

## Prüfungsprotokoll Astronomie (Diplom)

- Vorlesungen: **Interstellares Medium** (bei Prof. Heinrich J. Wendker im WS 1999/2000)  
**Das Milchstraßensystem** (bei Prof. Christian de Vegt im SoSe 2000)
- Prüfer: **Prof. Heinrich J. Wendker** (Beisitzer: Helmut Kähler)
- Prüfling: Stefan Witt (6. Semester Informatik)
- Datum: 25. Juli 2000 um 11<sup>00</sup> Uhr in Wendkers Büro
- Vorbereitung: 2 Monate nebenbei während der Vorlesungszeit, 10 Tage intensiv
- Literatur: Die folgenden Bücher habe ich – teilweise nur auszugsweise – gelesen. In der Prüfungsvorbereitung (5 Wochen vorher) habe ich mich mit Prof. Wendker auf die beiden ersten Bücher als Prüfungsgrundlage geeinigt; den Binney/Merrifield hat er als zu umfangreich bezeichnet, und das Buch von Dyson/Williams sollte ich mir anschauen, was ich auch getan habe.
- ⇒ Donald E. Osterbrock: „Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei“ (Univ. Science Books, Mill Valley 1989):  
sehr ausführliche Darstellung zu HII-Regionen, einiges zur Schockphysik; ist aber leider vergriffen (evtl. immer noch im Internet bestellbar, ich konnte noch einen aus Restbeständen bekommen, allerdings bei 7 Wochen Lieferzeit)
  - ⇒ Helmut Scheffler, Hans Elsässer: „Bau und Physik der Galaxis“ (BI Wissenschaftsverlag, Mannheim 1982)
  - ⇒ J.E. Dyson, D.A. Williams: „The Physics of The Interstellar Medium“ (Manchester Univ. Press 1997):  
enthält alles zum ISM; die beste Darstellung zur Schockphysik im ISM, die ich gefunden habe
  - ⇒ H.H. Voigt: „Abriß der Astronomie“ (BI Wissenschaftsverlag, Mannheim 1991):  
stichwortartige Zusammenfassung zu allen Bereichen der Astronomie; zum Nachschlagen sehr zu empfehlen!
  - ⇒ James Binney, Michael Merrifield: „Galactic Astronomy“ (Princeton Univ. Press, New Jersey 1998):  
ein allumfassendes ausführliches Werk zur Physik der Milchstraße, hochgelobt von Prof. de Vegt; mit einem Preis von 232,- DM das teuerste Lehrbuch, das ich kenne (gibt's zum Glück umsonst in der Stabi)
  - ⇒ Albrecht Unsöld, Bodo Baschek: „Der neue Kosmos“ (Springer-Verlag, Berlin 1991)
  - ⇒ Alfred Weigert, Heinrich J. Wendker: „Astronomie und Astrophysik“ (VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1996)
- Veranstaltungen: Als Informatiker mit dem Nebenfach Astronomie muss ich andere Veranstaltungen besuchen als Physiker mit dem Nebenfach Astronomie. Für den Fall, dass es noch andere Informatiker mit Astronomie als Nebenfach gibt, schreibe ich die Veranstaltungen nochmal auf. Es bestehen natürlich Wahlmöglichkeiten! Genauere Informationen gibt's bei der Studienberatung (das ist zurzeit Prof. Wendker). Im einzelnen:
- ⇒ Kursvorlesung „Interstellares Medium“
  - ⇒ Kursvorlesung „Das Milchstraßensystem“
  - ⇒ Astronomisches Praktikum
  - ⇒ Vorlesung „Physik III“ + Übungen (nicht prüfungsrelevant)
  - ⇒ Vorlesung „Struktur der Materie“ (nicht prüfungsrelevant)
- Note: 1,0

Die Prüfungsatmosphäre war sehr angenehm, und Prof. Wendker war sehr gut gelaunt. Seine Fragen hat er mit ausführlichen Erklärungen eingeleitet, was im folgenden Protokoll vielleicht nicht direkt deutlich wird. Er hatte auch in meiner Prüfung einen Zettel mit einigen Leitfragen vor sich liegen. Die ins Detail gehenden Fragen hat er spontan ohne Hilfe des Zettels gestellt.

Heinrich J. Wendker (HJW.): Fangen wir mit dem Milchstraßensystem an. Wie ist es grob aufgebaut?

- I.: Es besteht aus Scheibe (30 kpc Durchmesser), Zentralsphäroid (5 kpc Durchmesser), Halo (30 kpc Durchmesser) und der dunklen Korona (60 kpc Durchmesser).
- HJW.: Ja, aber über die Korona streiten die Gelehrten noch. Wie sind die Sterne verteilt? Sind alle Sterne überall gleich oft vorhanden?
- I.: Nein, in der Scheibe findet man Sterne der Population I (junge, metallreiche Sterne), im Halo sind Sterne der Population II (alte, metallarme Sterne).
- HJW.: Wie ist der Metallgehalt definiert?
- I.: Formel aufgeschrieben:  $\left[\frac{\text{Fe}}{\text{H}}\right] = \log\left(\frac{\text{Fe}}{\text{H}}\right)_* - \log\left(\frac{\text{Fe}}{\text{H}}\right)_\odot$  und erklärt
- HJW.: Wie groß ist der Metallgehalt bei Sternen der Population II?
- I.: kleiner als -1 (10% des solaren Wertes)
- HJW.: Naja, kleiner als -2, aber gut. Wie entstehen die jungen Sterne in der Scheibe?
- I.: Sterne entstehen aus Molekülwolken, die kollabieren, wenn die Gravitationskraft größer als der nach außen gerichtete Druck ist.
- HJW.: Welcher Druck ist nach außen gerichtet?
- I.: *(nach einigem Überlegen)* der Gasdruck
- HJW.: Was ist der Unterschied zwischen Gasdruck und Strahlungsdruck, das ist basic physics?
- I.: die Atome des Gases üben durch Stöße einen Druck nach außen aus; Photonen bilden kein Gas, stoßen aber auf Atome der Umgebung (*Herr Kähler ergänzt dazu, dass das im Vakuum besonders gut funktioniert, und Herr Wendker stimmt dem zu*)
- HJW.: Welches sind die Druckkomponenten des interstellaren Mediums?
- I.: Gasdruck, Druck durch Magnetfelder ( $P \propto B^2$ ), Turbulenzdruck und Druck durch kosmische Partikel
- HJW.: Und wie groß sind die jeweils?
- I.: Angabe der Energiedichte; jeweils  $1 \frac{\text{eV}}{\text{cm}^3}$ ; Äquipartition der Druckkomponenten
- HJW.: Durch welche Beziehung wird der Gasdruck angegeben? Typische Werte?
- I.: ideale Gasgleichung  $P = nkT$  (HJW. ergänzt: Druckangabe meist in  $\frac{P}{k}$ ); typisch  $\frac{P}{k} = 5000 \frac{\text{K}}{\text{cm}^3}$ , d.h. mittlere Temperatur im ISM 5000K
- HJW.: Welche Arten von Wolken gibt es im ISM? In welchen Größen unterscheiden sie sich?
- I.: HI-, HII-, Staub- und Molekülwolken; im wesentlichen unterscheiden sie sich neben der Zusammensetzung durch Dichte und Temperatur
- HJW.: Was ist ein typischer Wert der Dichte in der Sonnenumgebung?
- I.: etwa ein H-Atom pro  $\text{cm}^3$
- HJW.: Ok, kommen wir nochmal zum Aufbau der Milchstraße. Wie ist das ISM in der Scheibe verteilt?
- I.: Die Scheibe enthält Spiralarme, in denen sich das ISM bevorzugt sammelt.
- HJW.: Das meinte ich gar nicht; wie sind die Abmessungen der Scheibe?
- I.: Scheibendurchmesser 30 kpc; die senkrechte Verteilung wird durch die Skalenhöhe ausgedrückt und ist abhängig von der Art des Mediums.
- HJW.: Wie ist die Skalenhöhe definiert, z.B. für die Dichte?
- I.: Die Dichteverteilung ist gaußförmig. Formel angeben  $\rho(z) = \rho_0 \cdot e^{-\left(\frac{z}{H}\right)^2}$  und erklärt
- HJW.: Ist sie immer gaußförmig?
- I.: Nein, es gibt auch eine einfach-exponentielle Verteilung.
- HJW.: Wie sind die verschiedenen ISM-Komponenten und Phasen senkrecht zur Scheibe verteilt?
- I.: heißes ionisiertes Medium (sehr dünnes HII):  $H=3$  kpc; warmes ionisiertes Medium (HII):  $H=30$  pc; warmes neutrales Medium und kühles neutrales Medium (HI) haben Skalenhöhe von 1 kpc, Molekülwolken aber nur 100 pc; dicke (1 kpc) und dünne Scheibe (200 pc) erklärt
- HJW.: Kommen wir nochmal genauer zu den HII-Regionen. Wie wird der Wasserstoff dort ionisiert?
- I.: Ionisationsenergie ist 13,6 eV; Photonen mit mindestens dieser Energie nötig; Energieformel für

Photoionisation aufgeschrieben:  $h\nu = \chi + E_{\text{kin}}$

HJW.: Welcher Stern kann solche Photonen liefern?

I.: Sterne vom Typ B2 oder früher liefern Photonen mit so hoher Energie ( $T_{\text{eff}} \geq 20000$  K).

HJW.: Wie sieht die Verteilung der Ionisationseffizienz aus?

I.: Absorptionsquerschnitt erklärt und Graphen skizziert ( $\sigma(\nu)$  gegen  $E_{\text{phot}}$ )

HJW.: Wie sieht die Umgebung des O-Sternes aus, wenn er instantan eingeschaltet wird?

I.: Der ist von neutralem Wasserstoff umgeben; erst durch eine Ionisation entsteht eine HII-Region; die Ionisation breitet sich sphärisch symmetrisch aus und frißt sich in den neutralen Wasserstoff.

HJW.: (*will gerade ansetzen, da knallt's am Fenster; kurzer Plausch, ob da wohl ein Vogel gegen geflogen sei („Hat er sich das Genick gebrochen?“)*) Jetzt habe ich den Faden verloren; ach ja, Ionisation. Ihre Beschreibung hört sich ja so an, als ob die Ionisationsfront sehr dünn sei. Warum ist das so?

I.: (*nach Überlegen*) Das geht jedenfalls aus den Modellrechnungen hervor...

HJW.: Ja, aber es hat auch einen physikalischen Grund.

I.: (*nach Überlegen*) Die Dicke der Ionisationsfront ist gegeben durch die mittlere freie Weglänge der Lyman-Kontinuums-Photonen...

HJW.: Ja, und genau das ist der Grund! Das wußten Sie anscheinend nicht, dass Sie das wußten. Kommen wir nocheinmal zu einem anderen Thema: Bei Supernova-Explosionen kommt es auch zu Fronten. Erläutern Sie das näher.

I.: Bei einer Supernova-Explosion wird die Hülle des Sternes mit hoher Energie und hoher Geschwindigkeit (10000 km/s, also im Überschallbereich) abgestoßen, und es entsteht eine Schockfront. . .

HJW.: Was ist eine Schockfront?

I.: Eine Schockfront ist eine Druckwelle, die sich mit hoher Überschallgeschwindigkeit in einem Medium ausbreitet; dabei wird das überrannte Gas stark komprimiert und sehr hoch erhitzt (geschockt).

HJW.: Welche Ansätze macht man für die Berechnung des geschockten Gases?

I.: Die Sprungbeziehungen gelten (*da ich nicht wußte, wie man „Rankine-Hugoniotische Sprungbeziehungen“ richtig ausspricht, habe ich es lieber erst gar nicht versucht*); also Massen-, Impuls- und Energieerhaltung.

HJW.: Ja, aber wo steckt bei der Berechnung die Schwierigkeit der Lösungen der Sprungbeziehungen? Mit Lösungen meine ich den Zustand des geschockten Gases hinter der Schockfront.

I.: Hmm, es können auch Strahlungsverluste auftreten; bei einer adiabatischen Schockfront bleibt das geschockte Gas heiß, bei einer isothermen Schockfront kühlt das geschockte Gas sehr schnell wieder auf die Ausgangstemperatur ab.

HJW.: Das stimmt, ist aber keine Schwierigkeit; die Massen- und Impulserhaltung sind einfach handhabbar, und wie sieht es mit der Energieerhaltung aus?

I.: Die Energieerhaltung setzt sich aus Erhaltung der kinetischen Energie und der inneren Energie zusammen. . .

HJW.: Ja, und genau da ist die Schwierigkeit; dadurch, dass die Schockfront Arbeit auf das Gas leistet, kommt ein nicht so einfach handhabbarer Term hinzu (*so ganz war mir das aber nicht klar, und in der Literatur war das auch nicht erwähnt, aber er ging nicht weiter darauf ein*). Sie sagten vorhin, dass die kinetische Energie, die die Elektronen bei der Photoionisation erhalten, zur Aufheizung der HII-Region beiträgt. Wird die Region immer heißer?

I.: Nein, die HII-Region kann sich nicht unendlich stark aufheizen. Es gibt verschiedene Kühlmechanismen, durch die die Region wieder abkühlt. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Heizung und Kühlung ein.

HJW.: Ja. Welche maximale Ausdehnung hat die HII-Region?

I.: Etwa 15 pc; die Größe wird durch die Lebensdauer des anregenden O-Sterns bestimmt (etwa  $10^6$  Jahre).

HJW.: 15 pc ist etwas wenig, aber es kommt darauf an, dass es ein endlicher Wert ist. Die letzte Frage: Sie sagten, es gäbe auch Molekülwolken, aber wo entstehen die Moleküle?

I.: Die Moleküle entstehen auf Staubteilchen; die Staubteilchen kollidieren etwa alle 200 s mit einem H-Atom und fangen es ein; das H-Atom sucht sich auf der Stauboberfläche eine ungesättigte Verbindung, und so entsteht  $\text{H}_2$  (*hier war ich sehr knapp in der Beschreibung*).

HJW.: Ja, das lasse ich gelten. Das war's.