

Moderne Physik: Elementarteilchenphysik, Astroteilchenphysik, Kosmologie

Ulrich Husemann
Humboldt-Universität zu Berlin
Sommersemester 2008

Termine

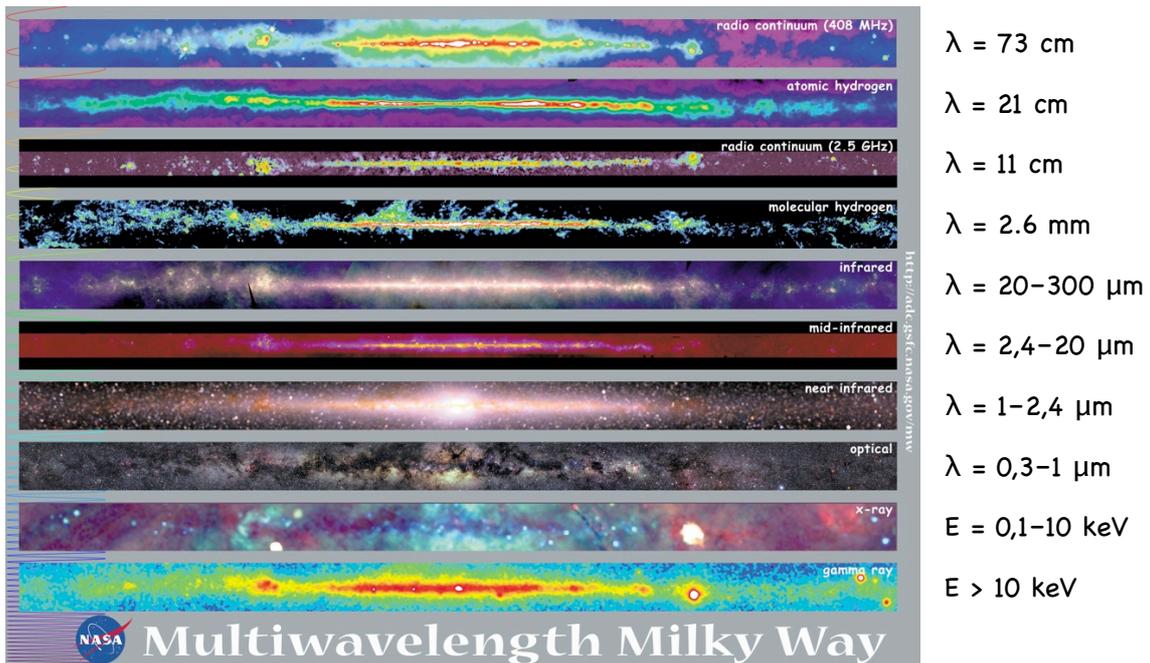
- Klausur
 - Prüfungsordnung sieht zweistündige Klausur vor
 - Termin: Donnerstag, 24.07.08
 - 9-11 Uhr s.t.
 - Raum: 2'101
 - Masterstudierende: 3 Wochen vor Beginn der Prüfungswoche anmelden (29.06.08)

Beobachtung des Weltalls

Beobachtung des Weltalls

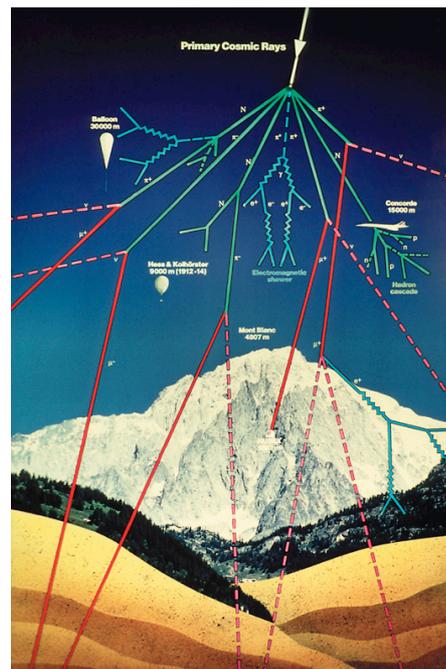
- Drei Klassen von Botenteilchen: Photonen, Neutrinos, geladene Teilchen
- Photonen → traditionelle Astronomie
 - Weites Spektrum von Radiowellen bis TeV-Gammastrahlung → viele Nachweismöglichkeiten (Teleskope, Satelliten)
 - Geradlinige Ausbreitung (bis auf Gravitationseffekte) → Richtungsinformation
 - Absorption bestimmter Wellenlängen → Elemente im Weltall
- Neutrinos:
 - Quellen: Sonne, Supernovae
 - Geradlinige Ausbreitung, aber schwieriger Nachweis

Milchstraße bei 9 Wellenlängen



Geladene Teilchen

- Hauptsächlich Protonen (89%) und Heliumkerne (10%) aber auch schwerere Kerne bis Eisen (1%)
- Ablenkung in kosmischen Magnetfeldern \rightarrow keine Richtungsinformation
- Primärteilchen induziert Schauer in Atmosphäre
- Messung direkt (Ballon, Satellit) oder indirekt (Luftschauerarray)



Teleskope und Satelliten

Radioteleskope

- Wellenlängenbereich: ca. 1 mm – 30 m
 - < 1 mm: Absorption in Atmosphäre, >30 m: Reflexion
 - Große Wellenlänge: ungenaue Winkelauflösung, z.B.
$$\sin \theta_R = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \theta_R \approx 1,22 \cdot \frac{0,21 \text{ m}}{300 \text{ m}} \approx 0.05^\circ$$
- Fokussierung mit Hohlspiegeln (rund oder parabolisch):
 - Arecibo: Durchmesser $d = 300 \text{ m}$ (statisch)
 - Effelsberg: Durchmesser $d = 100 \text{ m}$ (beweglich)
- Nachweis mit Mikro-/Radiowellenempfängern: kleine Signale → Empfänger heliumgekühlt zur Rauschreduktion

Radioteleskope



[Arecibo, Puerto Rico]



[Effelsberg, Eifel]

Teleskopanordnungen

- Verbesserung der Auflösung: Teleskopanordnungen, z.B. Very Large Array (VLA)
- Messe Korrelation zwischen Einzelsignalen → Interferenz
- Auflösung wie Einzelteleskop mit Durchmesser = größter Abstand zwischen Teleskopen (bis zu 36 km) → Auflösung < 1 Bogensekunde (= $1/3600$ Grad)



[VLA, New Mexico]

- Noch höhere Auflösung: Vernetzung von zehn 25-m-Teleskopen von Hawaii bis Virgin Islands

Optische Teleskope

- Wellenlängen: ca. 0,3–2 μm (optisch und nahes IR)
- Auflösungsgrenze: Turbulenzen in Atmosphäre → Standort Hochgebirge
- Spiegeldurchmesser $\leq 10\text{ m}$ → mechanische Stabilität
- Schlüsseltechnologien:
 - CCD (charge coupled device)
 - Aktiv regulierende Spiegel



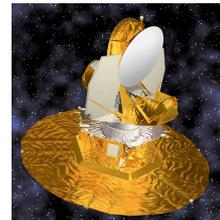
[Mauna-Kea-Vulkan, Hawaii, ca. 4200 m]

Satellitenexperiment

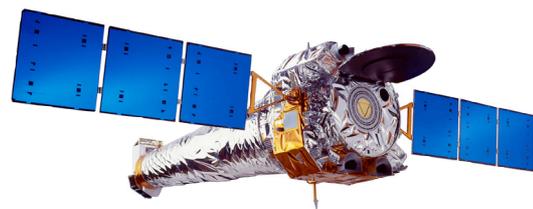
- Satelliten-Teleskope
 - Keine Störung durch Atmosphäre
 - Kleinere Durchmesser
- Beispiele:
 - Hubble Space Telescope: optisch und nahes IR
 - Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP): Mikrowellenhintergrund ($\lambda = 1,9\text{ mm}$)
 - Chandra: Röntgenteleskop



[Hubble Space Telescope]



[WMAP]

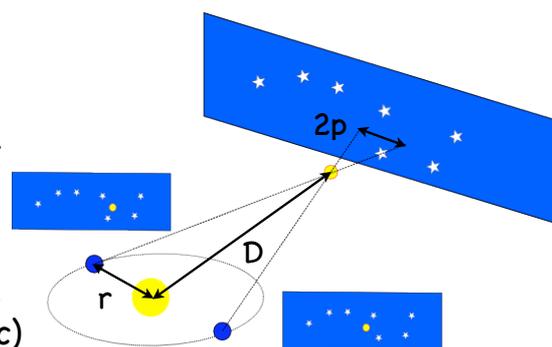


[Chandra]

Entfernungsmessungen im Weltall

Trigonometrische Parallaxe

- Parallaxe:
 - Scheinbare Verschiebung „naher“ Objekte relative zu weit entfernten Objekten („Fixsterne“)
 - Entfernungen im Universum: Parallaxesekunde (Parsec, pc)
 - $1 \text{ pc} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}$
 - Alte Einheit: 1 Lichtjahr (LJ) = $0,946 \cdot 10^{16} \text{ m} = 0,307 \text{ pc}$
- Limit: Winkelauflösung des Teleskops $\rightarrow D < 1 \text{ kpc}$



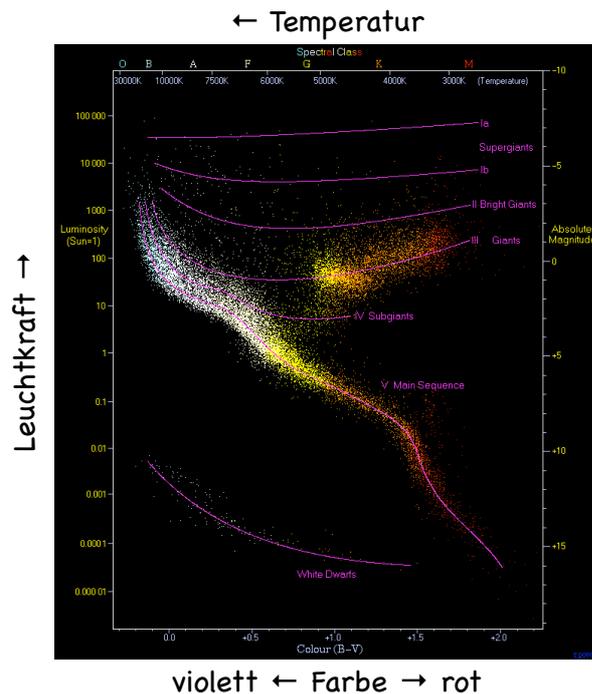
$$\tan p \approx p = r/D$$

$$\text{mit } r = 149,6 \cdot 10^9 \text{ m} = 1 \text{ AU (astronomical unit)}$$

$$\text{und } p = 1'' = 1/3600 \cdot 2\pi/360^\circ$$

Farbe-Leuchtkraft-Beziehung

- Hertzsprung-Russell-Diagramm: Beziehung von Farbe (Temperatur) und Leuchtkraft
- Sterne der Hauptreihe: Gleicher Prozess (Fusion von Wasserstoff zu Helium) → gleiche Leuchtkraft



Moderne Physik (PK 23a), HU Berlin, Sommersemester 2008, Vorlesung 7

15

Spektroskopische Parallaxe

- Scheinbare Helligkeit (apparent magnitude) nimmt mit Entfernung ab → Eichung der „absoluten Helligkeit“ (absolute magnitude, scheinbare Helligkeit, wenn Objekt 10 pc entfernt wäre)
 - Leuchtkraft L (abgestrahlte Energie pro Zeit) → Fluss durch Kugel mit Radius D : $S = L/(4\pi D^2)$
 - Scheinbare Helligkeit m und absolute Helligkeit M ($D_M = 10$ pc)

$$m - M = -2,5 \cdot \log_{10} \left(\frac{S_m}{S_M} \right) = -2,5 \cdot \log_{10} \left(\frac{D_M}{D_m} \right)^2 = 5 \cdot \log_{10}(D_m/\text{pc}) - 5$$
- Neuer Sternhaufen: Messe Farbe und scheinbare Helligkeit vieler Sterne der Hauptreihe → vertikale Verschiebung zu bekannter Hauptreihe → Entfernung (geeignet bis zu 10 Mpc)

Moderne Physik (PK 23a), HU Berlin, Sommersemester 2008, Vorlesung 7

16

„Standardkerze“ Supernova

- Supernovae (SN) vom Typ Ia
 - Nach Ende der Kernfusion: Sterne werden zu „weißen Zwergen“ → stabil so lange Pauli-Prinzip gegen Gravitation wirkt (bis zu 1,4 Sonnenmassen, Chandrasekhar-Limit)
 - Doppelsternsystem: weißer Zwerg kann Masse von Partnerstern annehmen („Akkretion“) → Masse überschreitet Chandrasekhar-Limit → Gravitationskollaps → unkontrollierte Fusion von Kohlenstoff und Sauerstoff → Explosion
 - Alle Typ-Ia-SN haben \approx gleich Masse → \approx gleiche absolute Helligkeit
 - Messung der scheinbaren Helligkeit → genaueste Entfernungsmessung bis zu ≈ 200 Mpc (5% Unsicherheit)

Themen für Übung

- Wie funktioniert ein CCD-Sensor?
- Hubble Space Telescope