Übungen zur Vorlesung
Einführung in die Astronomie (WS2012/13)

Cornelis Dullemond, Ralf Klessen

Kapitel 1

1. **Werden wir mal einen Exokomet sehen?**
   Es wäre doch cool, wenn mal ein Komet aus einem anderen "Sonnensystem" in unser eigenes Sonnensystem eindringen würde. Lassen Sie uns eine extrem grobe Abschätzung machen, was die Chance ist, dass wir das noch in unserer Lebenszeit erleben (ob wir diesen Komet als Exokomet erkennen ist eine andere Sache!). Nehmen wir an, dass die stellare Dichte in der Umgebung der Sonne ungefähr $N = 0.14$ pc^{-3} ist. Nehmen wir auch an, dass bei der Entstehung jedes Sterns ganz viele Kometen durch gravitative Wechselwirkungen mit Protoplaneten in die Milchstraße geschleudert werden, und zwar einer Gesamtmasse von einer Erdmasse[1] in Form von 1 km großen Kometen mit interner Materialdichte von 1 $\mathrm{g/cm^3}$. Nehmen wir zusätzlich an, dass die Geschwindigkeitsdispersion der Kometen die gleiche ist, wie die der Sterne in unserer Umgebung, und zwar etwa Δv =10 km/s. Lassen wir die gravitative Anziehungskraft der Sonne außer Betracht. Schätzen Sie an Hand dieser Annahmen ab, wie oft pro Jahrhundert ein solcher Exokomet näher zur Sonne kommt als der Abstand Sonne-Jupiter (d =5,2 AU), damit er anfängt zu verdampfen und als Komet mit Schweif sichtbar wird. Hinweis: da es um eine *Abschätzung* geht, dürfen Sie alle Komplikationen (wie z.B. Poisson-Statistik) die die Sache schwierig machen, aber das Ergebnis nicht *wesentlich* verändern, vernachlässigen.

2. **Sternkollisionen und gravitative Fokussierung**
   In der Vorlesung haben wir abgeschätzt, ob Sterne ab und zu kollidieren. Wir hatten, wie in Aufgabe 1, angenommen, dass die stellare Dichte in der Umgebung der Sonne ungefär $N = 0.14\ \mathrm{pc}^{-3}$ ist und dass die Geschwindigkeitsdispersion der Sterne etwa Δv =10 km/s ist. Wir hatten auch angenommen, dass alle Stern so sind wie die Sonne ($R_* = R_\odot$, $M_* = M_\odot$). Was wir allerdings vernachlässigt hatten, ist die Anziehungskraft der Sterne. Hier werden wir sehen, dass dies zu einer erhebliche Unterschätzung geführt hat. Wenn wir die Anziehungskraft der Sterne mit einbeziehen, müssen wir den "gravitative Querschnitt" σ_G benutzen:

   $$\sigma_G = \sigma\,(1+\theta) \tag{1}$$

   wobei $\sigma = \pi(2R_*)^2$ der geometrische Querschnitt ist, und θ der "gravitative Fokussierungsfaktor". Der gravitative Fokussierungsfaktor ist folgendermaßen definiert:

   $$\theta = \left(\frac{v_{\mathrm{esc}}(d)}{\Delta v}\right)^2 \tag{2}$$

[1] Achtung: wir wissen eigentlich gar nicht, wie viele Kometen weggeschleudert werden. Diese Zahl ist also nur ein (Eng.) "educated guess".

wobei $v_{\text{esc}}(d)$ die “escape velocity” ist zu dem Moment, an dem sich die Sterne berühren[2]:

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{4GM_*}{R_*}} \tag{3}$$

Berechnen Sie nun erneut die Chance, dass ein Stern in 10 Milliarden Jahren mal mit einem anderen Stern kollidiert.

3. **Gezeitenkräfte und der Abstand Erde-Mond (Freiwillige Aufgabe)**
Der Mond hat uns immer dieselbe Seite zugewand. Die Ursache dafür ist die Gezeitenkraft, die die Erde auf den Mond ausgeübt hat. Der Abstand zwischen Erde und Mond hat sich dadurch allerdings seit der Geburt unseres Erde-Mond-Systems vergrößert. Umgekehrt übt der Mond auch Gezeitenkräfte auf die Erde aus. Das heißt, dass in der fernen Zukunft, die Erde irgendwann auch immer mit derselben Seite dem Mond zugewand sein wird. Der Abstand Erde-Mond wird dann noch größer sein, als er heute ist. Berechnen Sie diesen Abstand mit Hilfe der Drehimpulserhaltung. Dazu brauchen Sie folgende Angaben:

$$\begin{aligned} M_{\text{Erde}} &= 5.97\times10^{27}\,\text{g} \quad , \quad & R_{\text{Erde}} &= 6.37\times10^{8}\,\text{cm} \\ M_{\text{Mond}} &= 7.35\times10^{25}\,\text{g} \quad , \quad & d_{\text{Erde-Mond}} &= 3.84\times10^{10}\,\text{cm} \end{aligned} \tag{4}$$

Hinweis 1: Das Trägheitsmoment einer Kugel ist $I = 2MR^2/5$.
Hinweis 2: Sie können so viele Annäherungen machen wie Sie möchten, solange das Ergebnis nicht sinnlos wird. Zum Beispiel (!), Sie dürfen annehmen, dass die Massenverteilung im Inneren der Erde homogen ist.

[2] Der Faktor 4 kommt daher, dass die Gesamtmasse $2M_*$ ist. Für eine massenlose Punktmasse an der Sternoberfläche wäre $v_{\text{esc}} = \sqrt{2GM_*/R_*}$.