

Name:

=====

Matrikel-Nr.:

=====

Punkte:

Note:

## Einführung in die Astronomie III

### 2. Test am 27.1.2011

(erreichbare Punktzahl steht in Klammern; **insgesamt: 50 Punkte**

im Falle von Platzknappheit, bitte auch die **Rückseite benutzen!**)

1. (4) Wie geschieht der Einfall einer **Satelliten-Galaxie** in eine viel massereichere Muttergalaxie und welche Effekte bewirkt er auf die Satelliten-Galaxie selbst und auf die Muttergalaxie?

Energieverlust für Satellit auf kreisförmigen/elliptischen Orbits mit abnehmender Halbachse, wobei sie im Perigalaktikum auseinander gezogen (*stretching*) und im Apogalaktikum zusammen gequetscht (*crushing*) wird wg Geschwindigkeitsdifferenz innerhalb Sternsystems; radiales *Stretching* durch Gezeitenkraft Muttergalaxie; rotierendes Gravitationspotential durch *tidal torque*; oszillierende Äquipotentiallinien. Deshalb Verlust von Sternen, Bildung Sternströme (*tidal streams*).

Muttergalaxie erleidet Potentialstörungen, was zur Scheibenverdickung (*disk thickening*), *Warps* und Verbiegung der Spiralarme führt. Evtl. auch Ausbildung (*triggering*) eines Balken und vermehrte Sternentstehung.

2. (4) **Clustering Scales**

Welche Strukturen und Skalen unterscheidet man bei der Galaxienverteilung im Universum? Geben Sie typische Werte für die physikalischen Größen!

Feldgalaxien	~50-100 kpc		$10^{12}$ Mo
Paare, Triplets	~100-500 kpc		
Gruppen	~1.5 Mpc	~10-200 Gal.	$10^{13}$ Mo
Haufen	~5-10 Mpc	~100-2000 Gal.	$10^{14-15}$ Mo
Superhaufen, Voids	~50 Mpc	>5000 Gal., Einige	

### 3. (20) Galaxienhaufen

- a) (4) Anhand welcher Merkmale werden Galaxienhaufen erkannt? Was sind gängige Suchmethoden und Detektionskriterien?

*Clustering* Kriterium erfüllt (s. z.B. Tully Group catalog), erhöhte projizierte Anzahldichte (Abell), Ansammlung Galaxien mit gleichen Raumpositionen und Rotverschiebungen.

- *Matched-filter technique* (räumliche und Leuchtkraftverteilung)
- *Red-sequence fitting* (Farbe der Ellipsen)
- *Lensing*
- Ausgedehnte Röntgenquelle (*intra-cluster medium*)
- Sunyaev-Zeldovich Effekt (Verschiebung des CMB)

- b) (3) Wie sind Galaxien-Typen im Haufen verteilt?

In reichen, alten Haufen Morphologie-Dichte-Relation: Zentrum von roten Riesenellipsen und S0-Galaxien dominiert (oft 1 cD-Galaxie), nach aussen hin Zunahme der Spiralen, Abnahme Ellipsen, S0. Bei  $z > 0.2$ , Zunahme Anteil blauer Galaxien (Butcher-Oemler Effekt). Bei symmetrisch kompakten Haufen auch Morphologie-Radius-Relation.

- c) (6) Wie sieht die **Leuchtkraftfunktion**  $dN(L)/dL$  von **Galaxien in Haufen** (z.B. Virgo-Haufen) aus (bitte Funktion zeichnen und beschreiben; Helligkeitsbereich!)? Wie heißt die Funktion und wie setzt sie sich aus den morphologischen Galaxientypen zusammen?

(Press-) Schechter-Leuchtkraftfunktion der Anzahldichte  $\phi$  pro Helligkeitsintervall mit exponentiell abfallendem Teil zu grossen Helligkeiten und ansteigendem Teil mit Potenz  $\alpha$  zum schwachen Ende hin mit Übergang bei „charakteristischer Helligkeit“  $L^*$ :

$$\phi(L)dL = \phi^* (L/L^*)^\alpha \exp(-L/L^*) dL/L^*$$

mit  $L^* \sim 10^{10} L_B$  und  $\alpha \sim -1.2$  und  $\phi^* \sim 0.01/\text{Mpc}^3$

Einzelne morph. Klassen folgen jedoch in Haufen einer Gaussfunktion.

d) (4) Welchen **Umgebungseinflüssen** sind Galaxien in einem Galaxienhaufen während ihrer Entwicklung ausgesetzt? Welche Auswirkungen haben diese?

- Gezeitenwechselwirkung zwischen Galaxien (*fly-bys, passages*): Ausbildung von Armen, Brücken etc, *Warps* in Scheibe, Verlust von ISM-Gas, angeregte Sternentstehung, Kugelhaufen.
- Verschmelzungen (*major, minor mergers*), selten wg. hoher Relativgeschwindigkeit: wie oben, jedoch auch Bildung einer Elliptischen Galaxie möglich
- *Harassment*: schnelle, wiederholte *fly-bys* und Streuung an variierendem Haufenpotential: Verlust von Gas und Sternen, morpholog. Umwandlung
- Staudruckphänomene (*ram-pressure stripping*) zwischen ISM und ICM: zuerst Kompression ISM (angeregte Sternentstehung?), dann Verlust von Gas, Unterdrückung Sternentstehung

e) (3) Was verursacht die **Röntgenstrahlung** in Haufen (Anregungsmechanismen)? Geben Sie typische Werte für die Temperatur, Dichte, Leuchtkraft und Metallizität des ICM!

Thermische Bremsstrahlung (frei-frei Übergänge) und hoch-ionisierte Linienemission (Übergänge in K oder L-Schale) des Plasmas (*intra-cluster medium*).

$T \sim 10^{(6...8)} \text{ K}$  [1...50 keV],  $\rho \sim 10^{(-4...-3)} \text{ Atome/cm}^3$ ,  
 $L \sim 10^{(42...45)} \text{ erg/s}$ ,  $Z \sim 0.2...0.4 \text{ solar}$

4. (6) Wodurch entsteht der Gravitationslinsen-Effekt? Was versteht man unter dem Einsteinradius?

Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt Massen als Raumkrümmung, der auch Lichtstrahlen folgen müssen. Steht Objekt (Galaxie, Quasar) hinter grosser Massenansammlung (Galaxienhaufen) wird Licht abgelenkt und es entstehen Kreisbögen (*strong lensing*); wenn Quelle und Linse auf einer Achse des Sehstrahls kommt es zum Einsteinring.

Einsteinradius: Ablenkwinkel des Lichtstrahls, Radius des Rings  
 $\vartheta = (4GM/c^2 D_{ls}/D_{os} \cdot D_{ol})^{(1/2)}$

## 5. (12) Galaxienentwicklung

- a) (2) Welche Grundvorhersage trifft die Theorie der Kalten Dunklen Materie?

Hierarchisches Wachstum der Strukturen: erst bilden sich kleine Halos Dunkler Materie mit kleiner Masse, die nach und nach zu grösseren, massereicheren Halos verschmelzen (*merger tree*).

- b) (1) Was ist die Rückblickzeit?

Durch die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit entspricht die Entfernung eines Objekts einem Rückblick in der Zeit, d.h. bei Objekten mit hoher Rotverschiebung sehen wir den anfänglichen Entwicklungszustand. Der Zusammenhang zwischen Rückblickzeit und Rotverschiebung ist nicht linear.

- c) (2) Was sind photo-z? Wie bestimmt man sie?

Ermittlung der Rotverschiebung nicht durch Spektroskopie, sondern durch photometrische Beobachtungen verschiedener Filter, deren Farben eine grobe spektrale Energieverteilung (SED) liefern. Durch Vergleich (Fit) mit bekannten SEDs naher Galaxien, die „rotverschoben“ werden, bekommt man eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die passendste Rotverschiebung und den spektralen Typ des Objekts.

- d) (1) Wie entwickelt sich die Leuchtkraftfunktion mit  $z$ ?

Charakteristische Leuchtkraft  $L^*$  wird mit  $z$  heller, Anzahldichte der  $L^*$ -Galaxien nimmt ab.

e) (1) Was ist passive Entwicklung?

Die Leuchtkraft und andere Galaxienparameter ändern sich nur aufgrund der zeitlichen Entwicklung der Sternpopulation. Insbesondere bei Ellipsen gibt es das Szenario eines kurzen *Starbursts*, bei dem am Anfang einmal eine Generation von Sternen entsteht, die sich danach nur nach ihren stellaren Entwicklungswegen (im HRD) ändern.

f) (1) Was versteht man unter *down-sizing*?

Im Gegensatz zur von CDM Modellen vorhergesagten hierarchischen Strukturbildung (mass assembly), ist das mittlere („lichtgemittelte“) Alter der Sterne in Galaxien kleinerer Masse jünger als in massereicheren. Die Epoche höchster Sternentstehung verschiebt sich von hohen zu niedrigen Rotverschiebungen, wenn man von massereichen zu massearmen Sternsystemen geht.

g) (2) Welche Suchmethoden nach hochrotverschobenen Galaxien gibt es? Nenne vier Beispiele!

- *drop-out technique*: Ausnutzung des Lyman- $\alpha$  breaks: unterhalb („blauere“ Wellenlängen) der Lyman- $\alpha$  Kante bei  $912\text{\AA}$  wird kein Licht mehr empfangen.

- *extremely red object* (ERO) mit  $(R-K) > 6$  &  $K > 17$  kann massive Ellipse mit alter, roter Sternpopulation bei hohem  $z$  sein (aber auch sehr staubreiche, nahe Galaxie).

- Lyman- $\alpha$  emitters durch Detektion der starken Emissionslinie mit Schmalbandfilter; Ionisierung der Linie durch massereiche OB Sterne oder AGN.

- Lyman- $\alpha$  Wald: Gaswolken zwischen Beobachter und hellem Hintergrundobjekt (Quasar) verursachen Absorptionslinien im Spektrum.

- h) (2)** Was ist die kosmische Sternentstehungsgeschichte und wie verläuft sie qualitativ?

Integration über gesamte Sternentstehung im Universum für verschiedene kosmologische Epochen ( $z$ ) bzw. Dichte der Sternentstehungsraten gemittelt über alle Objekte als Funktion der Rückblickzeit. Im Lilly-Madau-Plot erkennt man einen steilen Anstieg bis  $z=1$ , ein Plateau bis ca.  $z=3$  und danach einen Abfall.

- 6. (2)** Woran erkennt man die Expansion des Universums? Was gibt die „Hubble-Konstante“ wieder?

„Hubble“ Expansion: Galaxien, die weiter von uns entfernt sind, bewegen sich schneller von uns weg.

Hubble-Konstante (heutiger Wert) ist linearer Koeffizient in Beziehung zwischen Entfernung und Radialgeschwindigkeit ( $v = H r$ ).

In der ART-Kosmologie ist sie die (normierte) zeitliche Ableitung des Skalenradius.

- 7. (2)** Welche Fakten lassen sich aus der **Kosmischen Hintergrundstrahlung** für die kosmologische Entwicklung ableiten?

Relikt der Explosion des Urknalls (*Big Bang*). Durch Expansion Universum kühlt sich die Strahlung ab. Heutige Energiedichte entspricht 2.7 K. Spektrale Energieverteilung des CMB entspricht einer Planckkurve eines Schwarzkörperstrahlers sehr genau mit geringen Fluktuationen  $\Delta T/T \sim 10^{-5}$ , aus denen sich Massenhalos entwickelt haben. Isotrope Verteilung entspricht kopernikanischem, kosmologischem Prinzip.