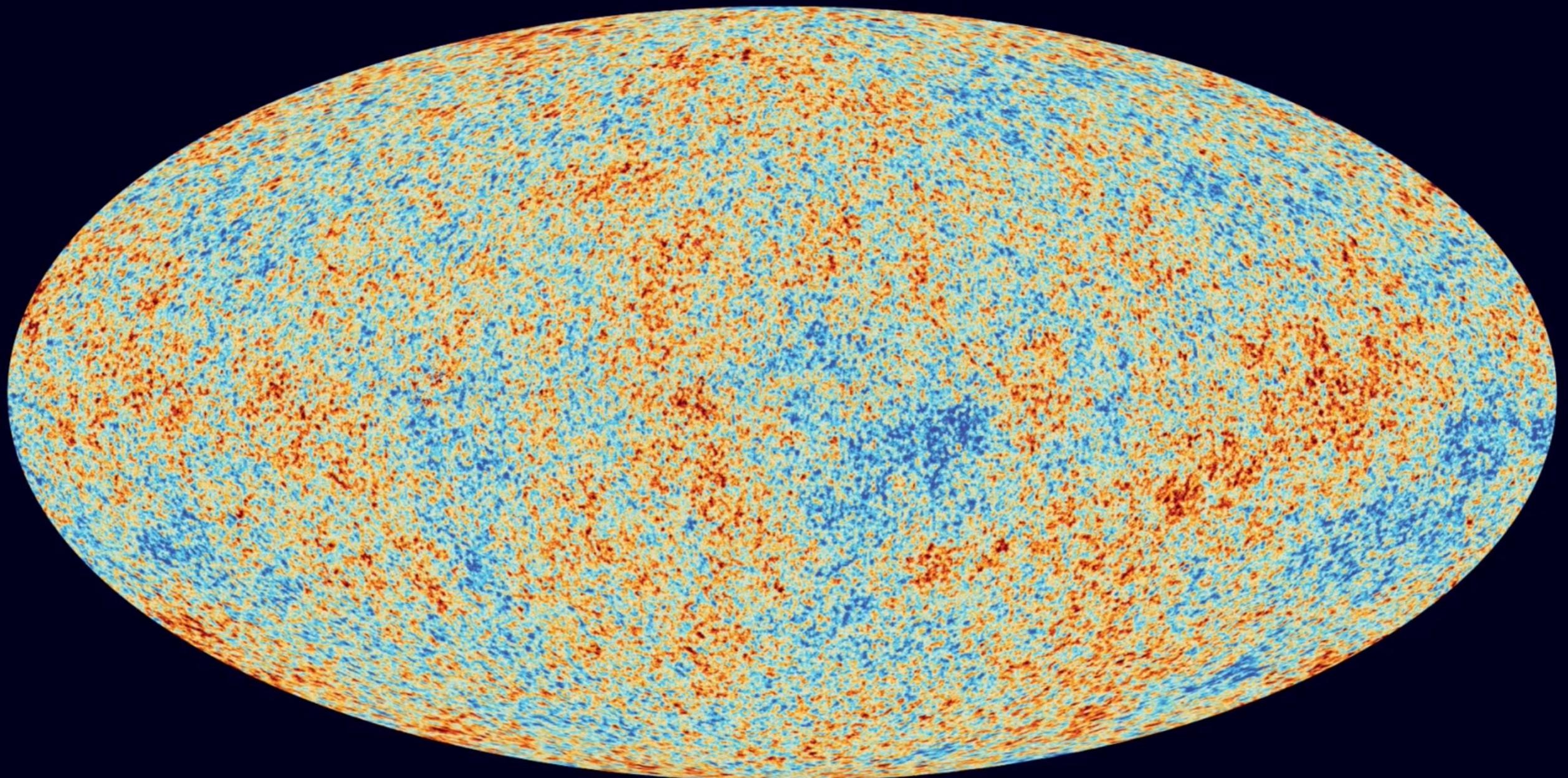
380'000 a

10^{-21} g/cm³

3000 K

t

Kosmische Hintergrundstrahlung



$T = 2.7 \text{ K}$

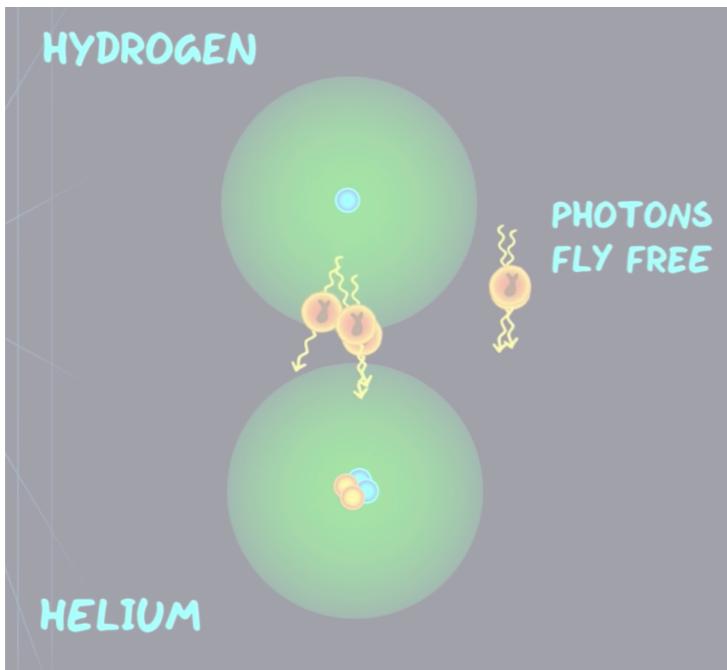
Temperaturschwankungen $\mathcal{O}(10^{-4} \text{ K})$

Eine kurze Geschichte der Zeit

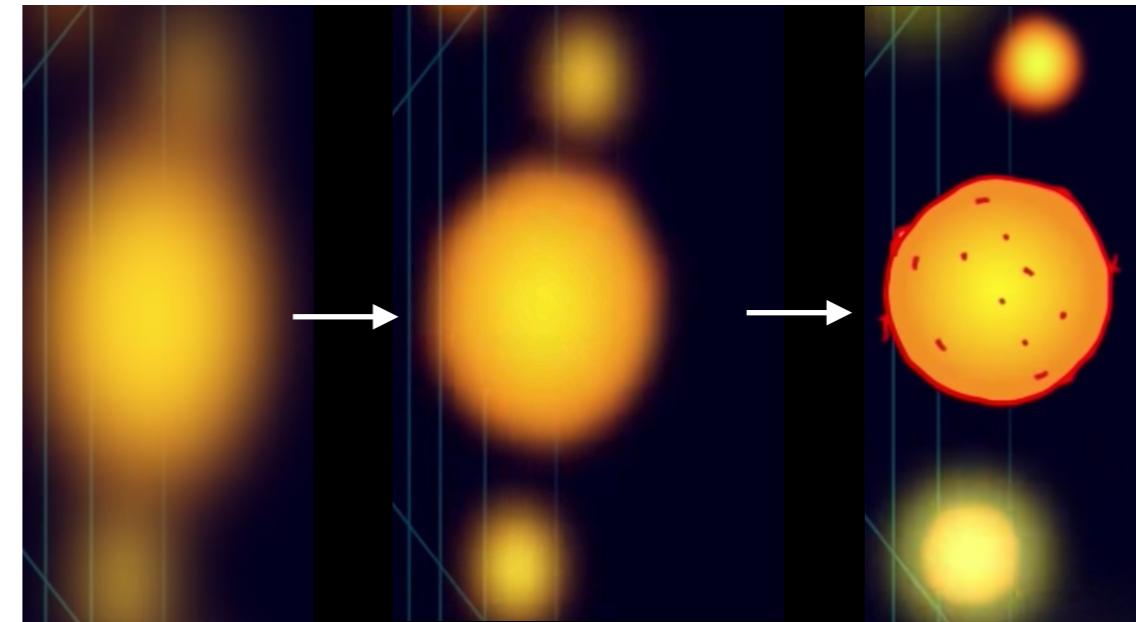
Ära der Rekombination

Ära der ersten Sterne und Galaxien

Das Universum wird transparent



Erste Fusionsprozesse starten durch Gravitationsdruck



380'000 a

10^{-21} g/cm^3

3000 K

200x 10^6 a

10^{-26} g/cm^3

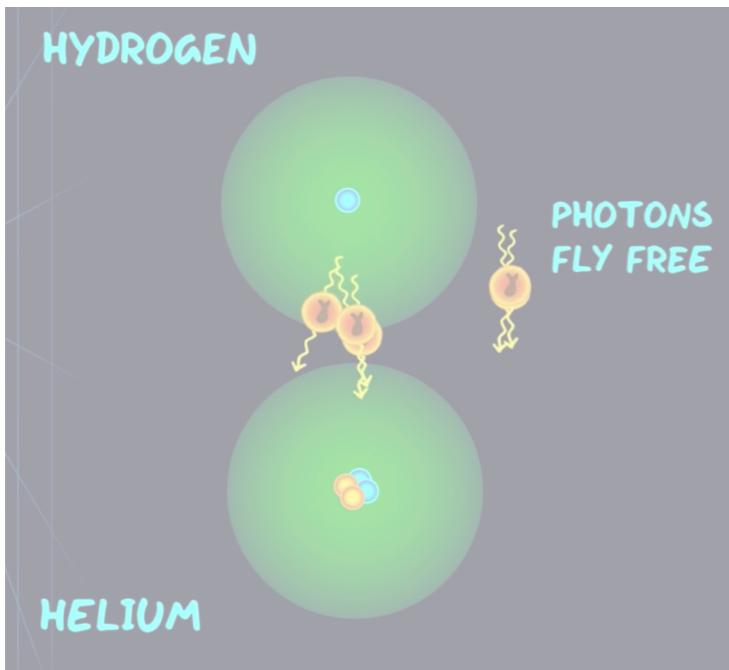
50 K

t

Eine kurze Geschichte der Zeit

Ära der Rekombination

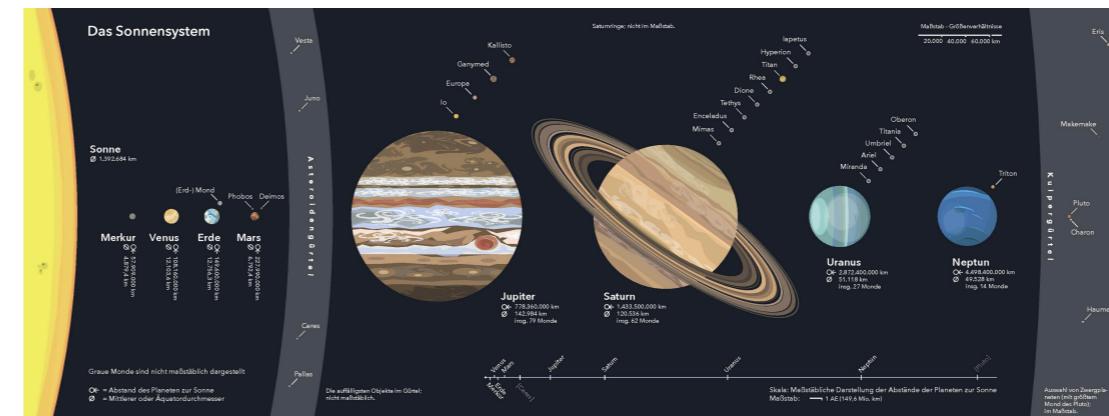
Das Universum wird transparent



Ära der ersten Sterne und Galaxien

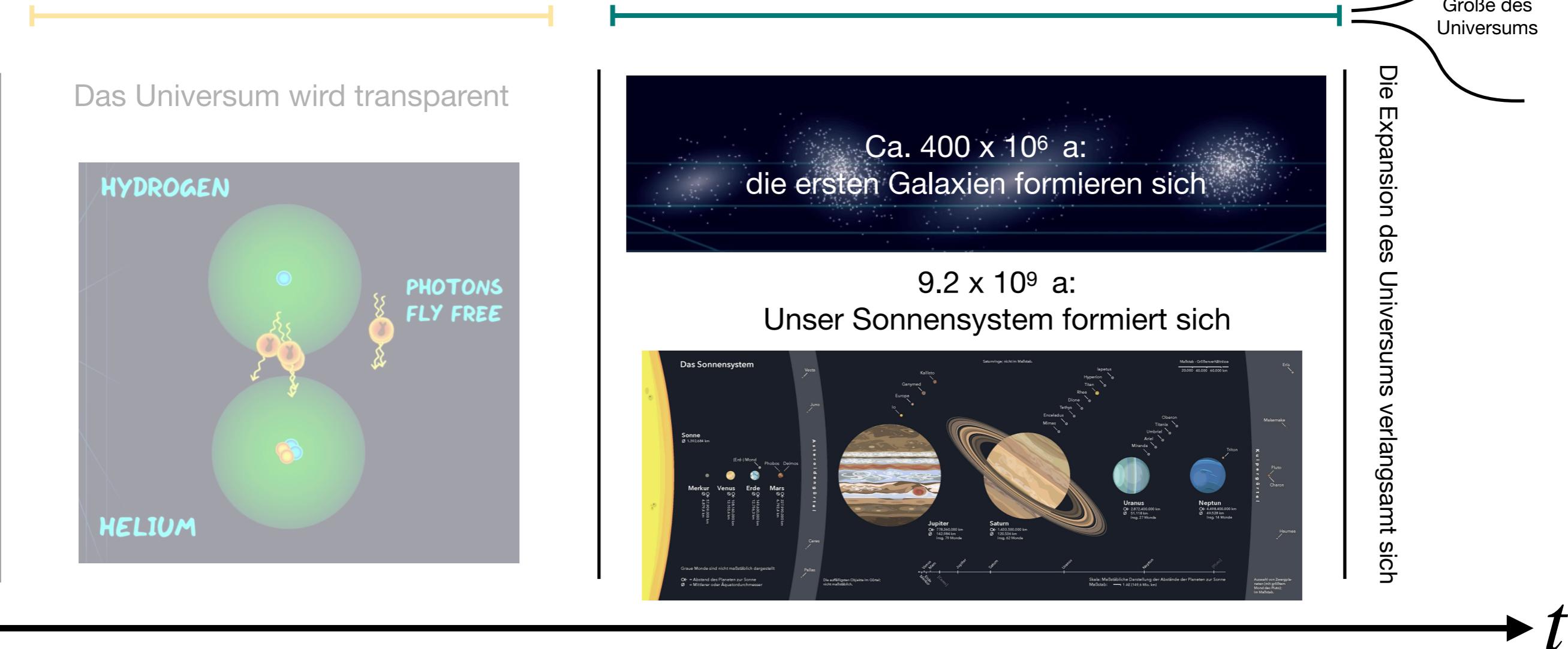
Ca. 400×10^6 a:
die ersten Galaxien formieren sich

9.2×10^9 a:
Unser Sonnensystem formiert sich



Die Expansion des Universums verlangsamt sich

Größe des Universums



380'000 a

10^{-21} g/cm^3

3000 K

200×10^6 a

10^{-25} g/cm^3

50 K

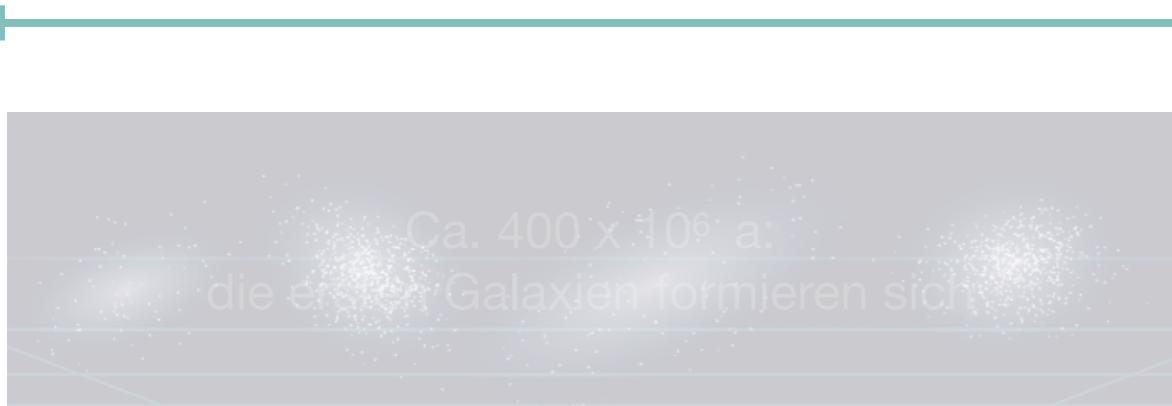
9.2×10^9 a

10^{-26} g/cm^3

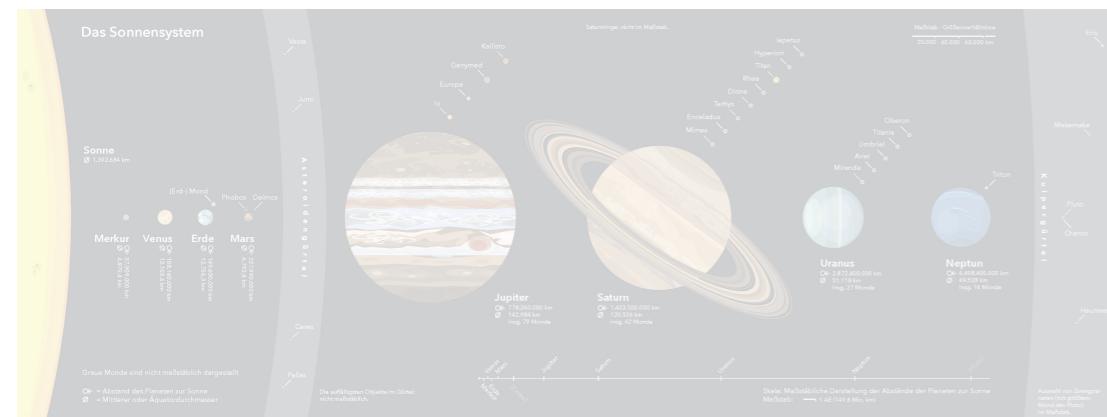
3.8 K

Eine kurze Geschichte der Zeit

Ära der ersten Sterne und Galaxien



9.2×10^9 a:
Unser Sonnensystem formiert sich



Ära der dunklen Energie

Beschleunigte Expansion des Universums

$$\rho_{DE} = 10^{-30} \text{ g/cm}^3$$



Heute

t

200×10^6 a

10^{-25} g/cm³

50 K

9.2×10^9 a

10^{-26} g/cm³

3.8 K

13.8×10^9 a

10^{-30} g/cm³

2.7 K