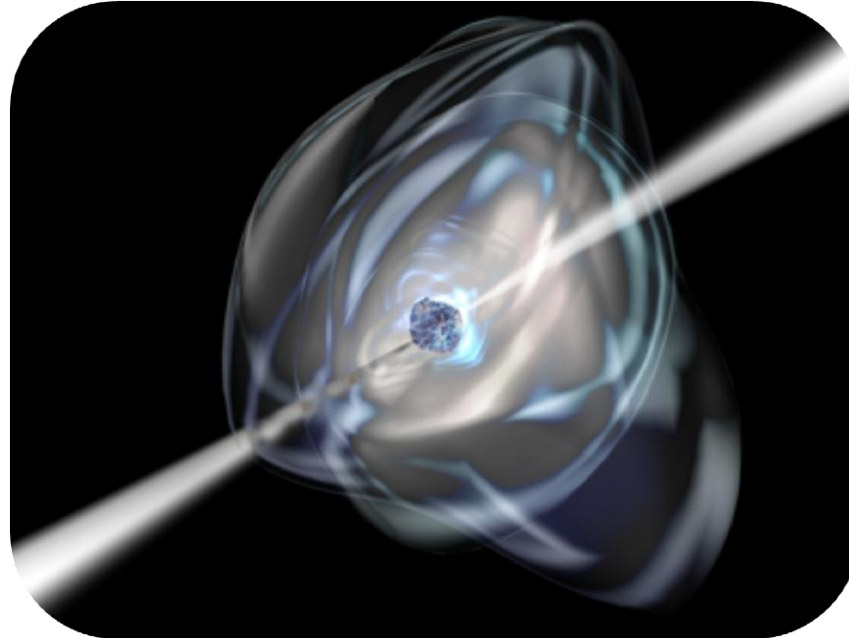




Guido Drexlin, Institut für Experimentelle Kernphysik

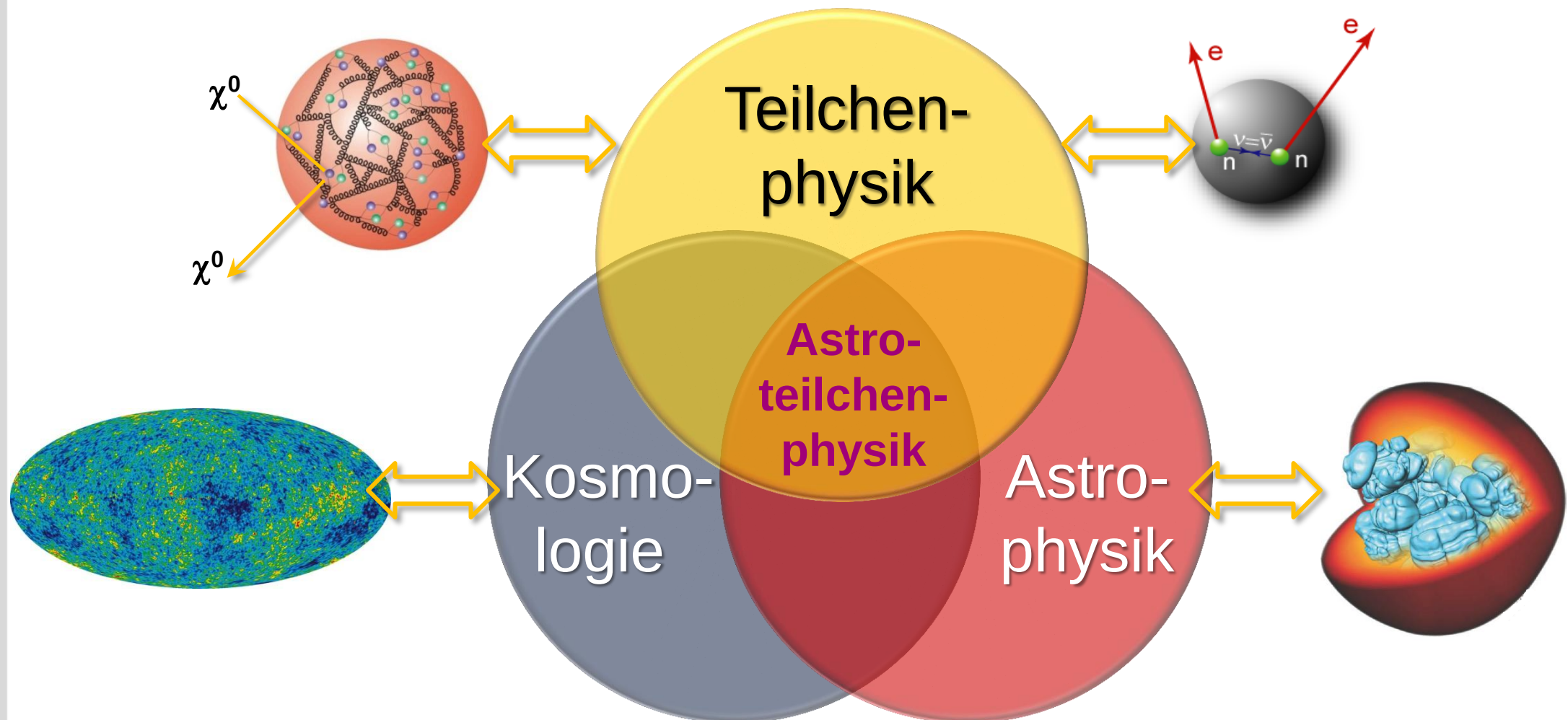
Astroteilchenphysik – I

WS 2012/13

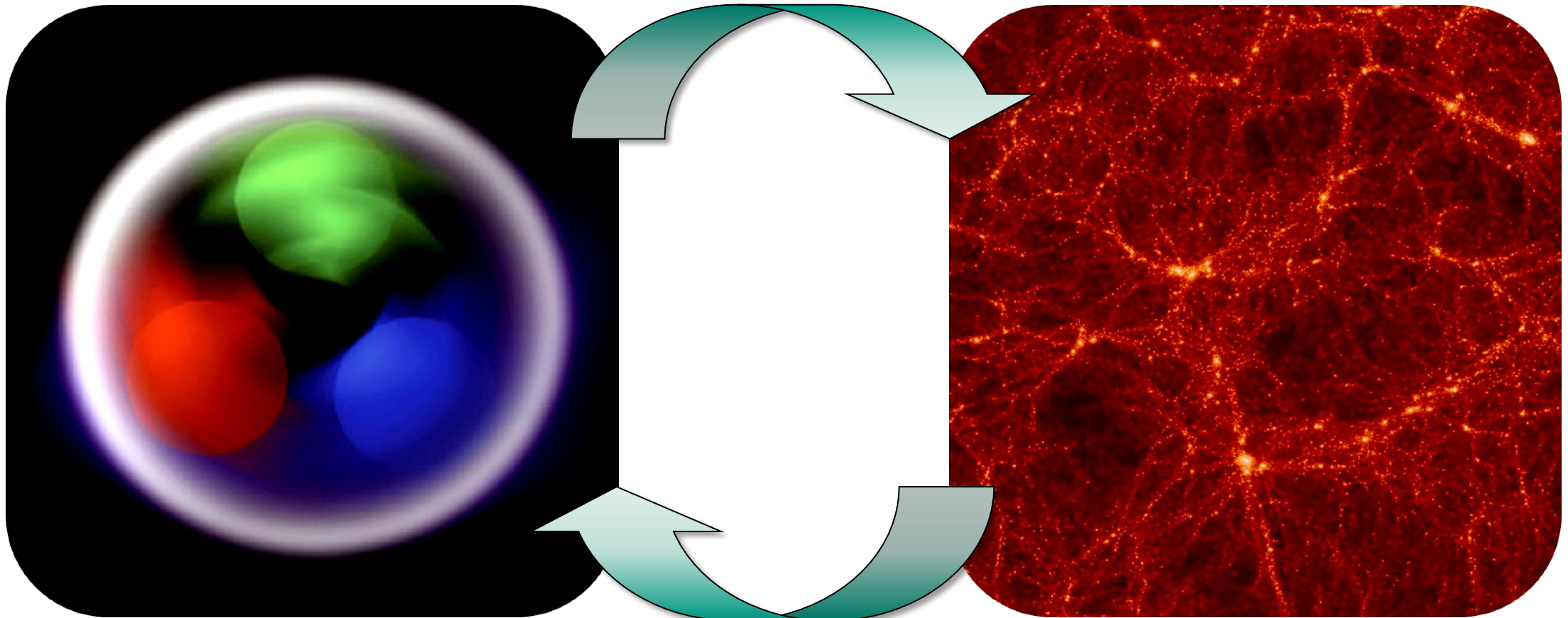
G. Drexlin (EKP)

<http://www-ik.fzk.de/~drexlin/>

Astroteilchenphysik =
Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos



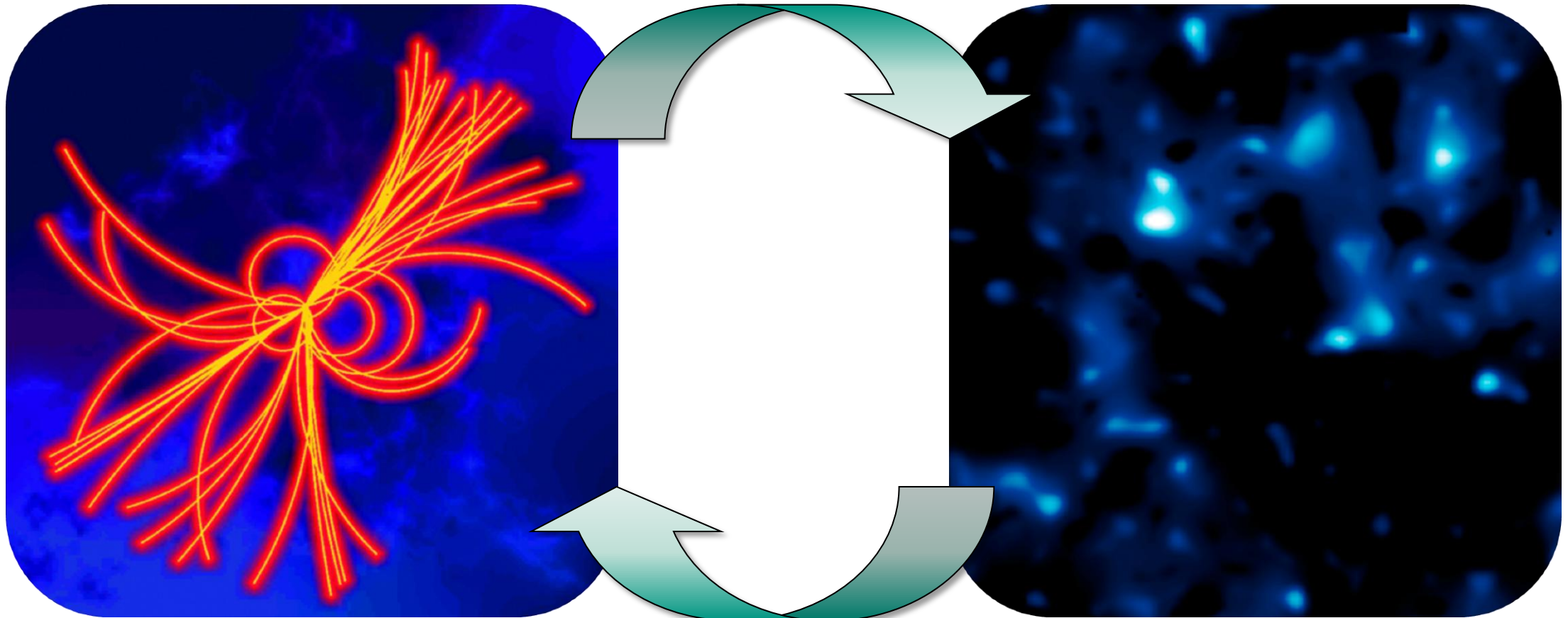
Astroteilchenphysik =
Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos
...von den Quarks zum Kosmos...



3 Quarks in einem Proton

10^{11} Galaxien im Kosmos

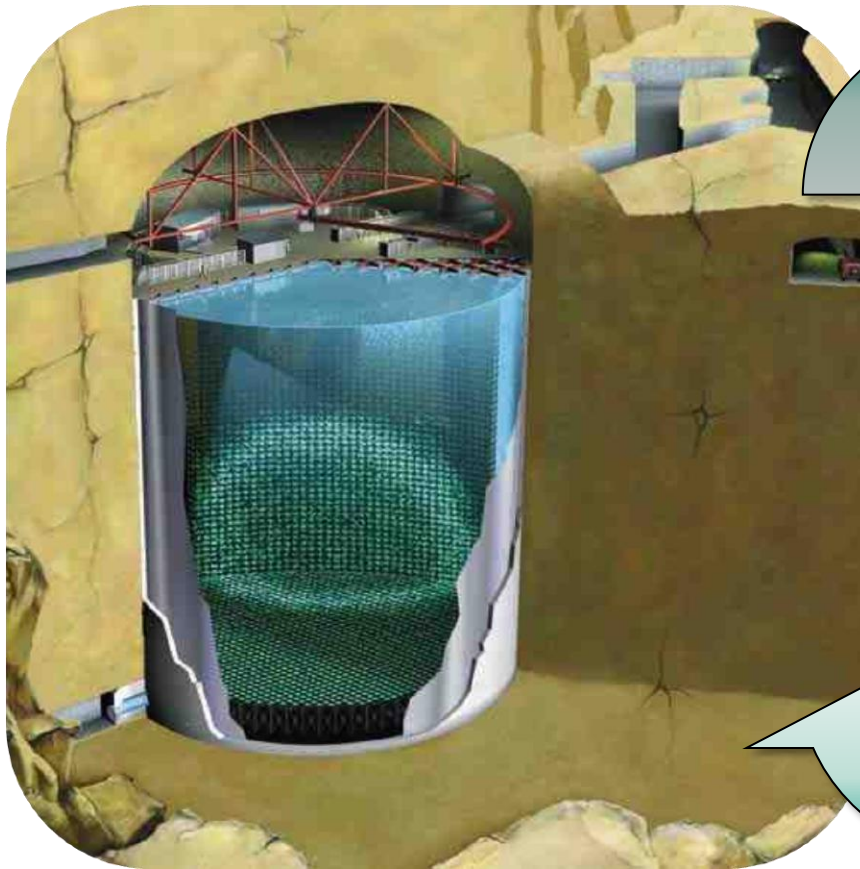
Astroteilchenphysik =
Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos
...von Neutralinos zur Dunklen Materie...



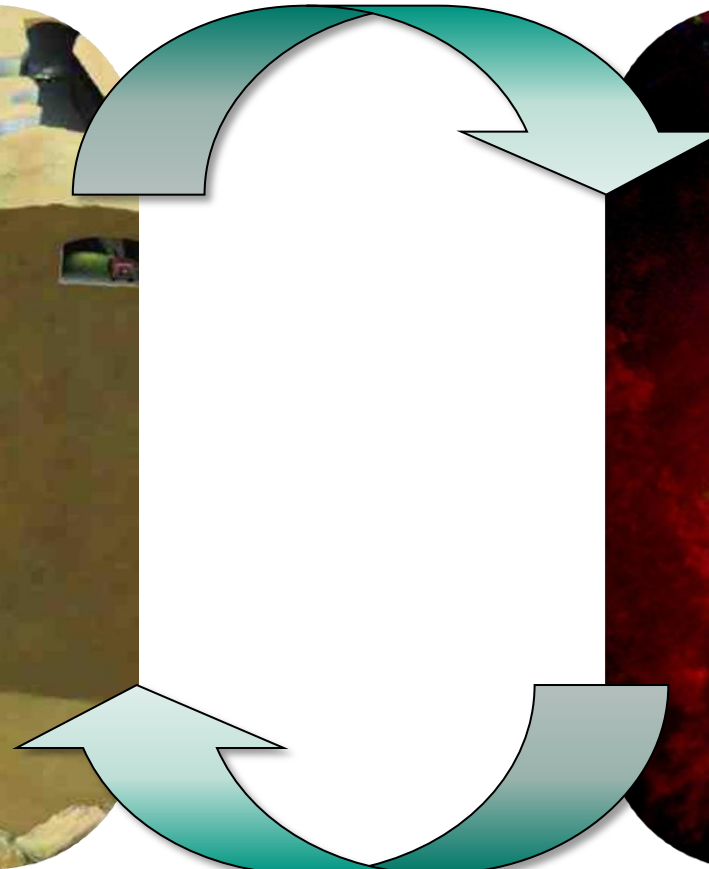
SUSY-Neutralino

Dunkle Materie im Kosmos

Astroteilchenphysik =
Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos
...von der Neutrino-Masse zu SNIae...

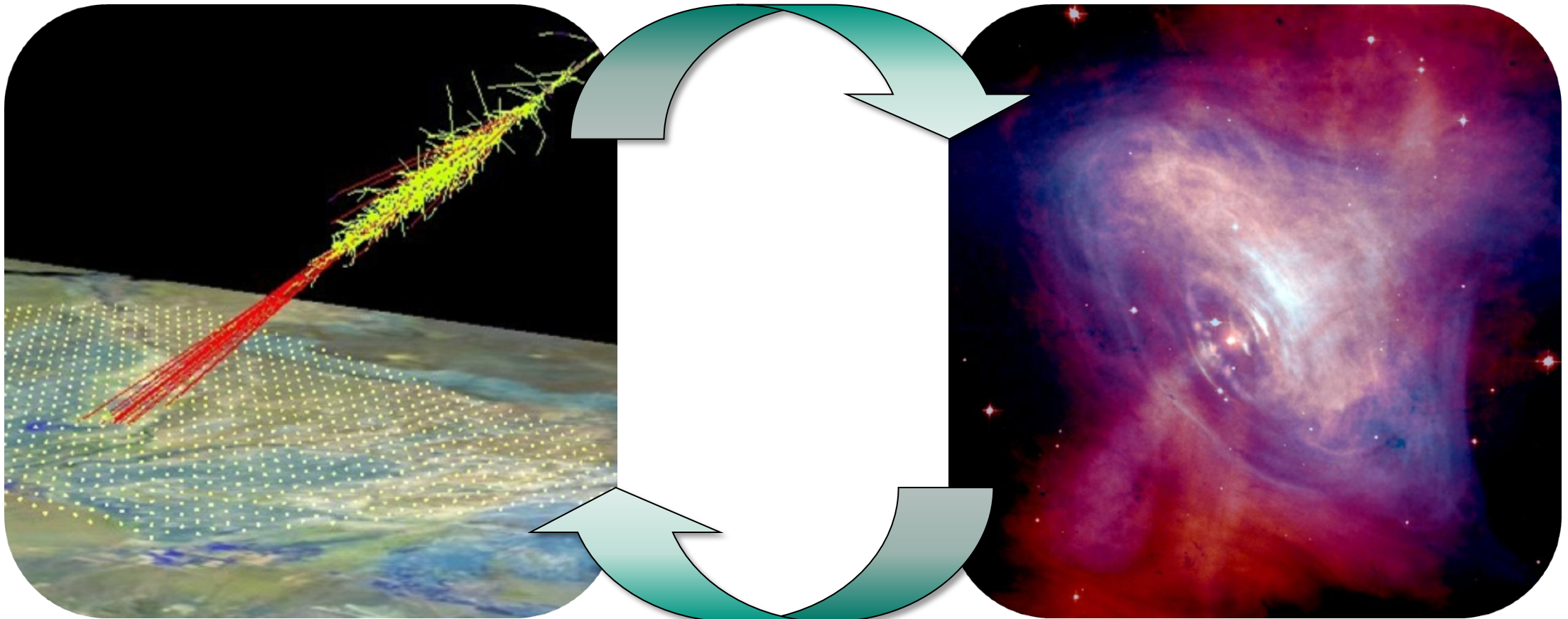


Neutrino-Eigenschaften



Supernova-Explosionen

Astroteilchenphysik =
Verbindung zwischen Mikro- und Makrokosmos
...von Cosmic Rays zu SNR's...



Luftschauerpropagation

Kosmische Beschleuniger

Vorlesung Astroteilchenphysik – Struktur

8 ECTS

Astroteilchenphysik – I

WS2012/13

Einführung, frühes Universum
Strukturentwicklung, Dunkles Universum



Astroteilchenphysik – II

Kosmische Strahlung

WS2012/13

galaktisch/extragalaktisch,
Nachweis, Quellen

6 ECTS

Teilchen & Sterne

SS2013

Neutrinos, stellare Evolution,
Gravitationswellen

6 ECTS

Kosmologie

WS2012/13

Big Bang, kosmol. Modelle
Entwicklung des Universums

6 ECTS

Astroteilchenphysik I :

- Vorlesung ATP–I: (15 Vorlesungen im WS2012/2013):
2 SWS = 4 ECTS Punkte
- Übungen ATP–I: (2h alle zwei Wochen)
1 SWS = 2 ECTS Punkte
- Blockübungen nach Semesterende ($\equiv$ 1 SWS) = 2 ECTS Punkte

8 ECTS

Sem			
1	Physikalisches Vertiefungsfach 8	Physikalisches Nebenfach 8	Physikalisches Ergänzungsfach 8
2	Physikalisches Vertiefungsfach 12		Physikalisches Ergänzungsfach 6
3	Spezialisierungsphase (3Monate) 15	Einführung in das wiss. Arbeiten (3 Monate) 15	
4	Masterarbeit (6Monate) 30		

Vertiefungsfach (VF)

20 ECTS

Ergänzungsfach (EF)

14 ECTS

Nebenfach (NF)

8 ECTS

Wahlpflichtfach (WPF)

8 ECTS

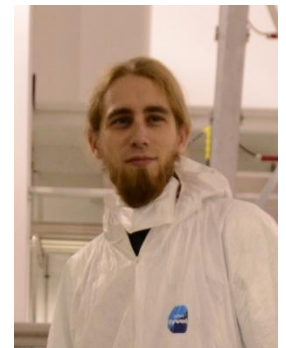
Astroteilchenphysik I :

- Vorlesung ATP-I: (15 Vorlesungen im WS2012/2013):
2 SWS = 4 ECTS Punkte
- Übungen ATP-I: (2h alle zwei Wochen)
1 SWS = 2 ECTS Punkte
- Blockübungen nach Semesterende ($\equiv$ 1 SWS) = 2 ECTS Punkte

8 ECTS

Übungen ATP-I:

- **Termin:** **Mi. 14:00-15:30** in 2-wöchigem Turnus, Ort: kleiner HS B
 - **Aufgabenblätter:** pdf-file auf Homepage / direkt per e-mail
 - **Kriterien:** Anwesenheit, Teilaufgaben sollen vorgerechnet werden
 - **Organisation:** alle Informationen via email-Liste
- Thomas Thümmeler (thomas.thuemmler@kit.edu)
Stefan Görhardt (stefan.goerhardt@kit.edu)



Vorlesung Astroteilchenphysik – Struktur

Experimentelle Astroteilchenphysik als Schwerpunktfach

- erforderlich: 20 ECTS Punkte (8+6+6)
 - Vorlesung ATP – I (8 ECTS) im WS
 - Vorlesung ATP – II (jeweils 6 ECTS)
- SoSe: Teilchen & Sterne, Gamma-Strahlung
- WiSe: kosmische Strahlung
- SoSe: Messmethoden & Techniken der Experimentalphysik (6 ECTS)
 - WiSe: Kosmologie (6 ECTS)
 - WiSe: Elektronik
 - Beschleunigerphysik
 - Datenanalyse
- aktuell: (wird nicht regelmäßig angeboten)
- WiSe: Detektoren für Teilchen- & Astroteilchenphysik
- in Planung: (wird nicht regelmäßig angeboten)
- WiSe/SoSe: schwache Wechselwirkung in Astro-, Kern- & Teilchenphysik

1. Einführung

2. Frühes Universum

- 2.1 primordiale Nukleosynthese
- 2.2 kosmische Hintergrundstrahlung

3. Strukturentwicklung

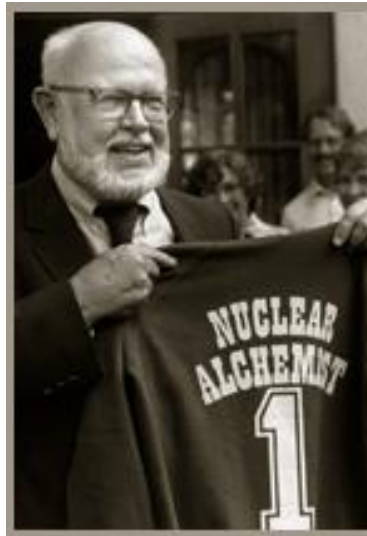
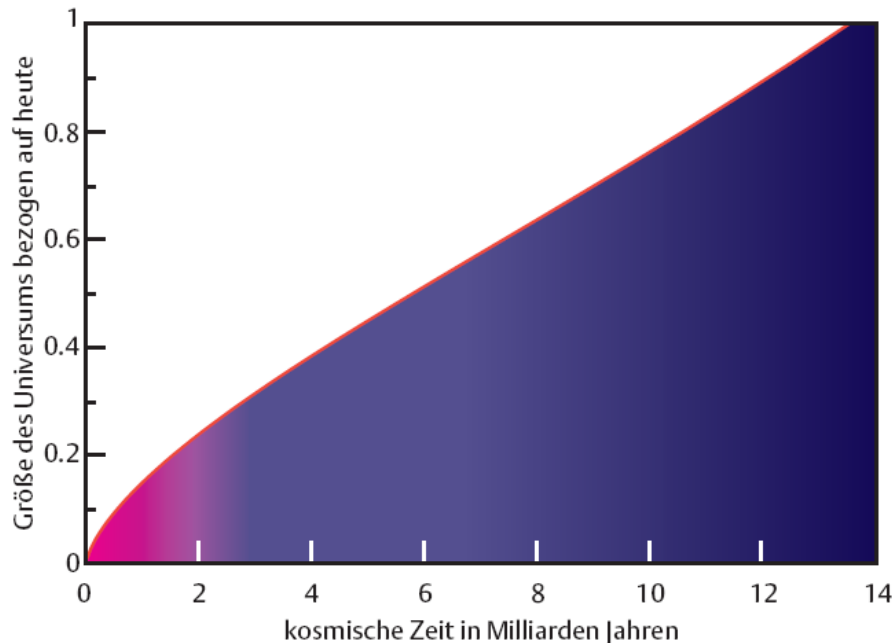
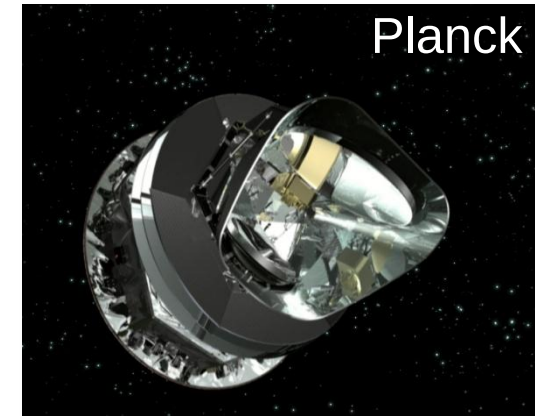
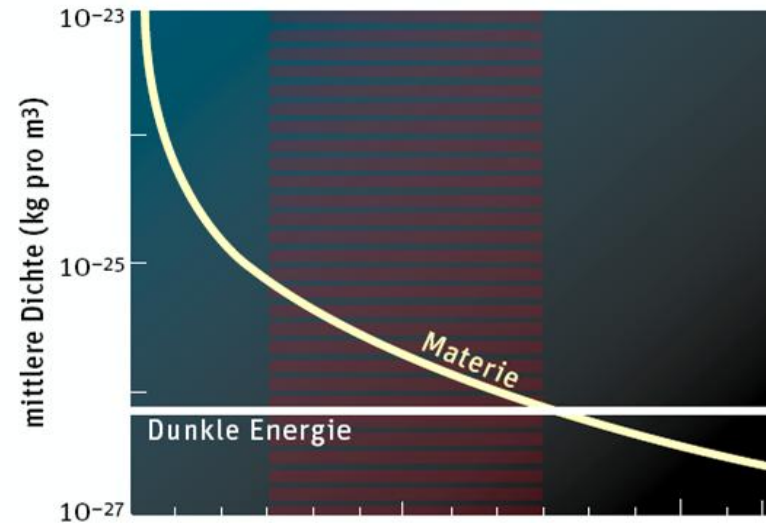
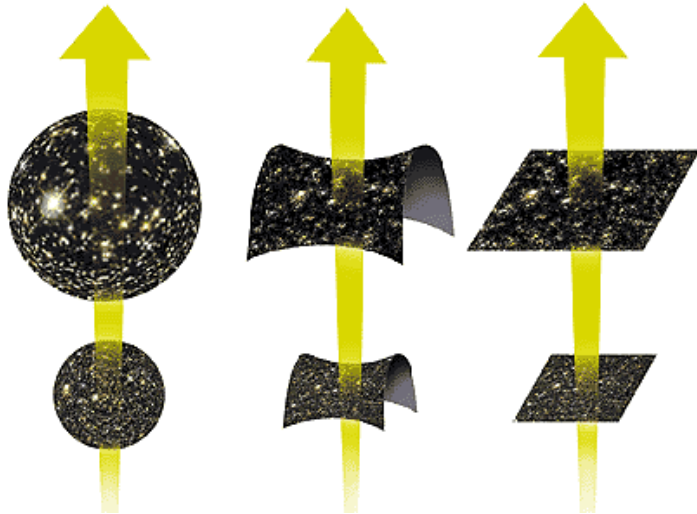
- 3.1 heiße, warme & kalte dunkle Materie
- 3.2 heutige Strukturen: astronomische Evidenzen für DM

4. Dunkles Universum

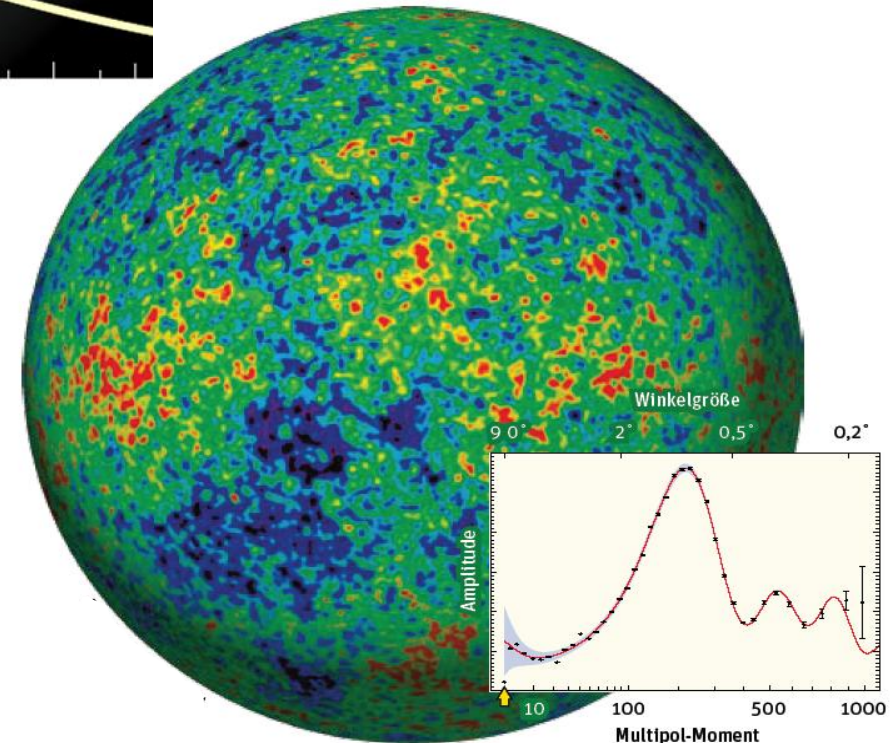
- 4.1 WIMP-Kandidaten
- 4.2 Nachweis: Untergrundprozesse
- 4.3 Nachweis: indirekte & direkte Methoden
- 4.4 Axionen
- 4.5 Dunkle Energie

Kapitel 2 – Frühes Universum

■ primordiale Elementsynthese – 3 K Hintergrundstrahlung

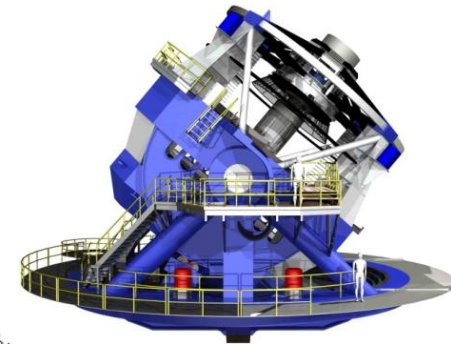
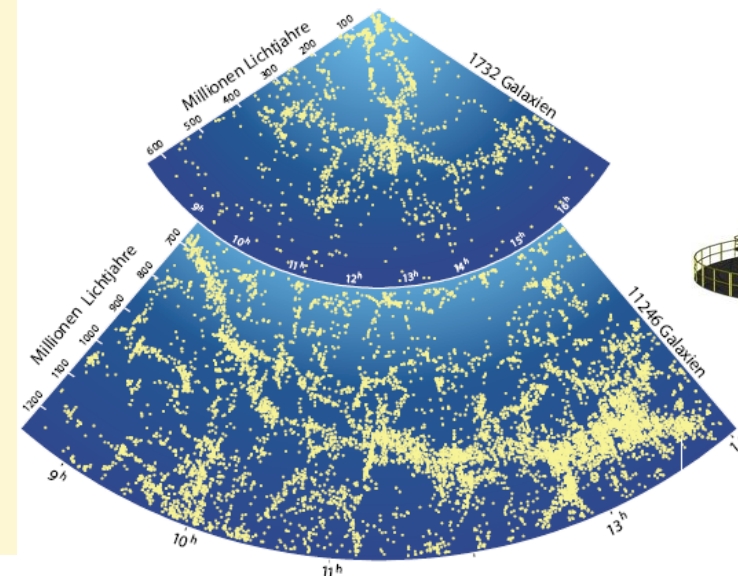
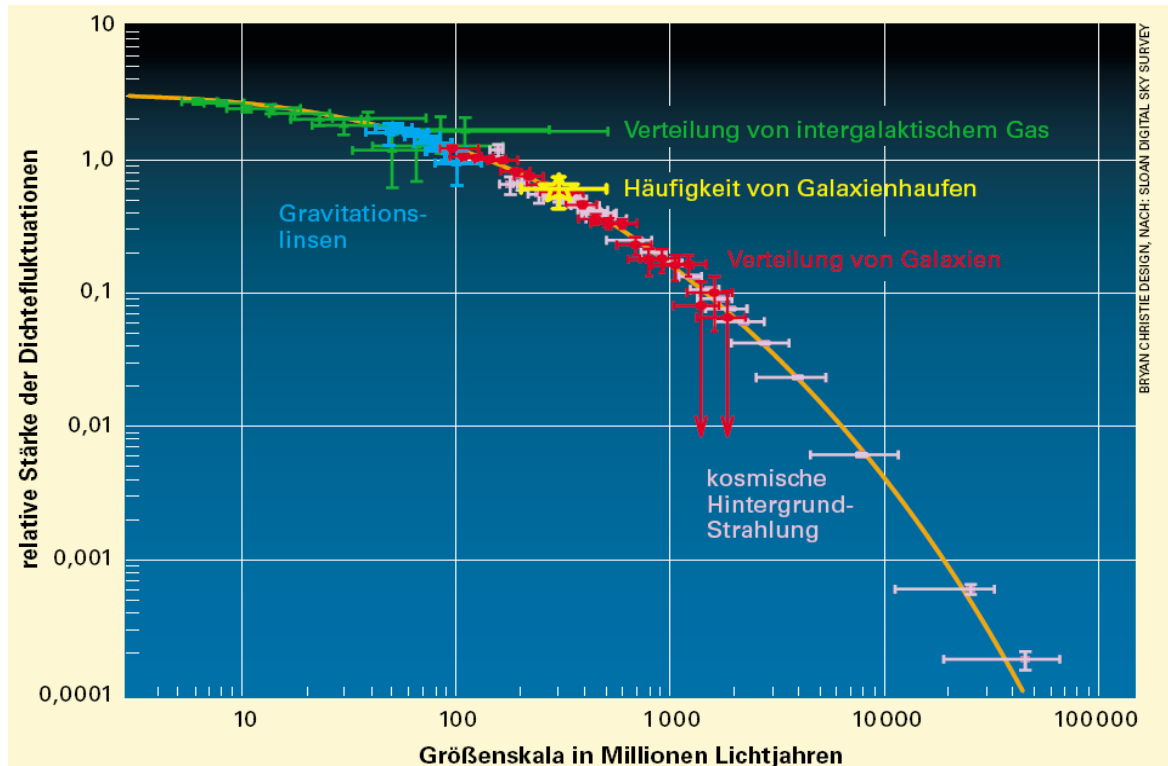
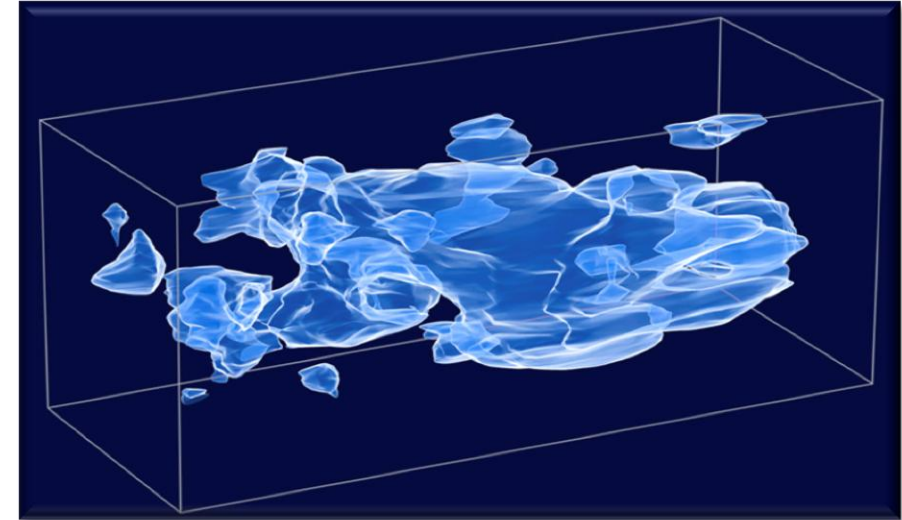
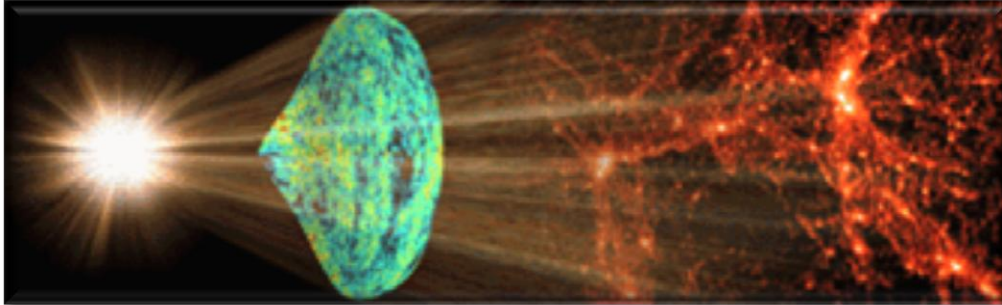


W. Fowler



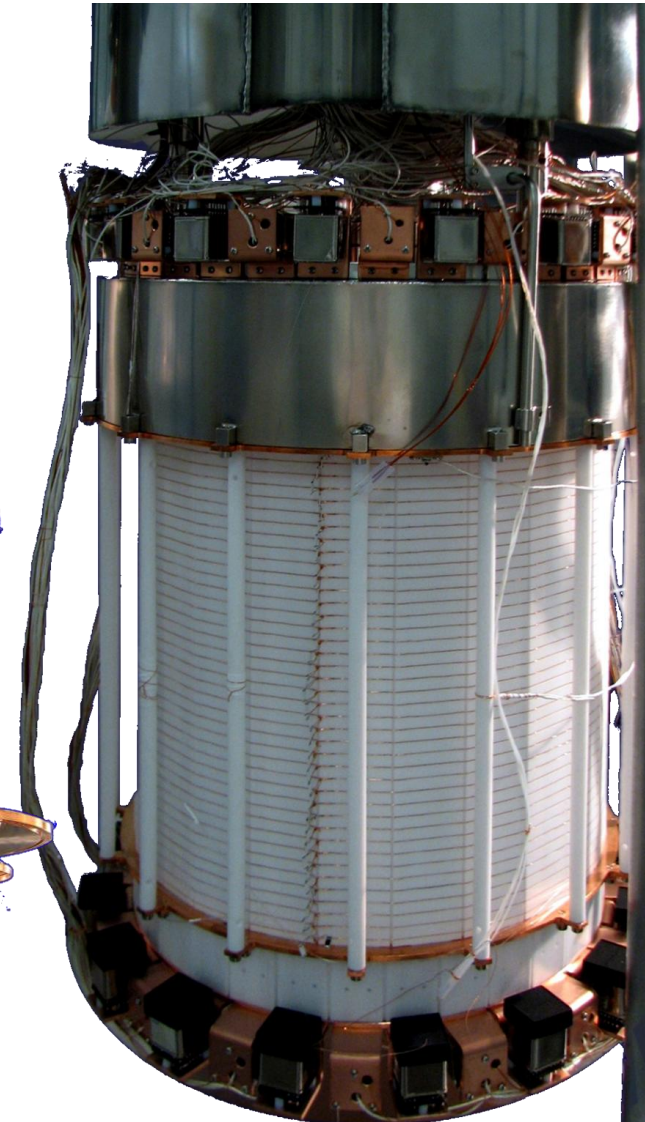
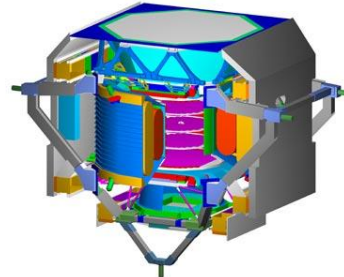
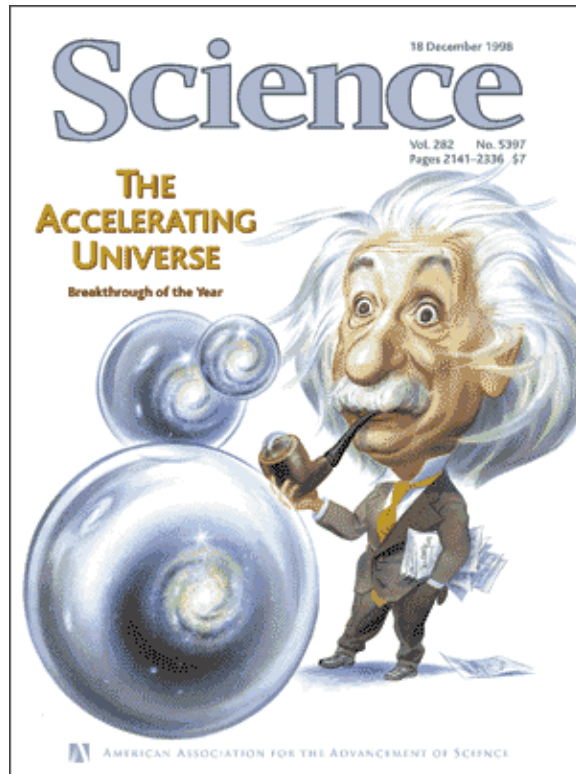
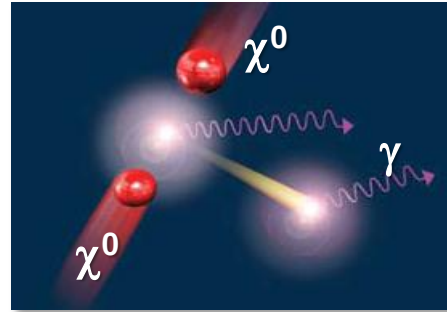
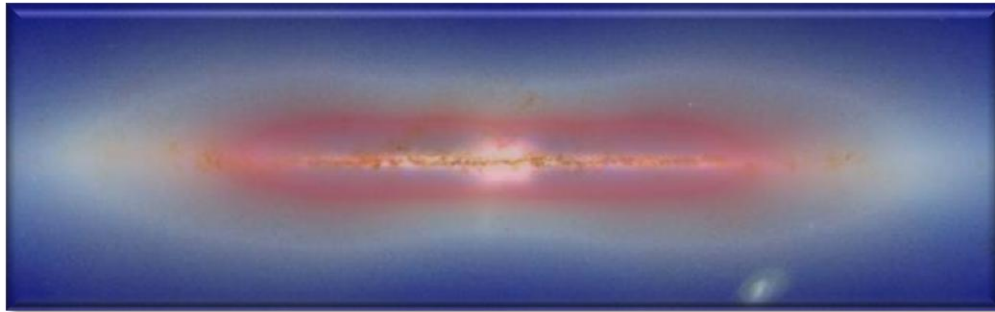
Kapitel 3 – Strukturentwicklung

■ Strukturbildung mit heißer, warmer & kalter dunkler Materie – heutige Strukturen & Galaxiendurchmusterungen, Evidenzen für DM



Kapitel 4 – Dunkles Universum

■ teilchenphysikalische Kandidaten für WIMPs – kosmischer Untergrund – direkter/indirekter Nachweis – Axionen – dunkle Energie



5. Neutrinos

- 5.1 Einführung: Historie & Grundlagen, ν -Quellen
- 5.2 ν -Oszillationen: Übersicht
- 5.3 solare & atmosphärische Neutrinos
- 5.4 Beschleuniger- und Reaktor-Neutrinos
- 5.5 Neutrinomassen: β -Zerfallskinematik & Suche nach dem $0\nu\beta\beta$

6. Stellare Evolution

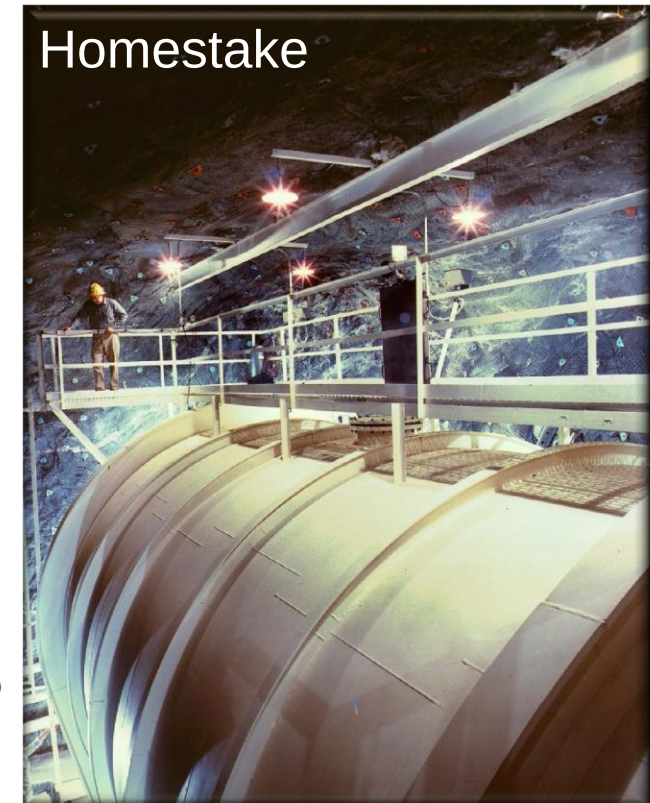
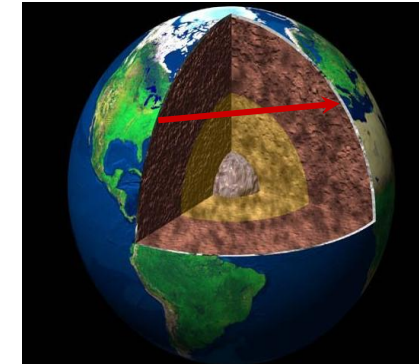
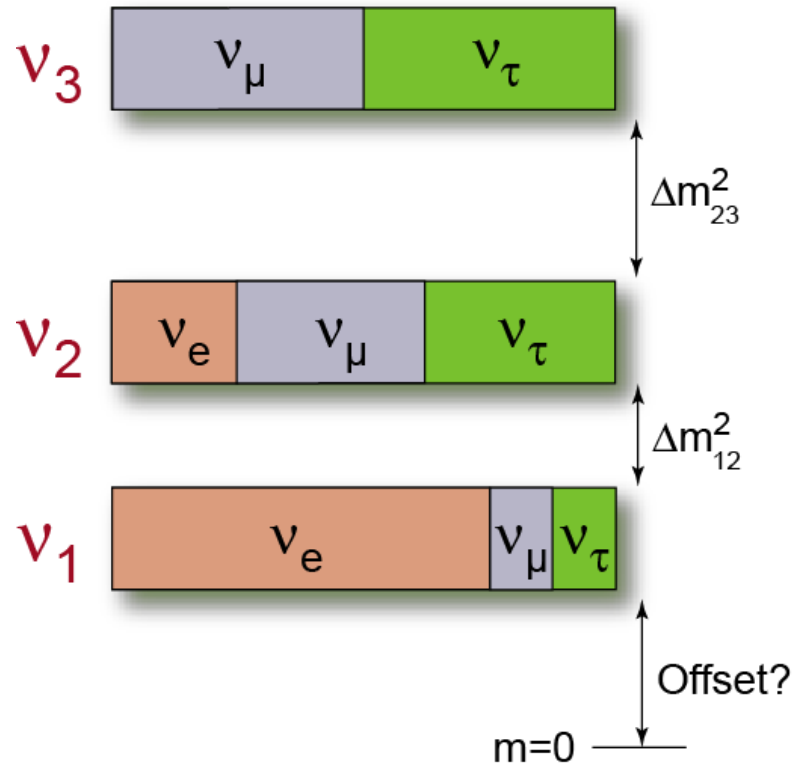
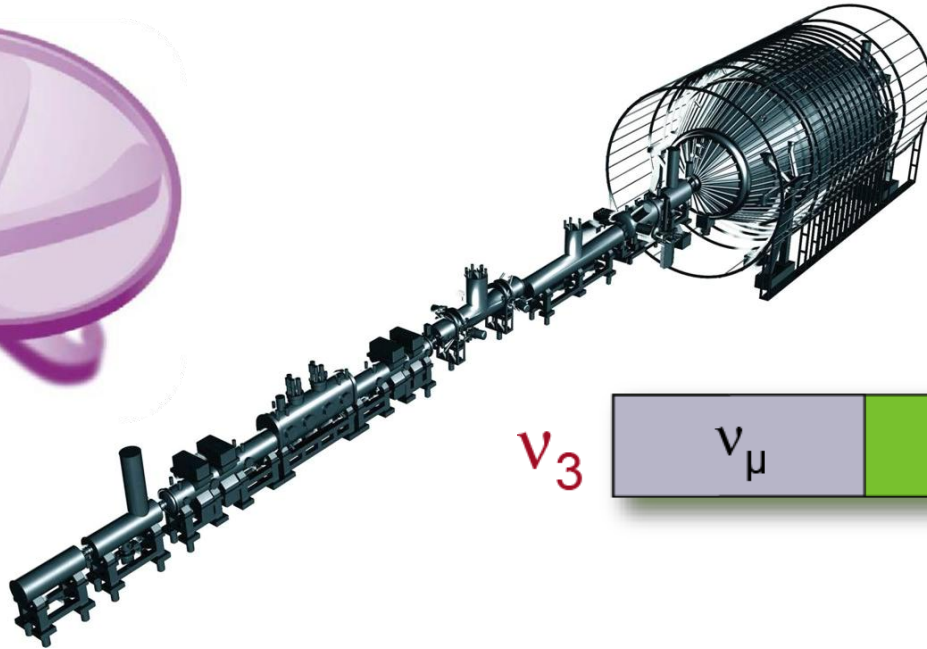
- 6.1 Entstehung & Entwicklung von Sternen
- 6.2 Weiße Zwerge & SNIae
- 6.3 SNIIfae: Mechanismus, Neutronensterne & Pulsare
- 6.4 Supernova-Neutrinos

7. Gravitationswellen

- 7.1 astrophysikalische Quellen
- 7.2 Nachweis von Gravitationswellen: Laser-Interferometer

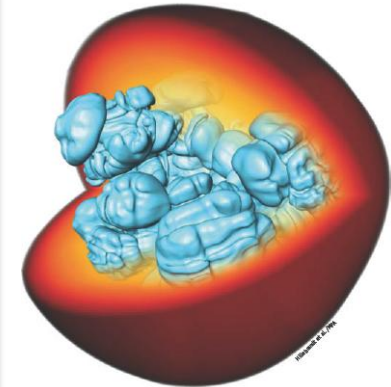
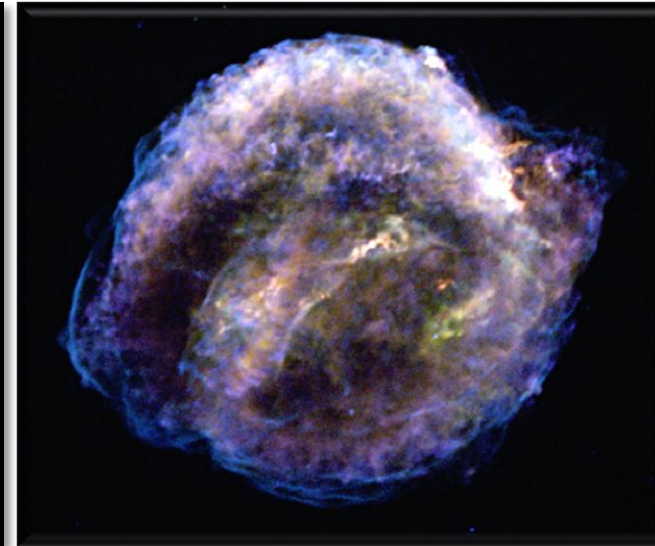
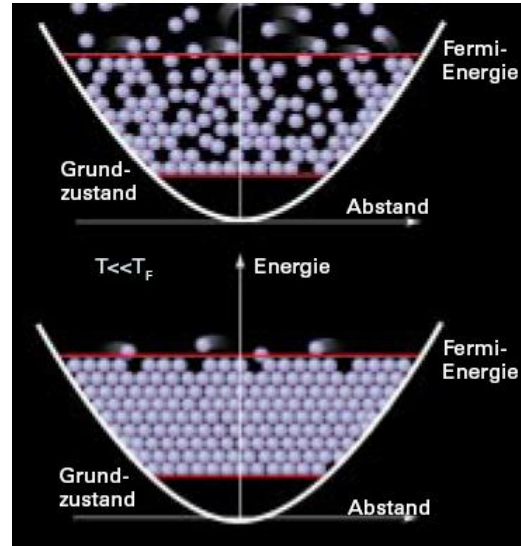
Kapitel 5 – Neutrinos

■ Neutrino-Massen & Mischungen, β – & $0\nu\beta\beta$ – Zerfall, ν – Oszillationen

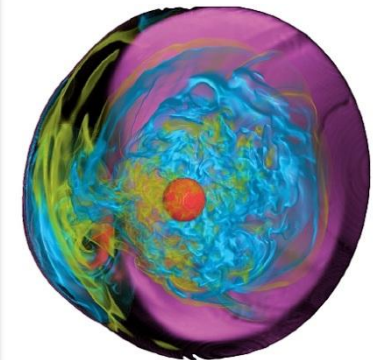
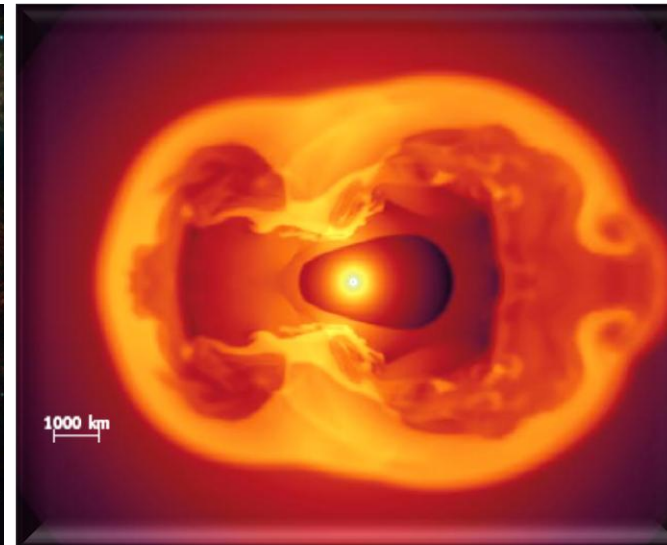
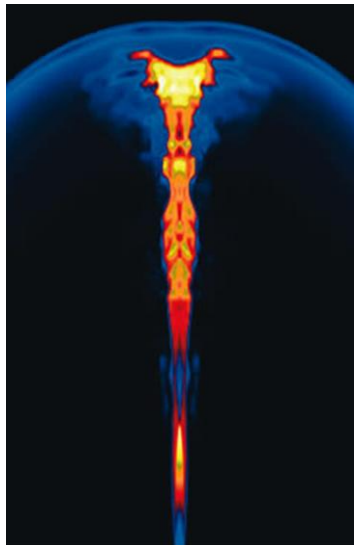


Kapitel 6 – Stellare Evolution

■ HRD, Sternentstehung, stellare Endstadien: weiße Zwerge & SNIae – SNIIfae & Neutronensterne – Supernova-Neutrinos



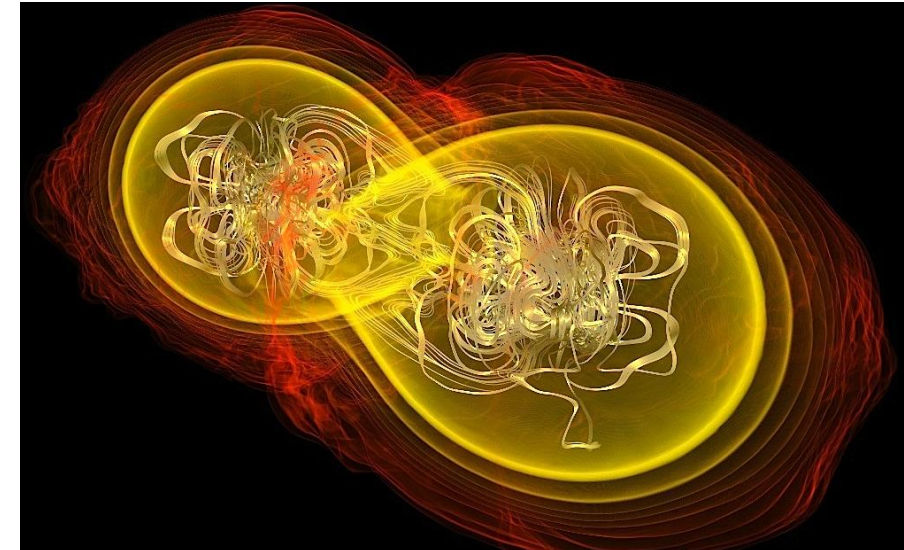
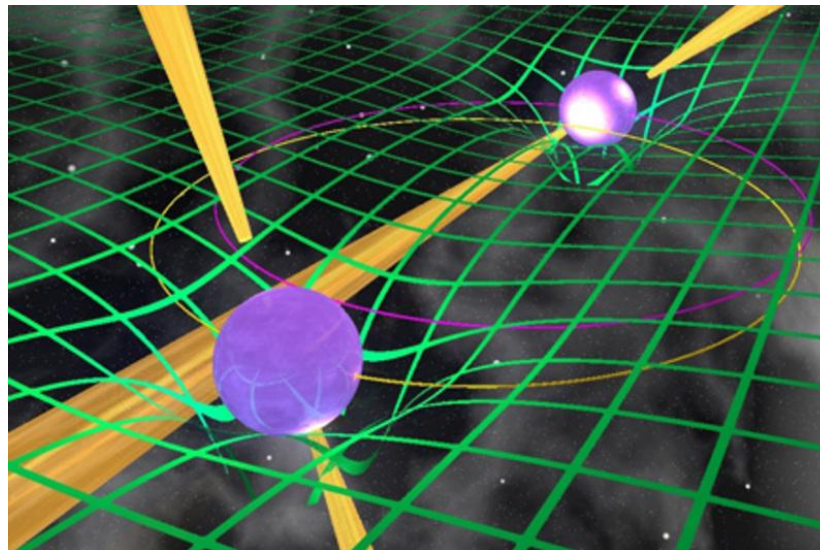
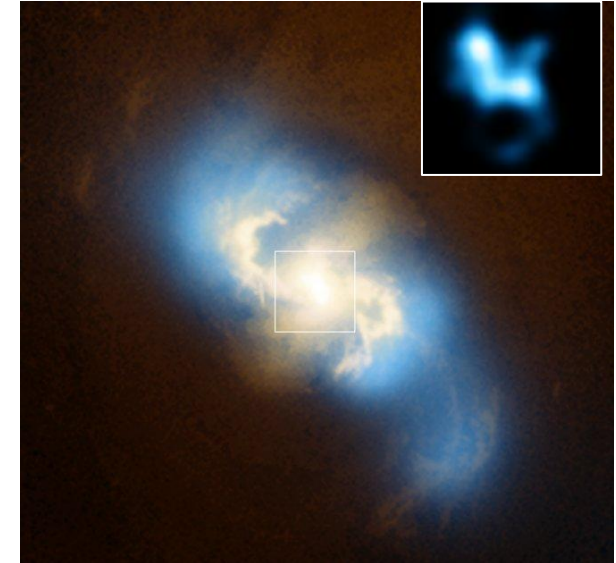
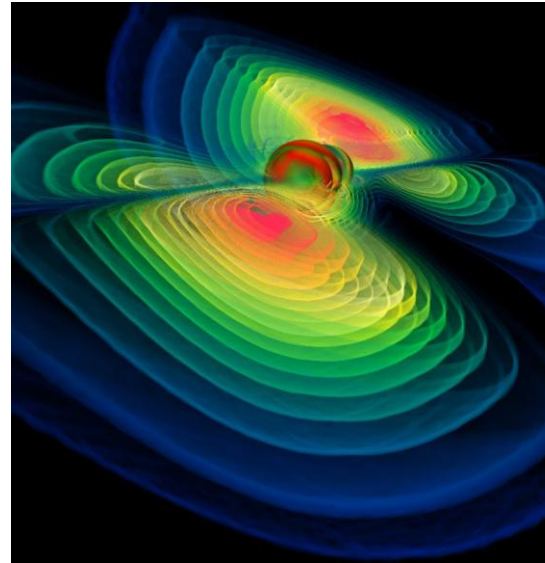
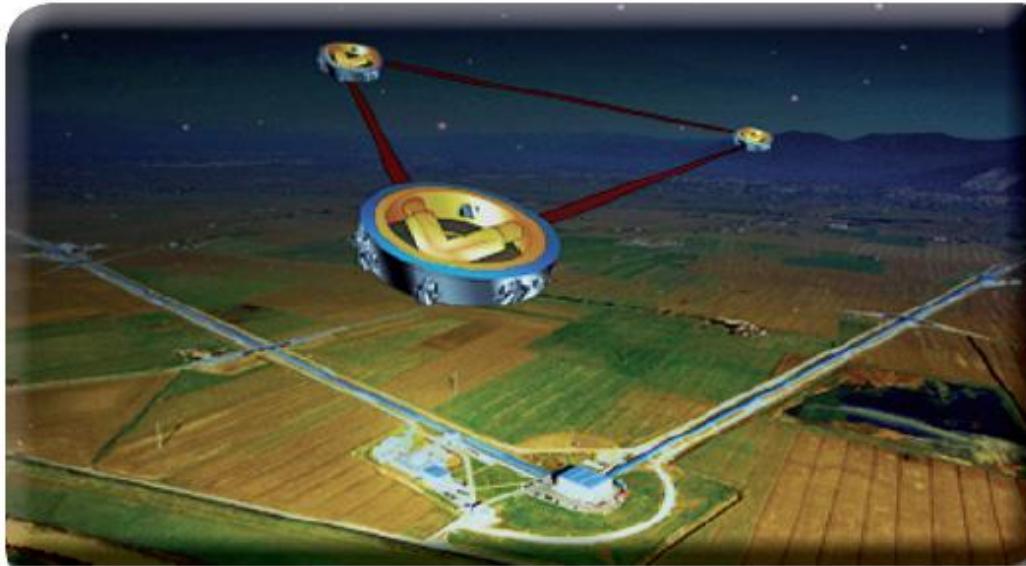
SN Ia



SN IIa

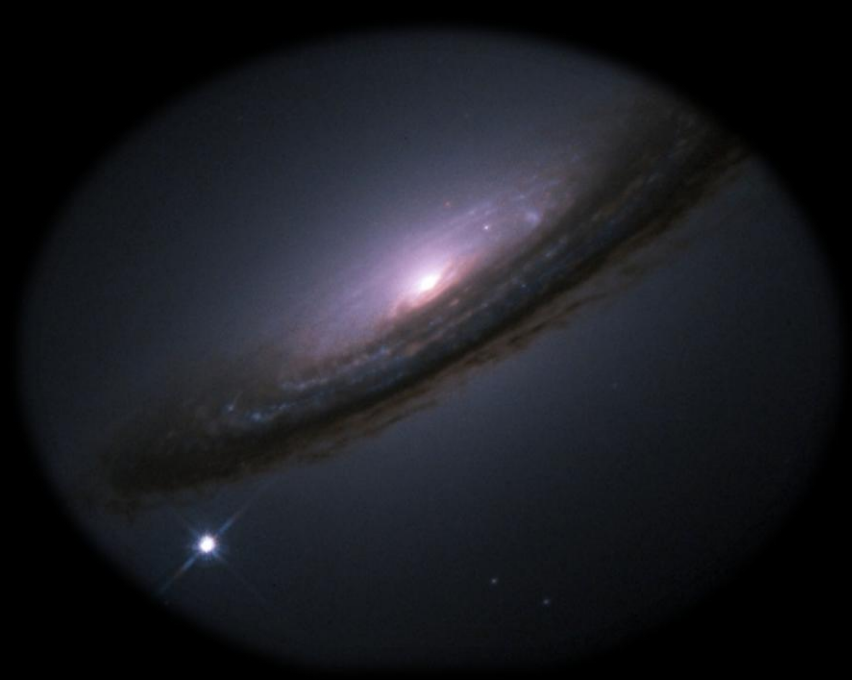
Kapitel 7 – Gravitationswellen

■ Gravitationswellen: astrophysikalische Quellen – Nachweismethoden: Resonatoren & Interferometer



Nobelpreis für Physik 2011

„for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae“



WD

SN Ia



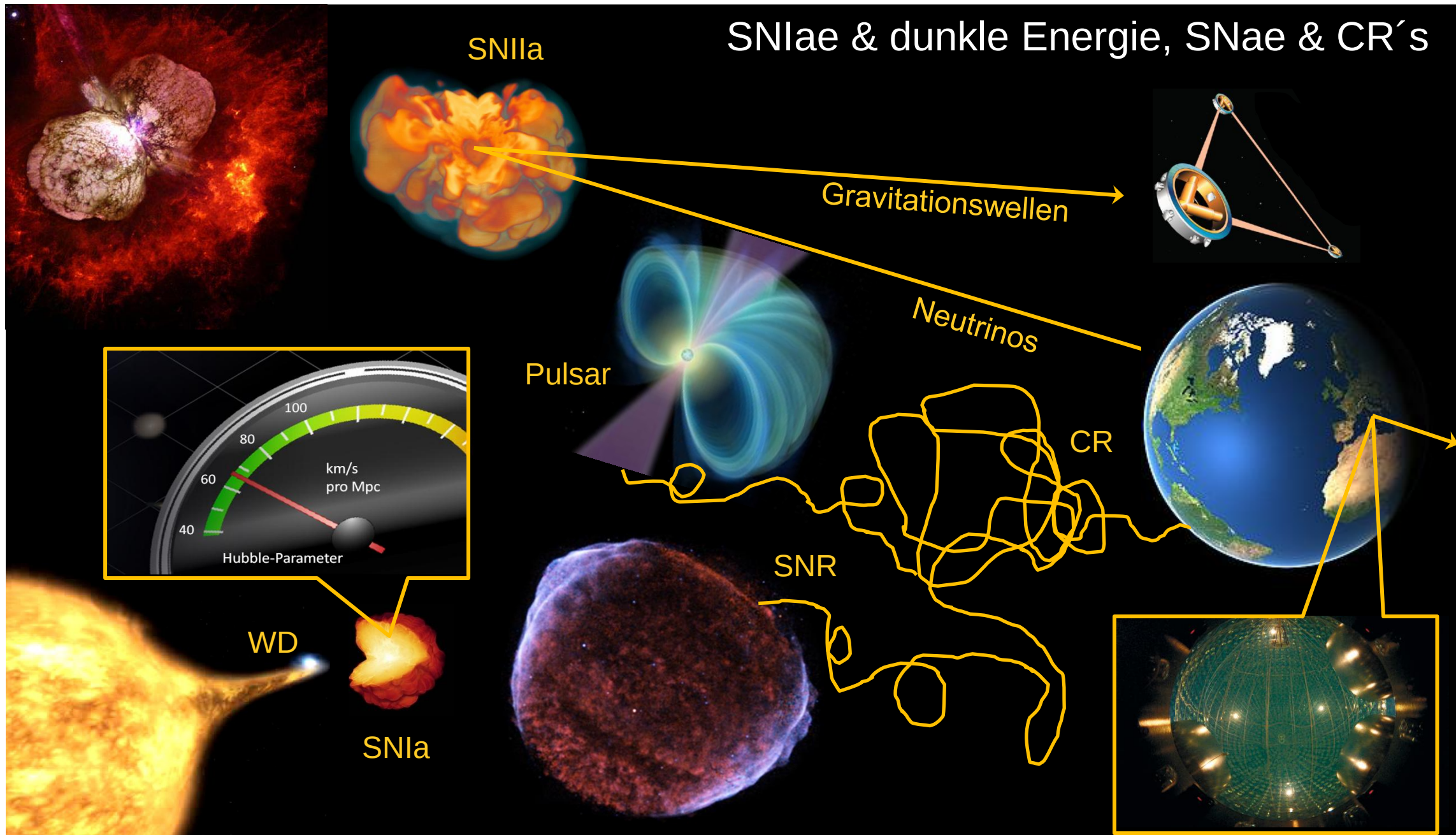
Saul Perlmutter

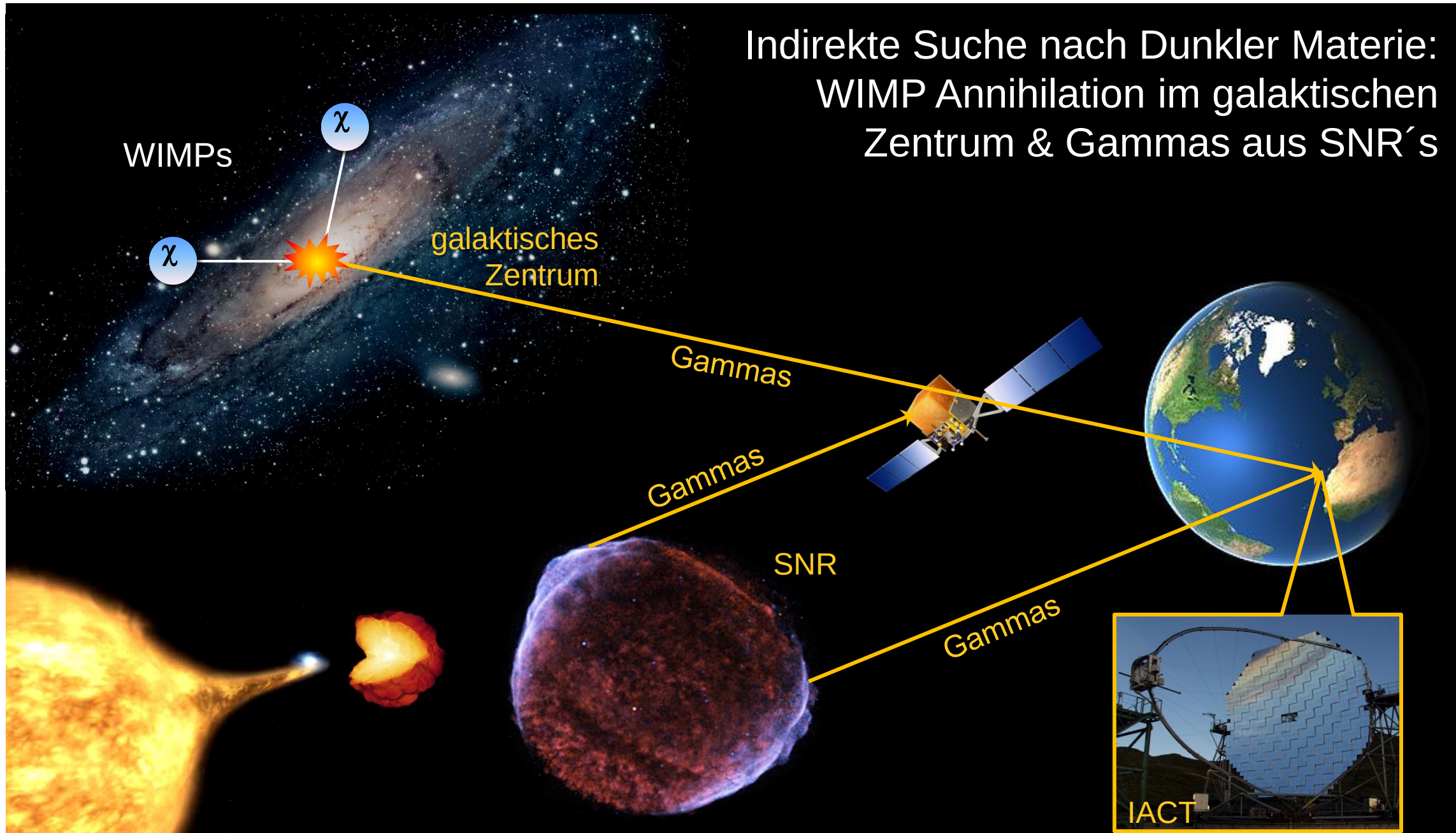


Adam G. Reiss

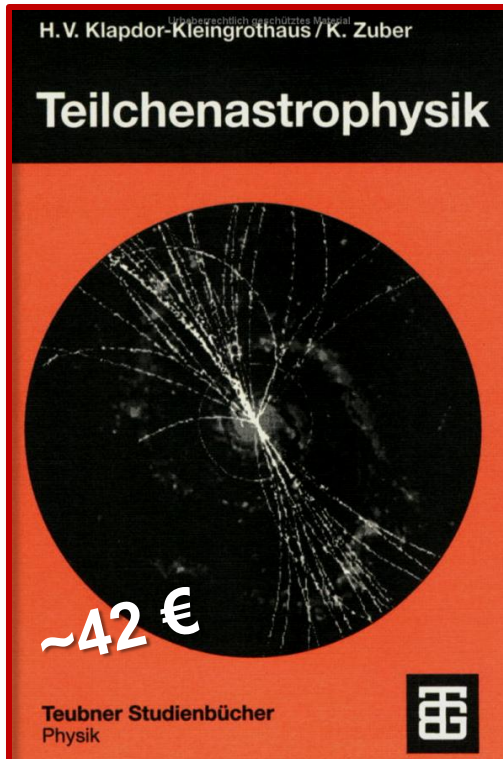


Brian P. Schmidt





Astroteilchenphysik – Literatur (D)



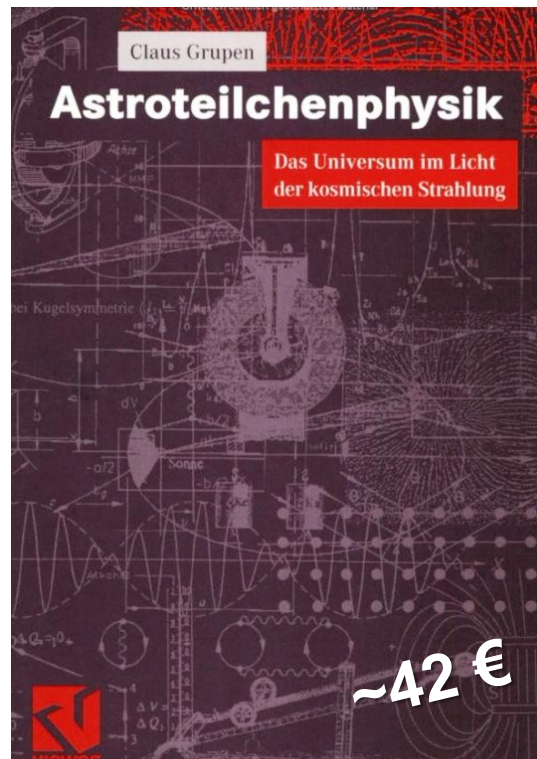
H.V. Klapdor, K. Zuber

Teilchenastrophysik

Teubner Verlag (1997)

„Überblick über Status & offene Probleme der Teilchenastrophysik“

dt. Originalausgabe

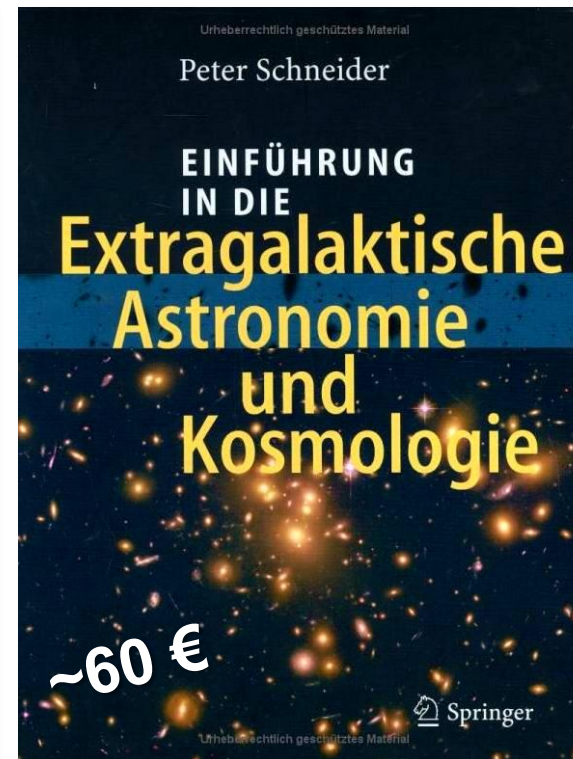


C. Grupen

Astroteilchenphysik

Springer Verlag (2000)

„Das Universum im Licht der kosmischen Strahlung“
Beschleunigung, primäre & sekund. kosm. Strahlung

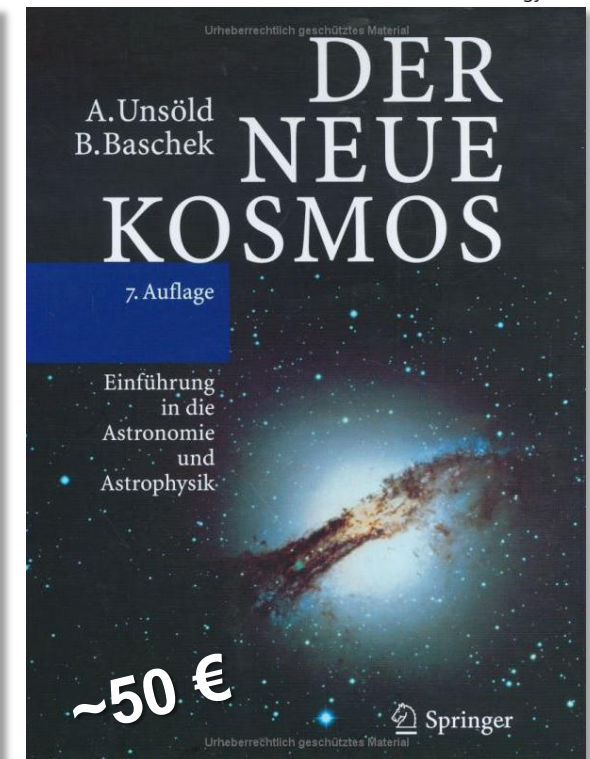


P. Schneider

Extragalaktische Astronomie und Kosmologie

Springer Verlag (2007)

Galaxien, Galaxienhaufen, Kosmologie, Universum bei hoher Rotverschiebung



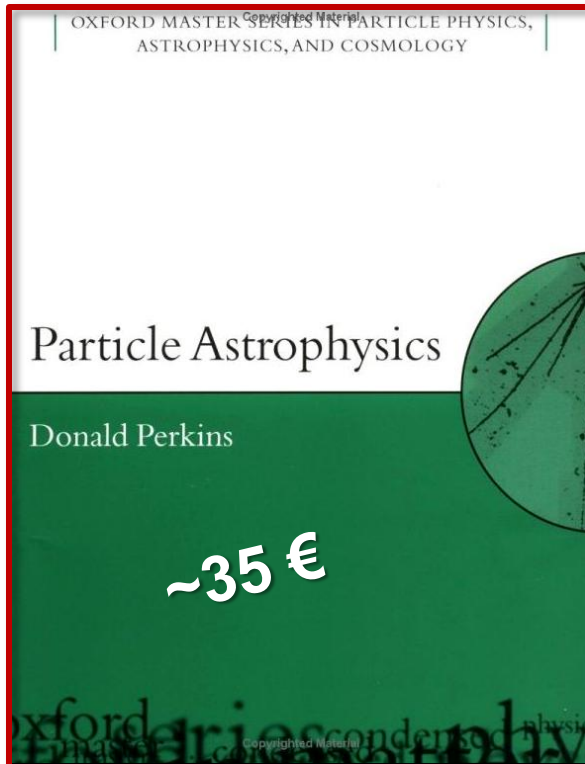
A. Unsöld, B. Baschek

Der neue Kosmos

Springer Verlag (2007)

7. Auflage, Einführung in Astronomie & Astrophysik
klass. Astronomie, Sonne & Sterne, Kosmologie

Astroteilchenphysik – Literatur (GB)



D.H. Perkins

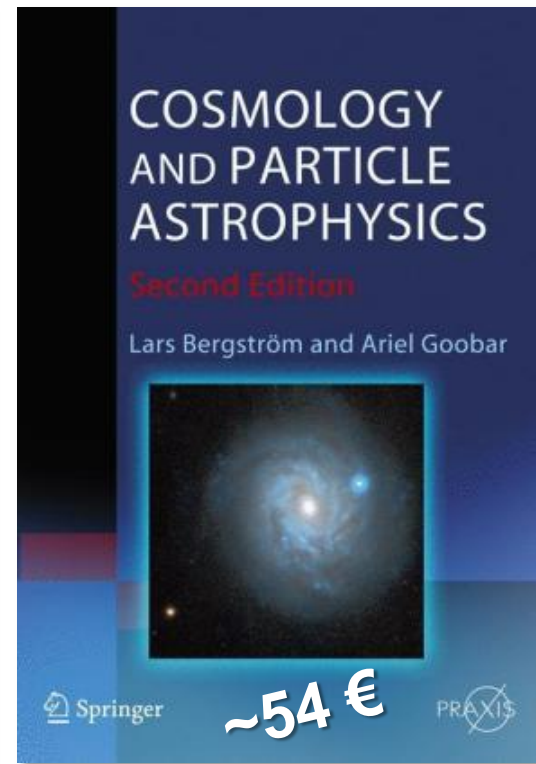
Particle Astrophysics

Oxford Univer. Press (2004)

Quarks & Leptons, expand.

Universe, conservation rules

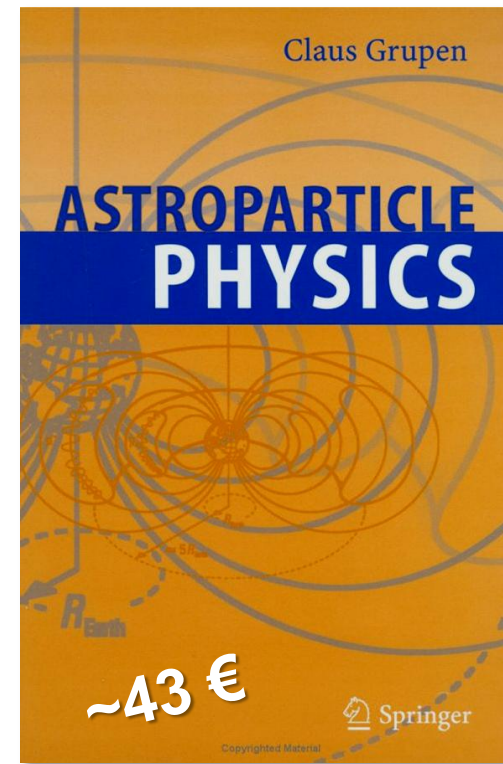
dark matter, dark energy,



L. Bergström, A. Goobar

**Cosmology & Particle
Astrophysics (2nd Edition)**

advanced undergraduate
level, technical appendices



C. Grupen

Astroparticle Physics

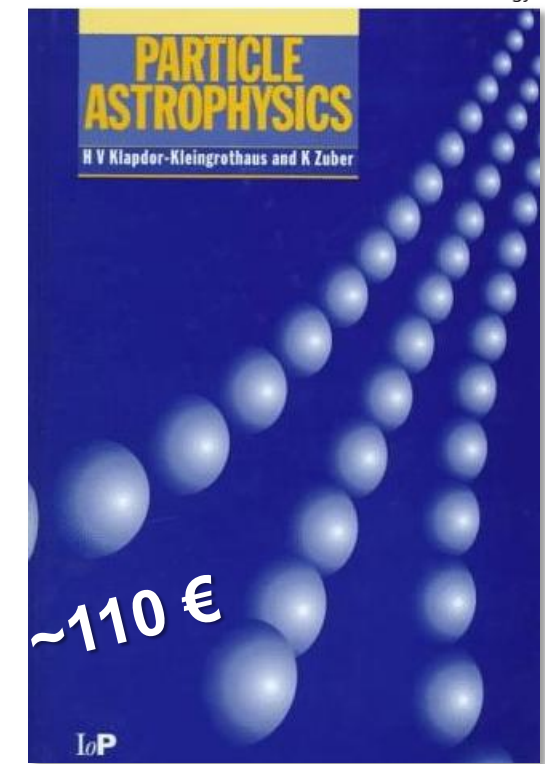
Springer Verlag (2005)

„The Universe in the

light of cosmic rays“

engl. Übersetzung der

dt. Originalausgabe



H.V. Klapdor, K. Zuber

particle astrophysics

IoP Publishing (1997)

engl. Übersetzung der

dt. Originalausgabe

Astroteilchenphysik in Deutschland



Jahrgang 39, 1/2007
Herausgeber:
KIT-PKM

Astroteilchenphysik weltweit - Fachartikel



de.arXiv.org

Open access to 497,649 e-prints in Physics, Mathematics,

Subject search and browse:

26 Jun 2008: [Increased size limits and 4 July holiday](#)

12 Mar 2008: [NIH public access mandate](#)

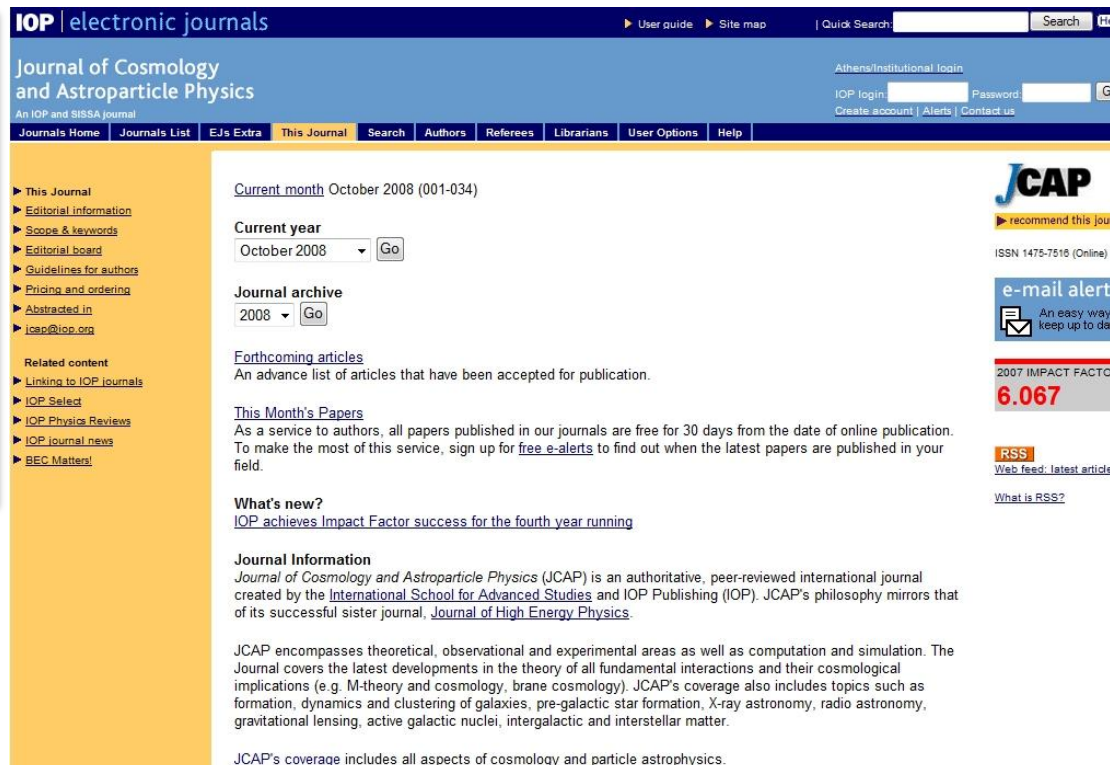
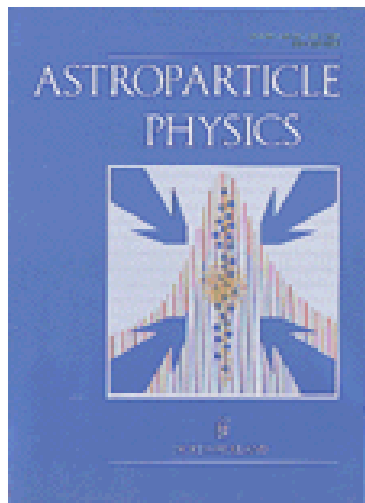
See cumulative "What's New" pages.

Robots Beware: indiscriminate automated downloads from this site are *not* permitted.

Physics

- [Astrophysics](#) ([astro-ph](#) [new](#), [recent](#), [find](#))

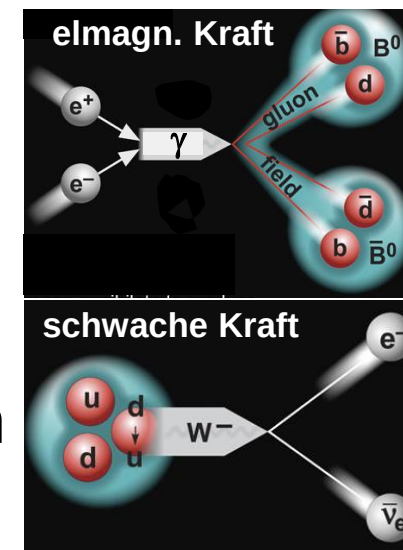
ATP-preprints in: astro-ph (Astrophysik)
hep-ex, nucl-ex (Experiment)
hep-ph (Phänomenologie)



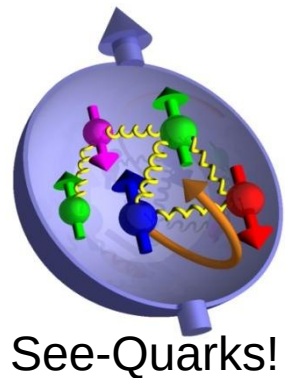
1. Einführung

■ Standardmodell der Teilchenphysik

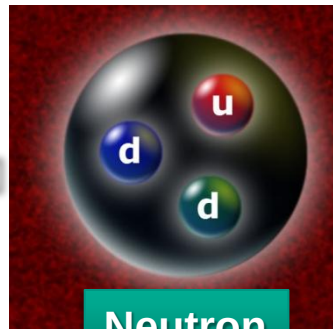
= 3 Teilchenfamilien (Leptonen & Hadronen)
 + **3 Kräfte** als Quantenfeldtheorie, Gravitation
 + Massenerzeugung (Higgsmechanismus)



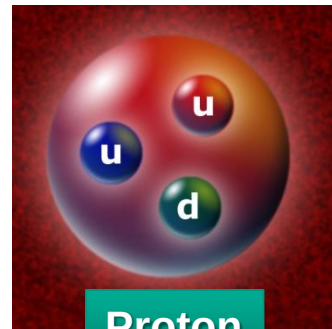
Wechselwirkung	Boson	Masse [GeV]	rel. Stärke [3×10^{-17} m]	Reichweite [m]	Potenzial
stark	Gluonen	0	60	$2.5 \cdot 10^{-15}$	$\alpha r^{-1} + \beta r$
elektromagnet.	Photon	0	1	∞	$1/r$
schwach	W^+, W^- Z^0	80.4 91.2	10^{-4}	10^{-18}	$\delta(r)$



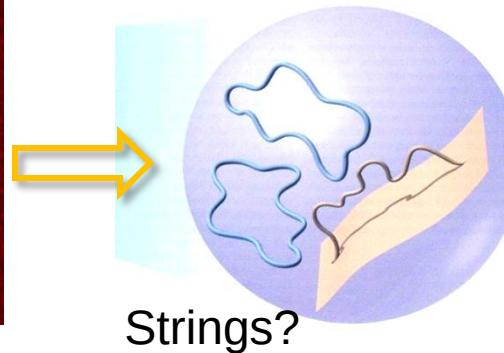
See-Quarks!



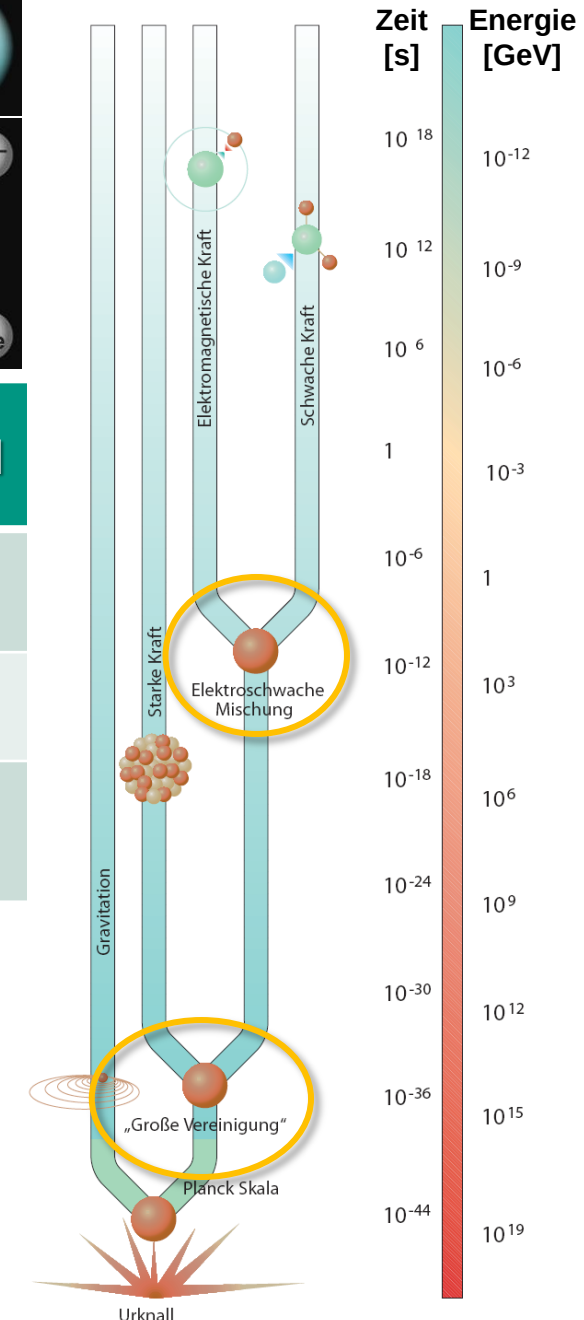
Neutron



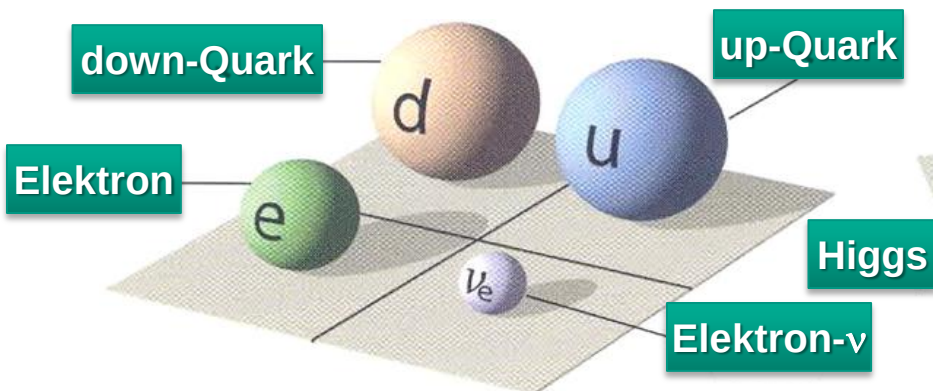
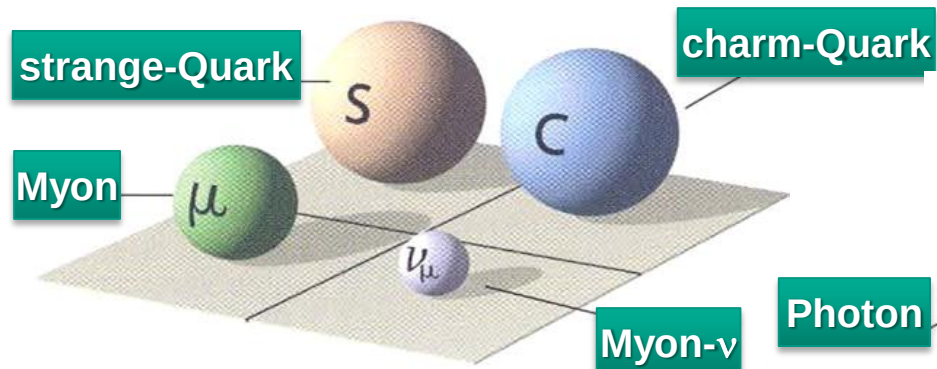
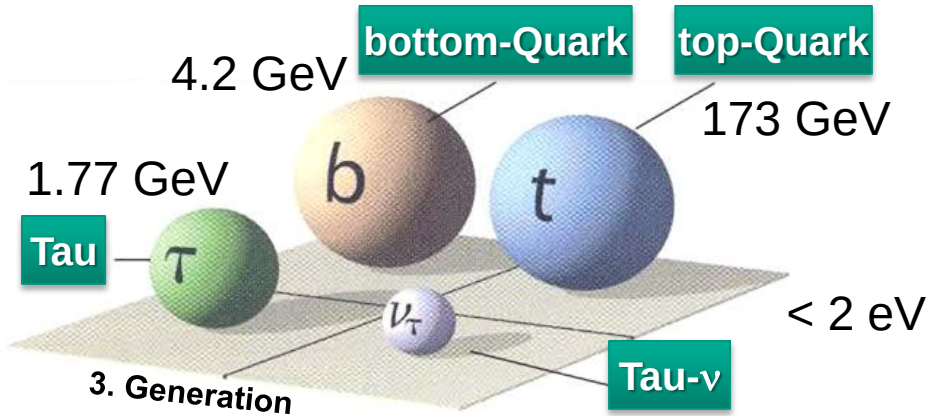
Proton



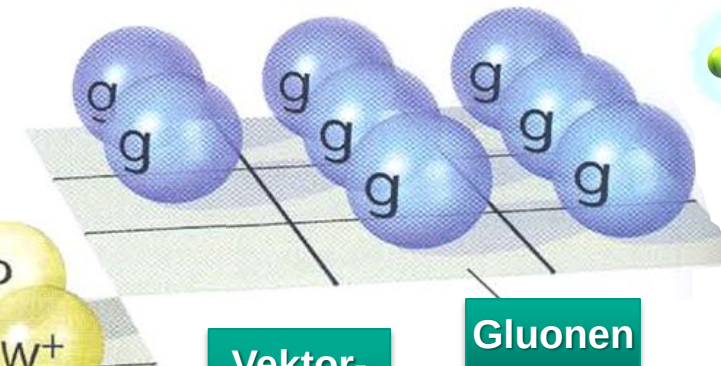
Strings?



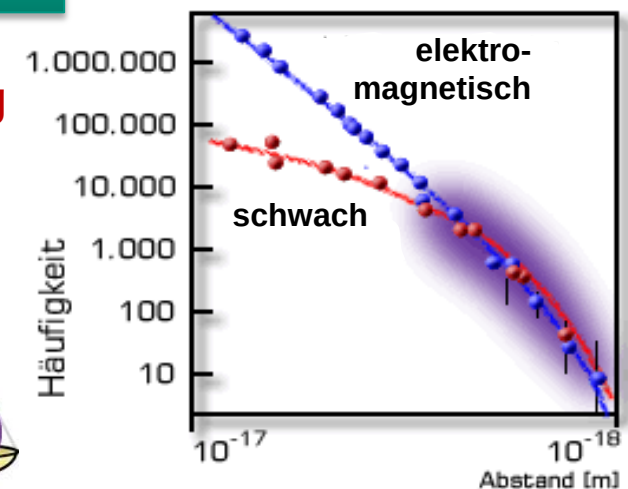
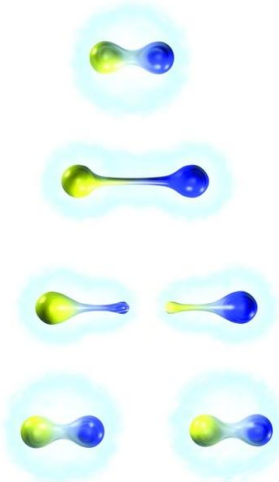
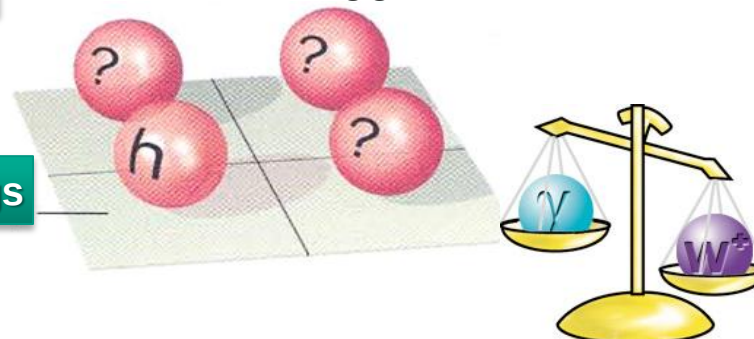
Elementare Fermionen & Austauschbosonen



starke Wechselwirkung
Gluon-Selbstwechselwirkung
'asymptotische Freiheit'



elektroschwache Symmetriebrechung
Higgsmechanismus



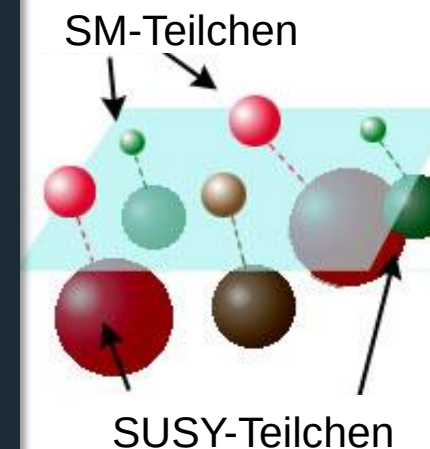
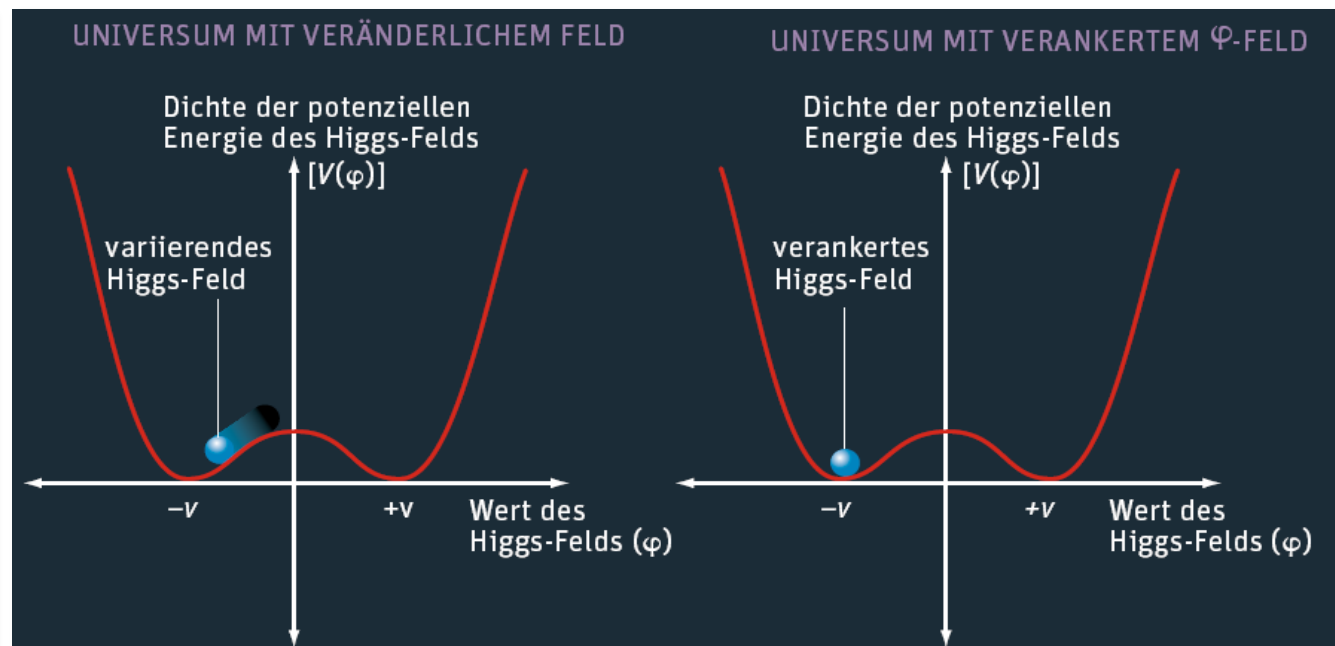
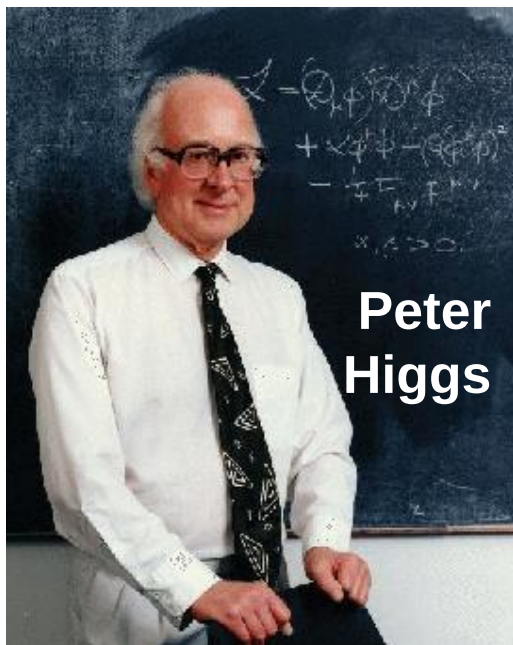
Ursprung der Masse

Hierarchie-Problem

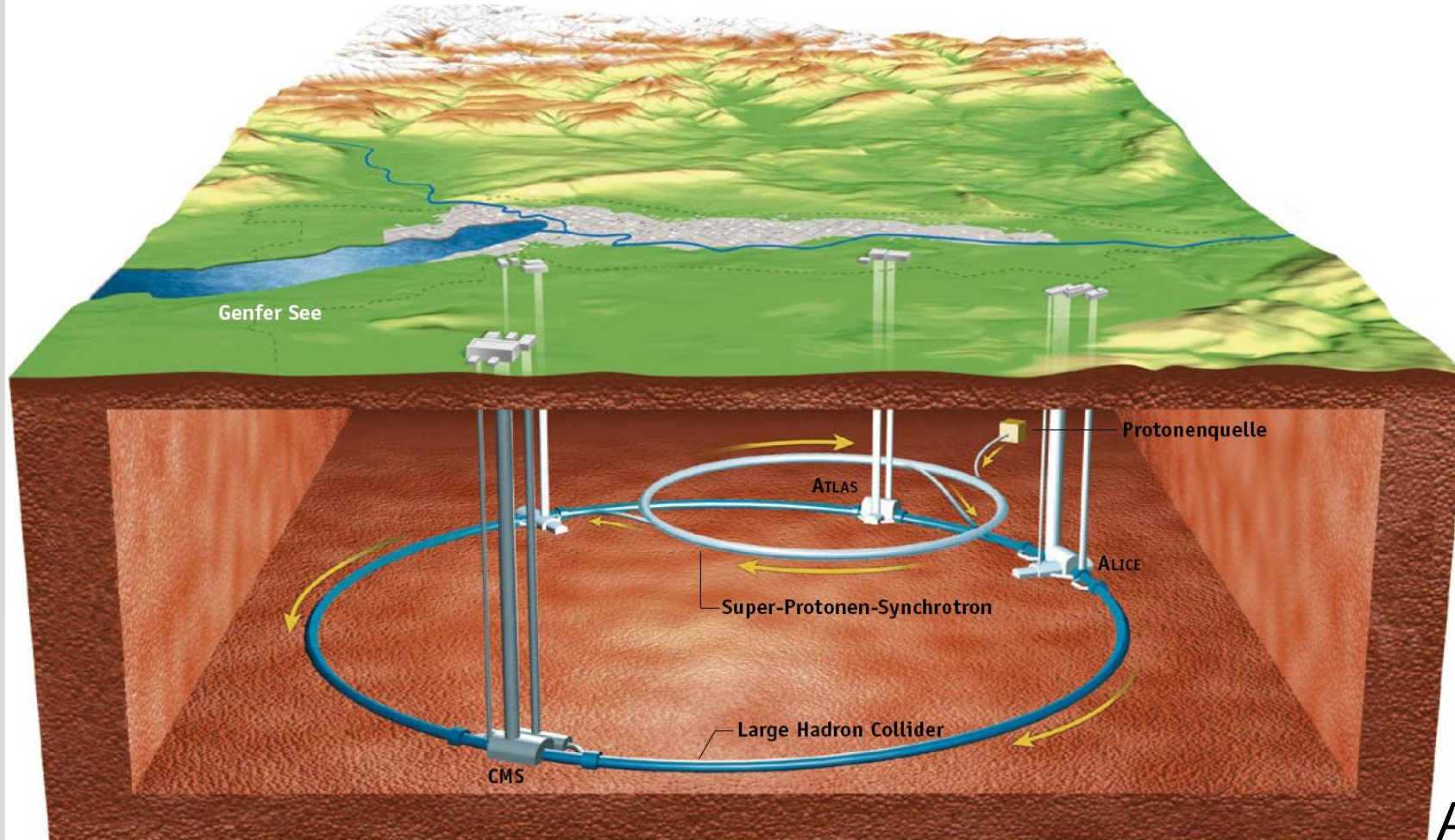
Supersymmetrie

Baryogenese

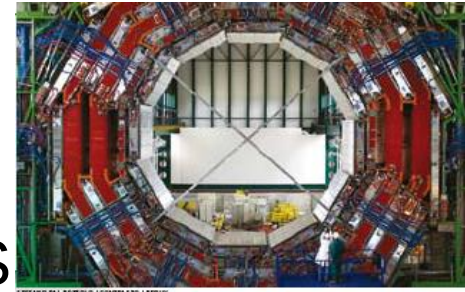
- Higgsmechanismus (Skalarfeld)
- Neutrinomassen ($\Rightarrow$ see-saw Mechanismus?)
- schwache/Planck Skala ($250 \text{ GeV} / 2.4 \times 10^{18} \text{ GeV}$)
- Stabilisierung eines leichten Higgs ($\Rightarrow$ SUSY?)
- Mechanismus der SUSY-Brechung?
- SUSY und dunkle Materie ($\Rightarrow$ LSP als WIMP?)
- via Leptogenese? ($\Rightarrow$ $\cancel{CP}$ -Zerfälle von ν_H)



Instrumentarium: LHC



CMS



LHCb



ATLAS



ALICE

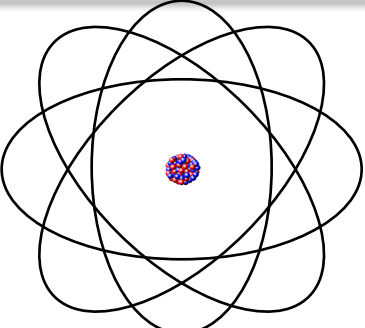
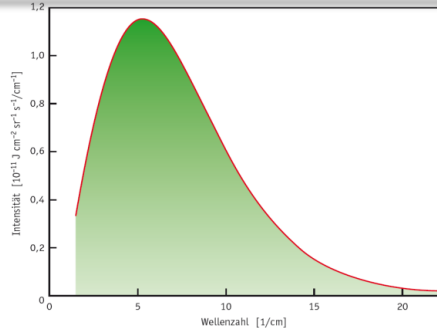
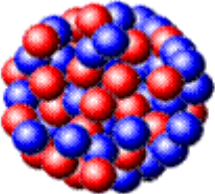
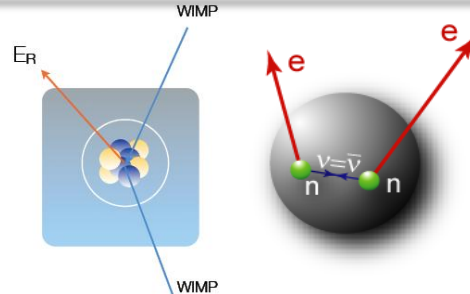
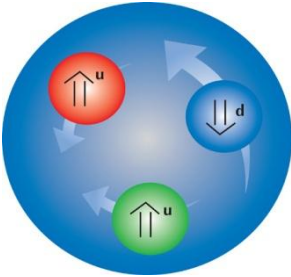


Instrumentarium: LHC

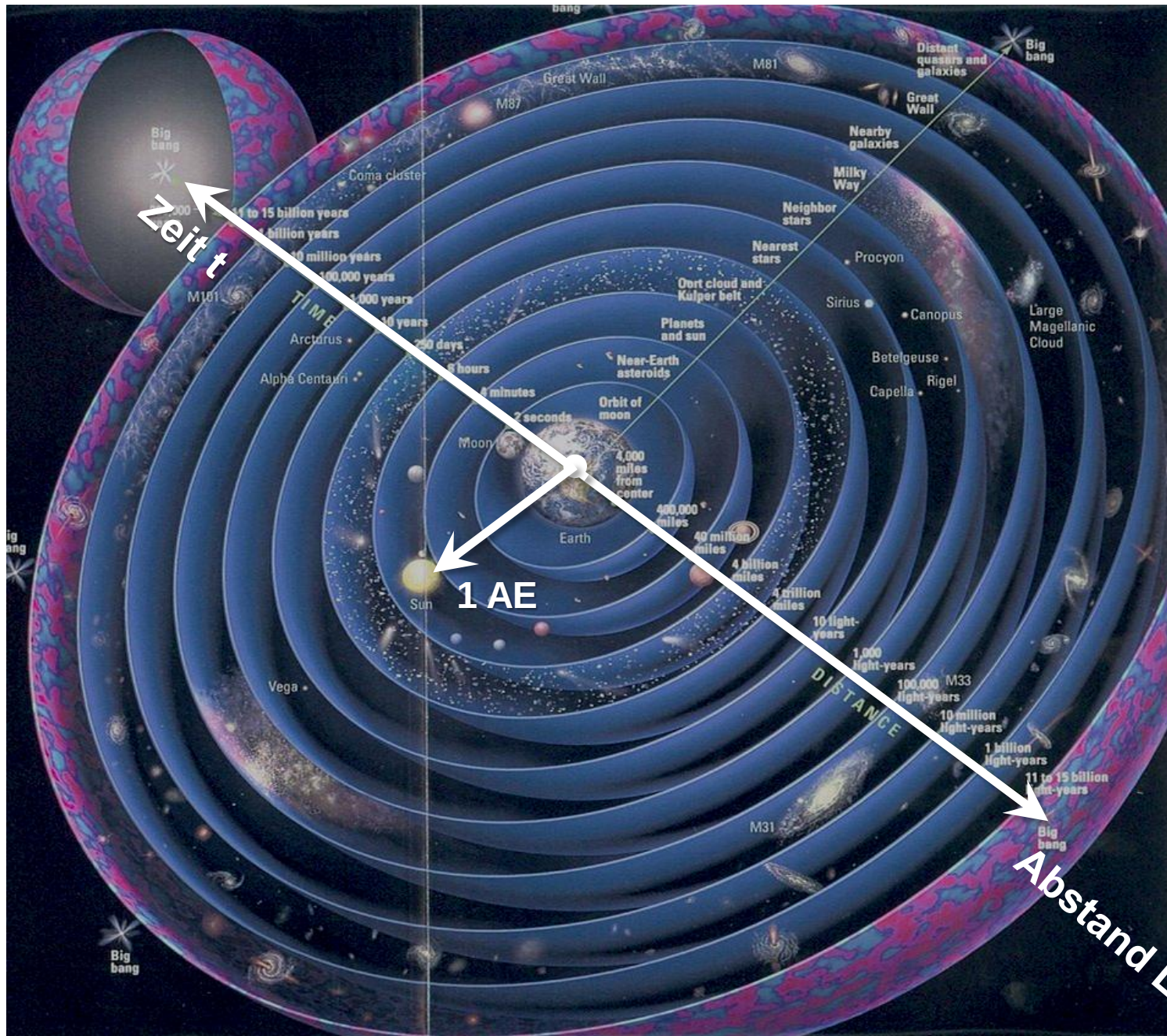


CERN –
In the golden age

Längenskalen der Teilchenphysik

	Atom: $R \sim 10^{-10} \text{ m}$		CMBR weiße Zwerge
	Kern: $R \sim 10^{-14} \text{ m}$		β & $\beta\beta$-Zerfall SNIa WIMP-Nachweis
	Nukleon: $R \sim 10^{-15} \text{ m}$		Neutronensterne BBN
	Quarks: $R < 10^{-19} \text{ m}$		ν-Wechselwirkung DM am LHC Big Bang

Längenskalen der Astrophysik/Kosmologie



Astronomische Skalen

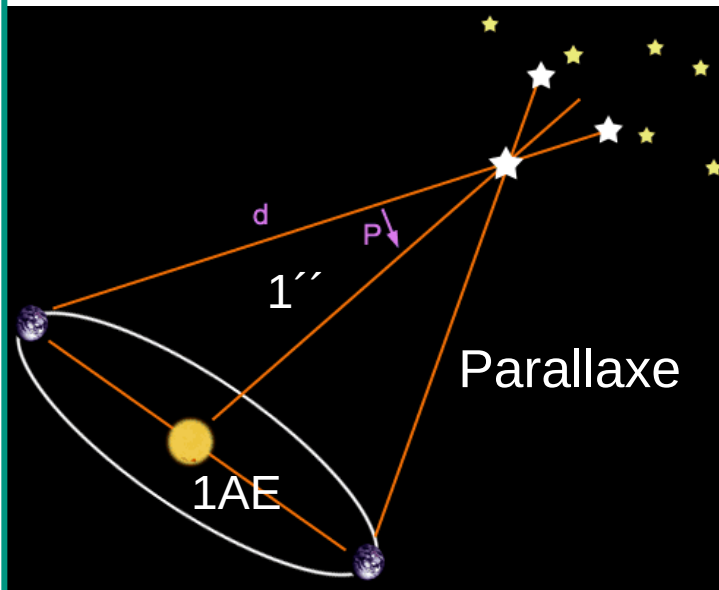
1 AE	$1.496 \times 10^{11} \text{ m}$
1 LJ	$9.461 \times 10^{15} \text{ m}$
	$= 63\,240 \text{ AE}$
	$= 0.3066 \text{ pc}$
1 pc	$3.086 \times 10^{16} \text{ m}$
	$= 2.06 \times 10^5 \text{ AE}$
	$= 3.262 \text{ LJ}$

AE: astronomische Einheit
große Halbachse der Erdbahn um Sonne

LJ: Lichtjahr
Lichtstrecke in $t = 1 \text{ a}$

pc: Parsec
Parallaxensekunde

Parallaxenmethode

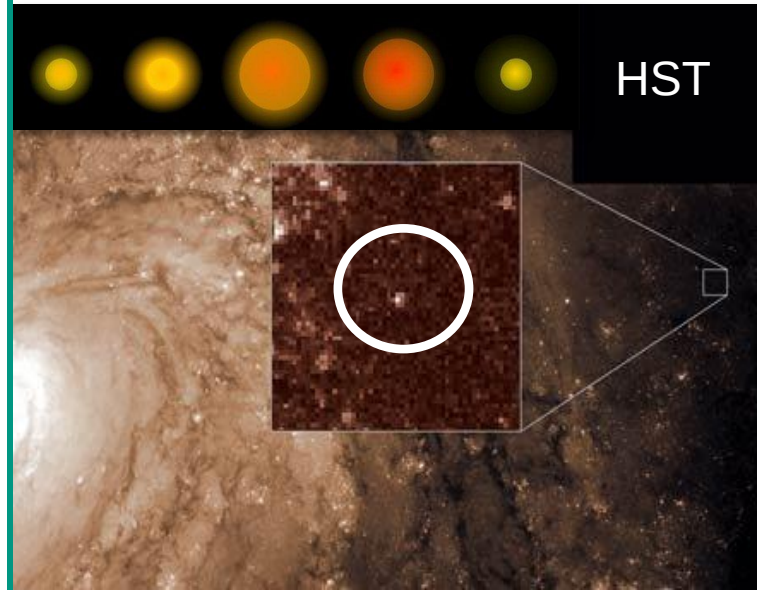


Parallaxe:

$1 \text{ pc} = 1 \text{ AE}$ unter $1''$ (as)
 $= 1 \text{ AE} \cdot 180 \cdot (3600/\pi)$
1989: Hipparcos (milli-as)
2013: ESA Mission GAIA
Auflösung $\delta\theta \sim 20 \mu\text{as}$

d = 1 pc – 5 kpc

δ -Cepheiden-Lichtkurven

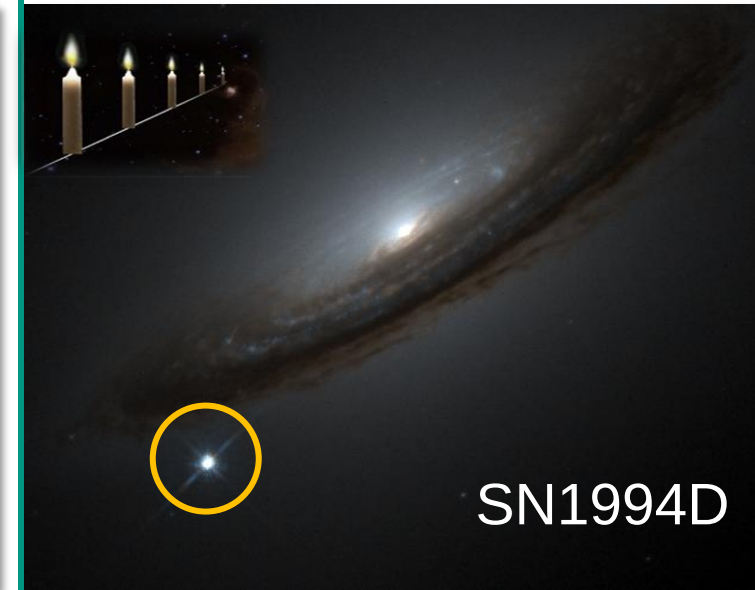


δ -Cepheiden:

pulsierende, leuchtkräftige
Riesensterne, aus der
beobachteten Pulsdauer
↪ absolute Leuchtkraft L
 $L_{\text{abs}} \sim 10^4 L_{\odot}$

d = 1 kpc - 50 Mpc

Supernova-Ia-Helligkeit



Supernovae Typ Ia:

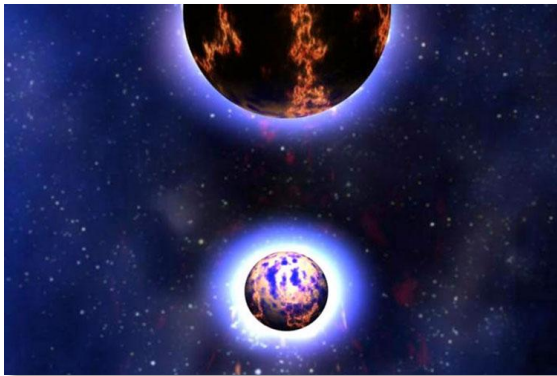
weißer Zwerg in Binär-
System: $M > 1.4 M_{\odot}$
(Chandrasekhar-Limit)
↪ Kernfusion ^{12}C , ^{16}O
Leuchtkraft $L_{\text{abs}} \sim 10^9 L_{\odot}$

d = 30 Mpc - 3 Gpc

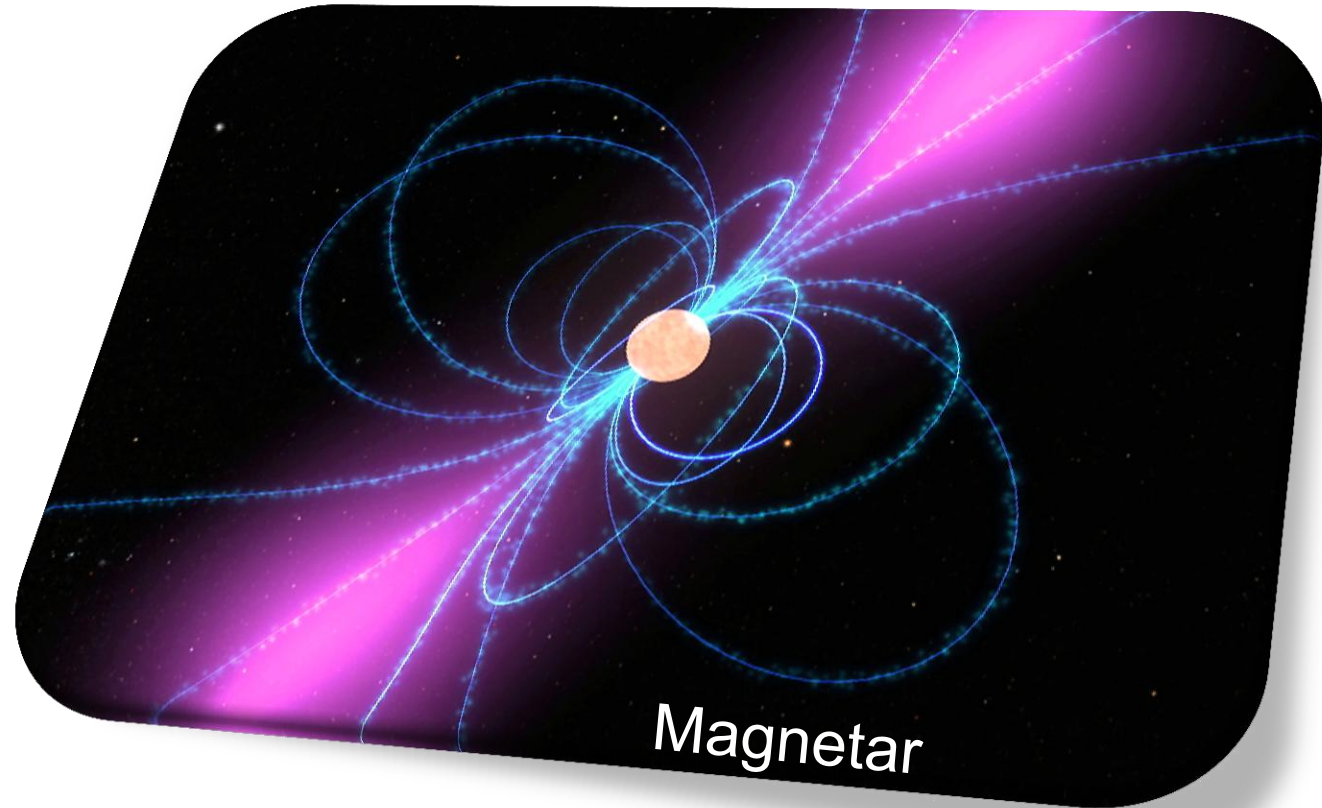
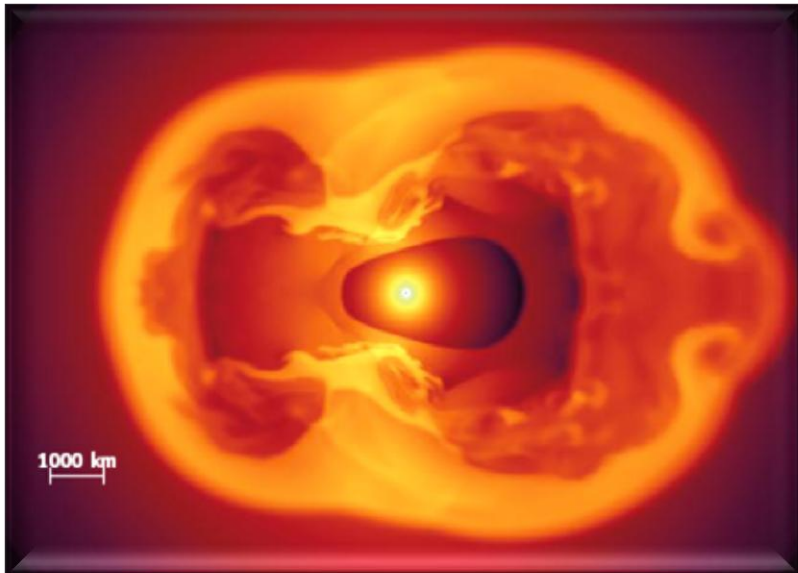
Kosmische Längenskalen: 10-1000 km

■ 10-1000 km:

- SNIIa: Proto-Neutronenstern & Emission eines Neutrinopulses
- Neutronensterne / Pulsare / Magnetare
- Gamma-Ray Bursts / Gravitationswellen: Binärsystem-Merger



kurzer
GRB

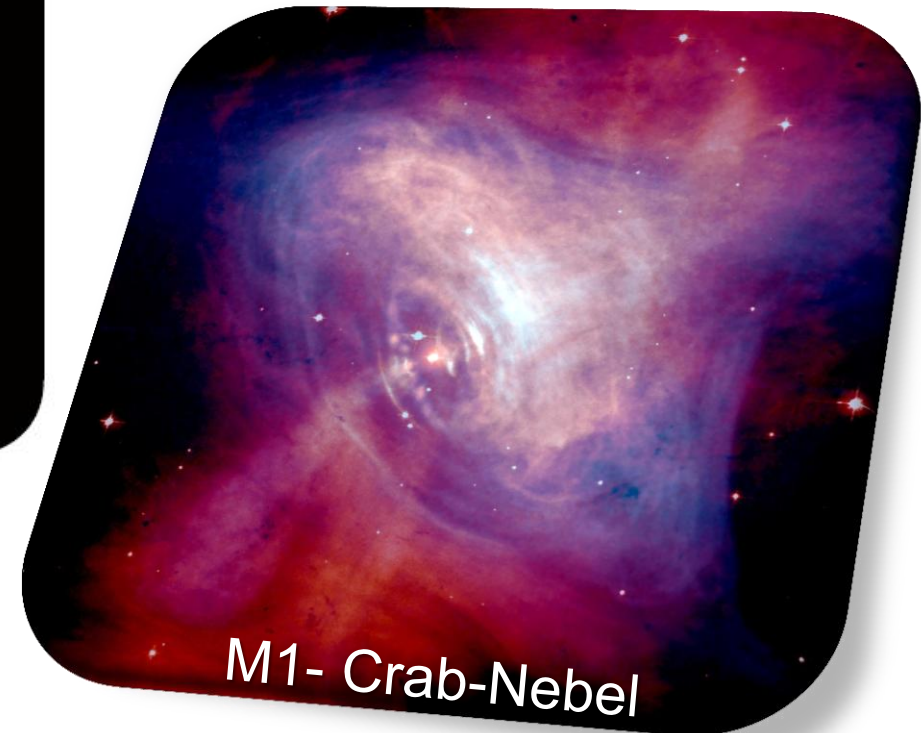
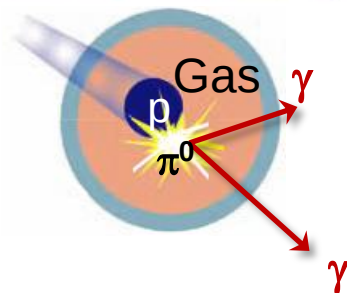
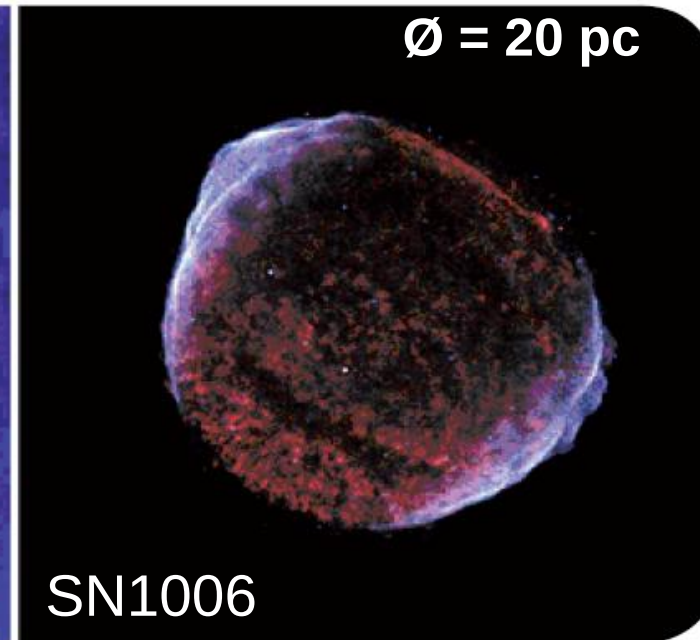
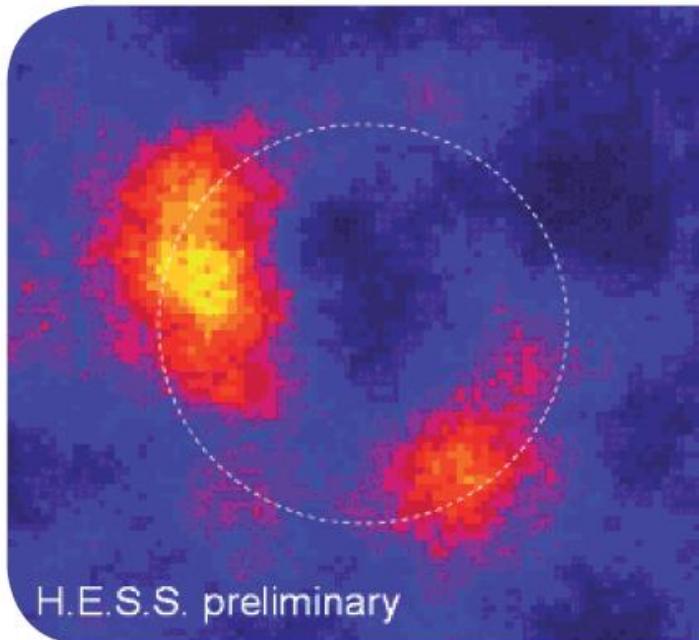


Magnetar

Kosmische Längenskalen: 1-100 pc

■ 1-100 pc: Supernova-Hüllen / Pulsarwind-Nebel

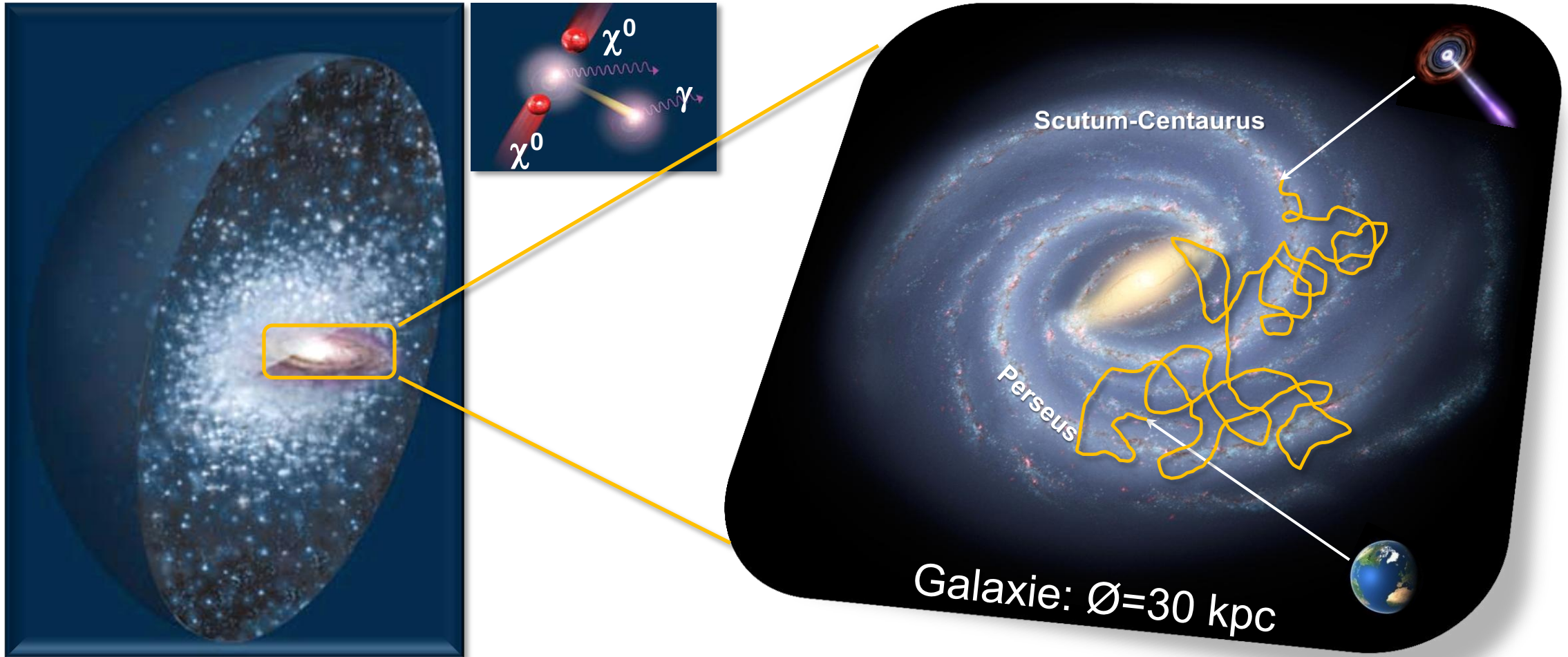
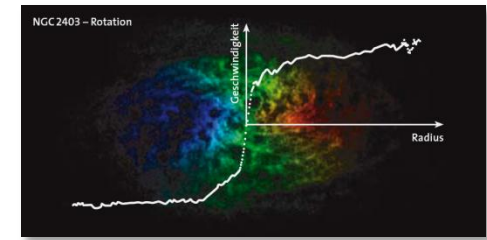
- Fermi-Beschleunigung der kosmischen Strahlung in SN-Schockfronten
- Fragestellung: hadronische/leptonische Beschleunigung
- Methode: Beobachtung von TeV Gamma Strahlung



Kosmische Längenskalen: 10-100 kpc

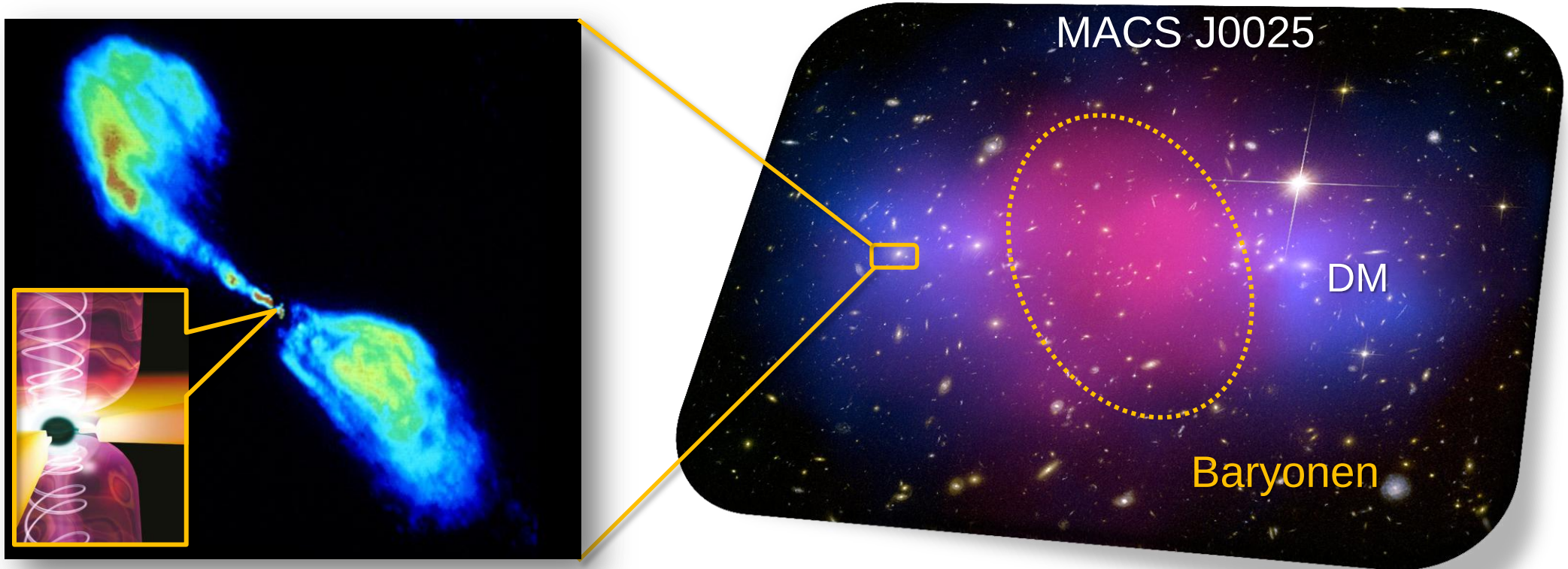
■ 10-100 kpc: Galaxien & DM-Halos

- Evidenz für dunkle Materie: Rotationsgeschwindigkeiten
Halo aus Dunkelmaterie (Größe & innere DM sub-Struktur?)
- galaktische Magnetfelder: Einschluss der CR bis $E \sim 10^{15}$ eV



■ 1-10 Mpc: Galaxiencluster (Bsp: Virgo-Cluster mit 2000 Galaxien)

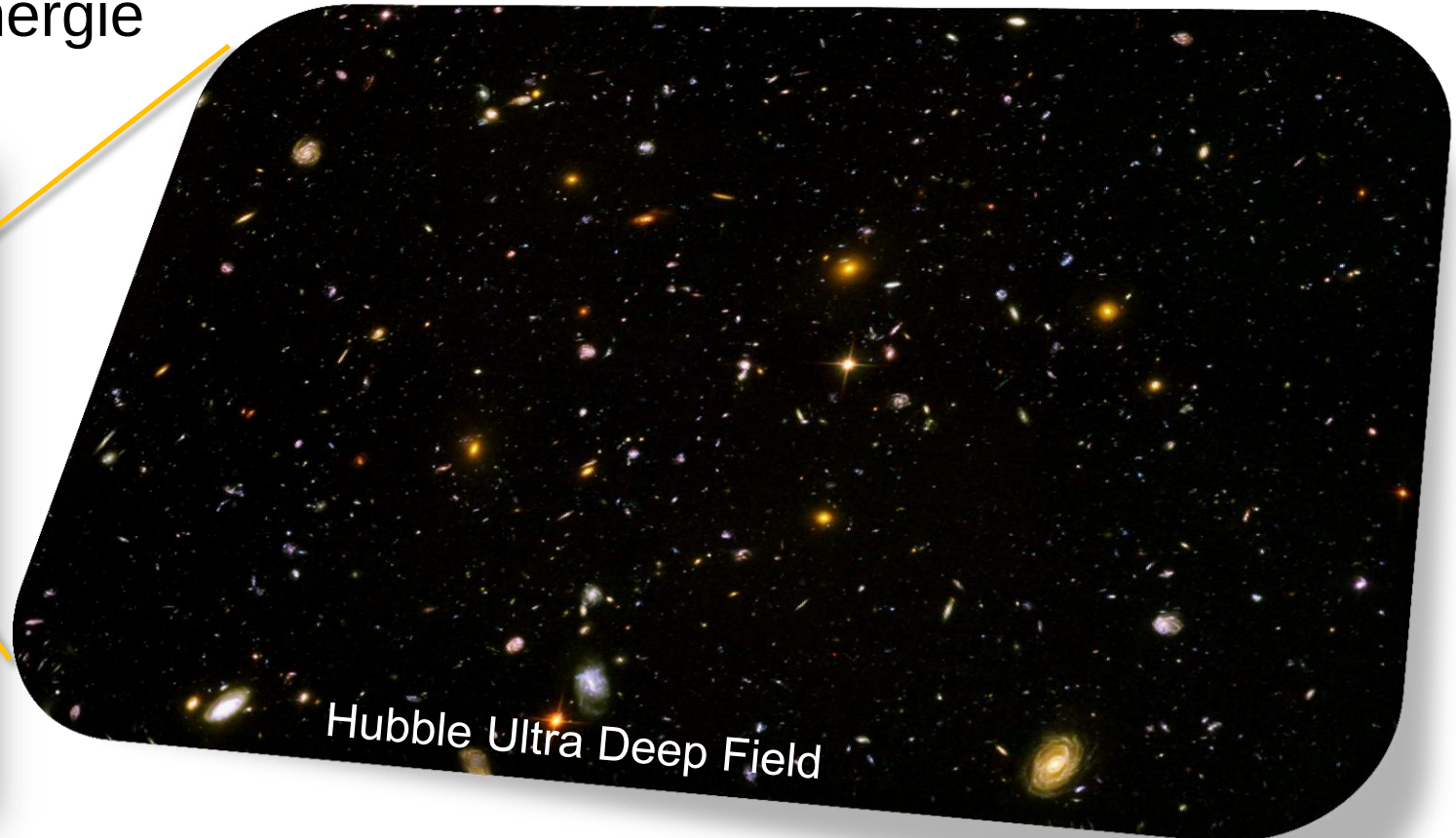
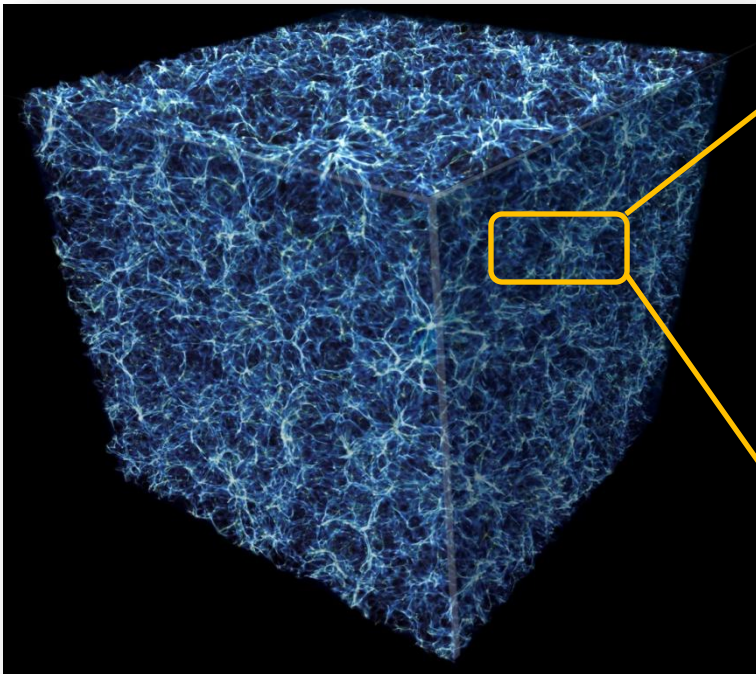
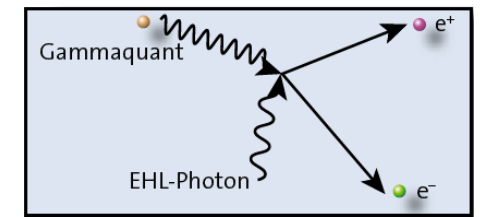
- Evidenz für dunkle Materie: Pekuliargeschwindigkeiten der Galaxien, Temperaturverteilung heißes Clustergas (X-rays), Gravitationslinsen, Cluster-Kollisionen: Trennung von DM und Baryonen
- zentrale Cluster-Galaxie: supermassives *black hole* mit *radio lobes*: Quellen höchstenergetischer kosmischer Strahlung bis $E = 10^{20}$ eV?



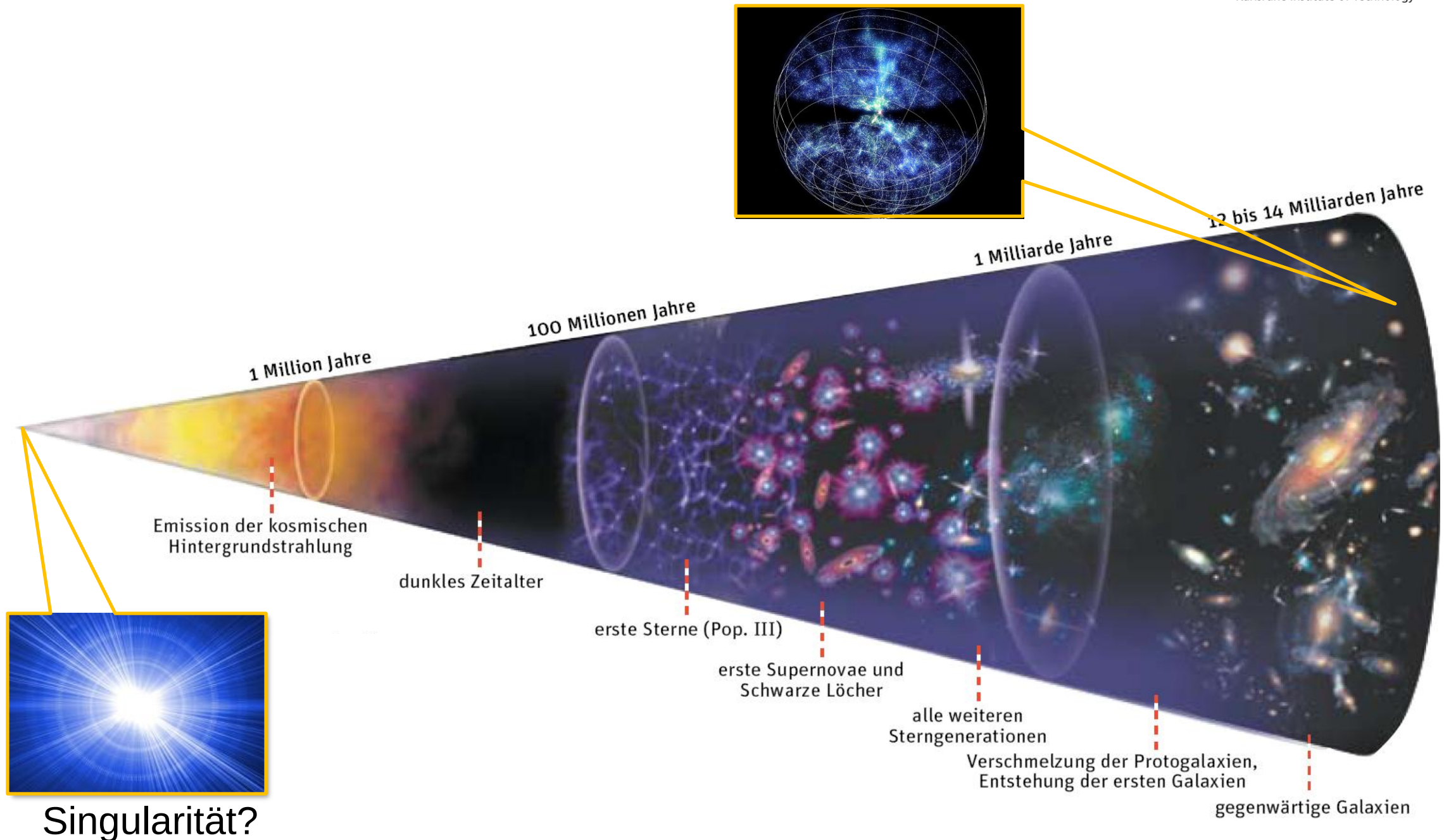
Kosmische Längenskalen: Gpc

0.1 – 10 Gpc: kosmologische Distanzen

- Propagation der kosmischen Hintergrundstrahlung (CMB): Gravitationspotenziale, CMB-Wechselwirkung mit CR's & TeV γ 's
- Strukturbildung: 'free streaming' der kosmischen Hintergrund-Neutrinos (CNB), 'large scale structures' (LSS) & ν -Masse
- SNIae & dunkle Energie
- weak lensing

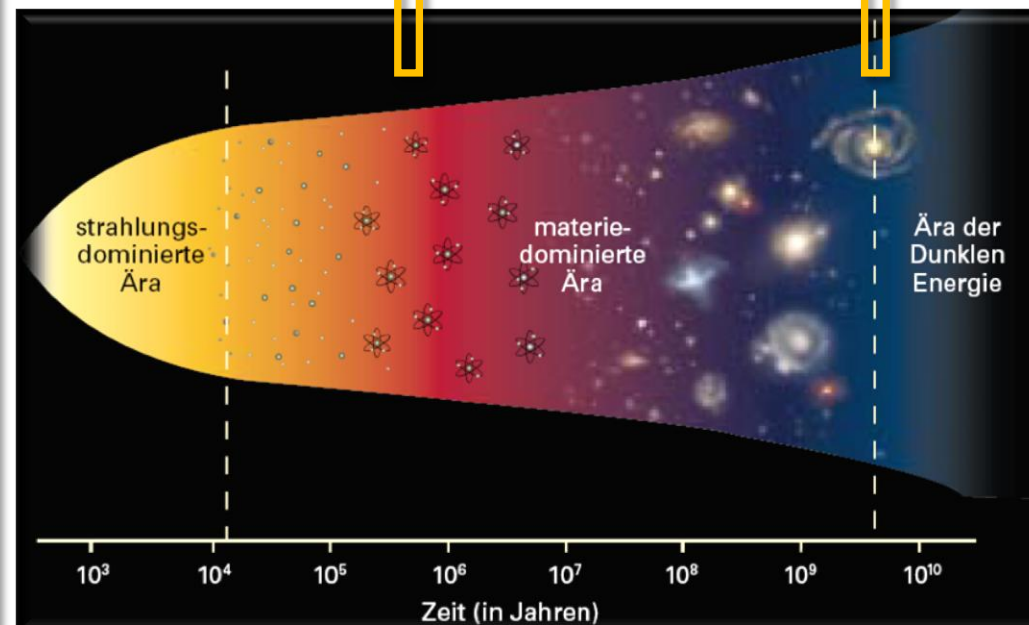
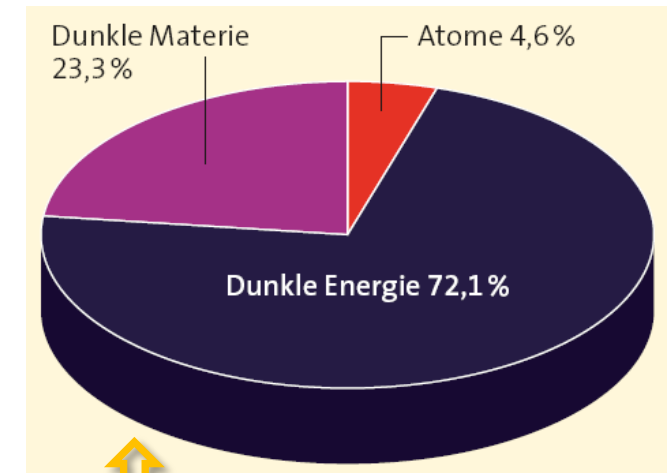
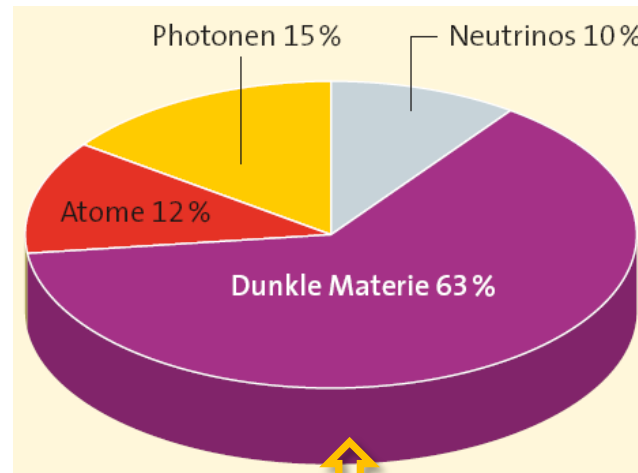
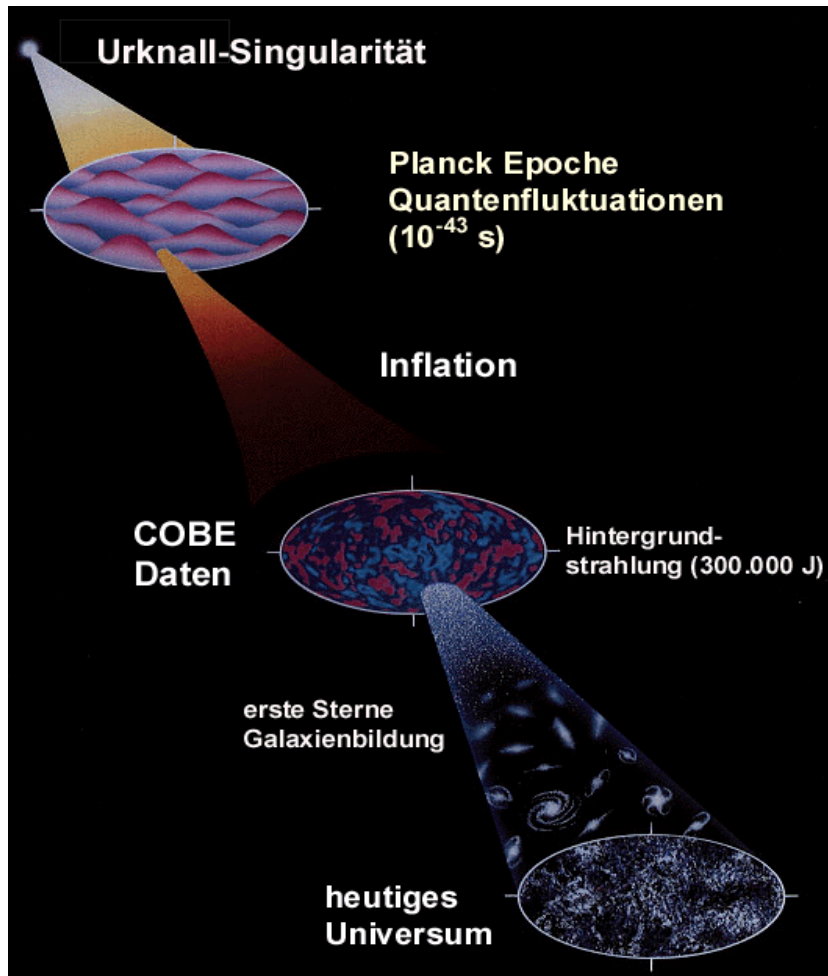


Kosmische Zeitskalen: Strukturbildung



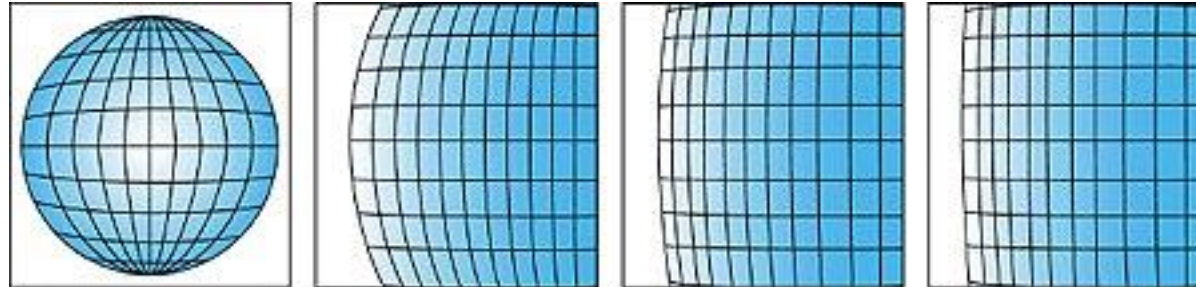
Kosmische Zeitskalen: die 4 Epochen

- **quanten**dominiertes – **strahlungs**dominiertes – **materie**dominiertes – Λ -dominiertes Universum

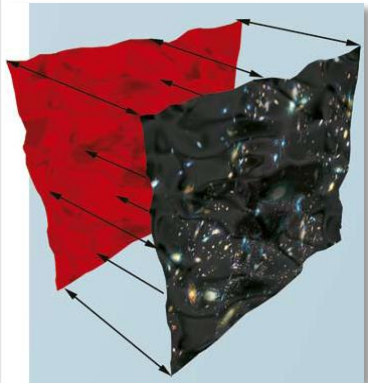


Λ : kosmologische Konstante

Der Radius des Universums



beobachtbares
Universum



Quanten-
gravitation

