



Allgemeine Regeln

- Die Bearbeitungszeit der Klausur beträgt *eine Stunde* (60 Minuten).
- Außer eines Taschenrechners sind *keine Hilfsmittel* erlaubt.
- *Alle Fragen sind zu bearbeiten.*
- Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt **50 Punkte**.
- Schreiben Sie *ausschließlich* in die schwarz umrahmten Kästen. Am Ende der Klausur befindet sich zusätzlicher Raum, sollte der vorgegebene Platz nicht ausreichen.

Nützliche Konstanten und Formeln

Astronomische Einheit	$1 \text{ AU} = 150 \times 10^6 \text{ km} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$
Parsec	$1 \text{ pc} = 206265 \text{ AU}$
Jahreslänge	$1 \text{ Jahr} = 365.25 \text{ Tage}$
Tageslänge	$1 \text{ Tag} = 86400 \text{ s}$
Stefan-Boltzmann Konstante	$\sigma_{\text{SB}} = 5.7 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Gravitationskonstante	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Sonnenmasse	$M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$
Sonnenleuchtkraft	$L_{\odot} = 3.9 \times 10^{26} \text{ J s}^{-1}$
Lichtgeschwindigkeit	$c = 300000 \text{ km s}^{-1}$
Hubble-Parameter	$H_0 = 71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

Bitte füllen Sie die folgende Information *in Druckbuchstaben* aus und vergessen Sie später nicht, Ihre Matrikelnummer auf den Kopf jeder einzelnen Seite der Klausur zu schreiben!

Name:

Matrikelnummer:

Studienfach:

Semesterzahl:

Frage 1: Die Radiogalaxie Cygnus A

Die Radiogalaxie Cygnus A hat eine Radio-Flussdichte von $2.18 \times 10^{-27} \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$ bei einer Frequenz von 10^3 MHz . Die Rotverschiebung der Galaxie ist $z = \Delta\lambda/\lambda = 0.057$.

- a) Bei welcher Frequenz wird die beobachtete Strahlung im Ruhesystem der Quelle ausgesandt? (1 Punkt)
- b) Was ist die Entfernung der Quelle? (Angabe in Mpc) (1 Punkt)
- c) Bestimmen Sie Radioleuchtkraft von Cygnus A unter der Annahme, dass das Radiospektrum der Quelle flach ist ($F_\nu \propto \nu^0$) und dass die Breite des Radiobandes $\Delta\nu = 10^4 \text{ Hz}$ ist. (2 Punkte)
- d) Was ist die *minimale* Menge an Wasserstoff, die notwendig wäre, Cygnus A für 10^8 Jahre bei dieser Leuchtkraft strahlen zu lassen, was ist realistisch, wenn Sie Akkretion als Erzeugungsmechanismus annehmen? (4 Punkte)
- e) In Cygnus A werden zwei Jets beobachtet, deren Helligkeit sich um den Faktor $R = 12$ unterscheidet. Was ist die Ursache für dieses Phänomen? (2 Punkte)
- f) Ein AGN Jet mit einem Winkel θ zu unserer Sichtlinie stosse einen "Blob" aus, der sich entlang der Jetachse mit der Geschwindigkeit $\beta = v/c$ bewege. Im Ruhesystems des Blobs sende er ein Potenzgesetzspektrum aus: $F(\nu_{\text{obs}}) \propto \nu^\alpha$ mit einem Spektralindex α . Um welchen Faktor unterscheidet sich der beobachtet Fluss gegenüber dem im Ruhesystem ausgesendeten Fluss für $\beta = 0.5$ und $\alpha = -0.5$ maximal? (6 Punkte)

Hinweise:

- 1) Der relativistische Dopplerfaktor ist definiert als

$$\mathcal{D} = \frac{1}{\gamma(1 - \beta \cos \theta)}$$

mit $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$.

- 2) Der relativistische Dopplerfaktor bestimmt die beobachtete Helligkeit des "Blobs" durch

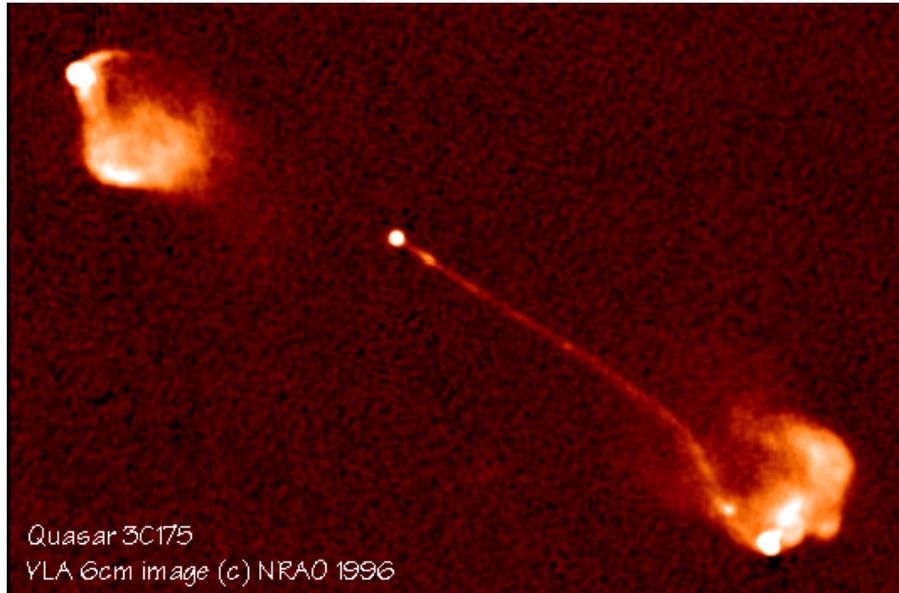
$$F(\nu_{\text{obs}}) = \mathcal{D}^{3-\alpha} F(\nu_{\text{em}}) \quad .$$

Frage 2: Linienemission und -diagnostik

- a) Wie ändert sich die Form einer relativistisch verbreiterten Eisenlinie mit der Inklination? (Skizze!) (4 Punkte)
- b) Was läßt sich über die Eigenschaften der Broad Line Region aus der Tatsache schliessen, dass von dieser keine verbotenen Linien beobachtet werden? (3 Punkte)
- c) Skizzieren Sie das Energieschema eines Ions, das sich für die Messung der Plasmadichte eignet (3 Punkte).
- d) Leiten Sie aus den Ratengleichungen eine Formel für die Dichte als Funktion des Verhältnisses der Intensitäten der von dem in der vorherigen Teilaufgabe behandelten Ion ausgesandten Emissionslinien ab. (8 Punkte)
(Hinweis: $4\pi I_{21} = A_{21} n_2 h\nu_{21}$, die kritische Dichte ist $n_{\text{cr},i} = A_{i1}/C_{i1}$ und es gilt $(C_{12}/C_{21} = (g_2/g_1) \exp(-E_{21}/kT)$.)
- e) Mit welchen Beobachtungsmethoden wird die Kinematik der Broad Line Region und ihr Ort bestimmt? Was ist ihre Ionisationsstruktur? (2 Punkte)

Frage 3: Standardmodell

- a) Beschreiben Sie das Standardmodell zum Aufbau von aktiven Galaxienkernen und fertigen Sie eine Skizze der wesentlichen Komponenten an. Erklären Sie auch den Unterschied zwischen verschiedenen AGN Klassen und der Unterscheidung zwischen Typ 1 und Typ 2 AGN (9 Punkte).
- b) Nennen Sie drei Klassifikationsmerkmale extragalaktischer Radioquellen (3 Punkte).
- c) Die folgende Abbildung zeigt eine VLA Aufnahme der Radiogalaxie 3C 175.



Credit & Copyright: Alan Bridle (NRAO Charlottesville) VLA, NRAO, NSF

Klassifizieren Sie diese Quelle nach dem Schema von Fanaroff & Riley (1974) und begründen Sie Ihre Klassifikation (2 Punkte).