Übungsaufgaben Einführung in die Astronomie II

Blatt 2 fällig für die Übungen am 05.05. (Ü1+Ü2) bzw. 12.05.2010 (Ü3+Ü4)

Aufgabe 1:

a) Vergleichen Sie die beugungslimitierte Auflösung eines 10m Teleskops mit der Winkelauflösung von von zwei 10m Teleskopen in einem Abstand von 85m (Abstand von Spiegelmitte zu Spiegelmitte)? Welche Vorteile hat es, Interferometrie zu betreiben als nur den Fluss zu addieren? Wie unterscheiden sich (qualitativ) die Daten die durch solche Interferometrie gewonnen werden, von Daten, die mit einem einzelnen 85m Teleskop gewonnen würden.

b) Unten sind die intrinsischen Größen und typischen Entfernungen von astronomischen Objekten. Berechne und diskutiere, wie groß ein Interferometer im nahen Infraroten ($\lambda = 2\mu$m) und im Radiowellenlängenbereich ($\lambda = 10$ cm) sein müsste, um diese Größen aufzulösen? r_S ist der Schwarzschildradius eines schwarzen Lochs.

Objekt	Durchmesser	Entfernung
Vega	3×10^6 km	8 pc
Schwarzes Loch (Quasar)	r_s für $10^9\ M_\odot$	40 Mpc
Der innere kpc einer Galaxie	1 kpc	1700 Mpc
Knoten im Jet einer Radiogalaxie	1 pc	130 Mpc

Aufgabe 2:

Es geht in der Aufgabe darum herauszufinden, was man machen muss, um den Fluss einer Punktquelle mit einer bestimmten Genauigkeit, z.B. 10% zu messen.

In einem bestimmten Wellenlaengenbereich kommt auf der Erde eine mittlere Photonenrate von n_{Quelle} an [Photonen/Sek/cm^2]. Unter normalen Bedingungen erscheint das Bild dieser Punktquelle, wegen der amosphärischen Turbulenz, under einem scheinbaren Winkel von d_Ω (eine Quadratbogensekunde). Auch ohne diese Quelle ist der Himmel nicht unendlich dunkel: es kommen also auch sog. Hintergrundphotonen (genaugenommen Vordergrundphotonen) am Teleskop mit einer mittleren Rate l_{Himmel} [Photonen/Sek/cm^2/arcsec^2] an. Hier ist "l" anstelle von "n", da dies die Rate pro Winkelfläche am Himmel ist.

Nehmen wir jetzt an, dass wir mit einem Teleskop von Spiegeldurchmesser D beobachten, mit einer Kamera, die tatsächlich alle einfallenden Photonen messen kann; wir belichten für eine Zeit d_t.

Da die Ankunft der Photonen ein stochastische Prozess ist, kommen in dem Zeitraum in dem wir M Photonen erwarten, nicht immer M Photonen an. Die Zahl der bei einer Messung tatsächlich ankommenden Photonen unterscheidet sich von dem "Erwartungswert" typischerweise um $\sqrt{M}$ (Poissonverteilung oder Gaussverteilung mit Mittelwert M). Diese Tatsache, dass wir verschiedene Anzahlen von Photonen messen, wenn wir die gleiche Messung wiederholen heisst "Photonenrauschen".

Es geht jetzt in der Aufgabe darum, das Signal-zu-Rauschen Verhältnis (S/N) abzuschätzen und seine Abhängigkeit von den obigen Größen zu verstehen.

a) Leite einen einfachen Ausdruck für das "Signal" (d.h. die Zahl der Photonen von der Punktquelle) her. Wie groß ist das Signal, wenn $n_{\mathrm{Quelle}} = 5 \times 10^{-4}$ Photonen/Sek/cm^2 ist, $D = 1$m und $d_t = 10$min ist.

b) Leite einen Ausdruck für das Rauschen, N, her; d.h. den erwarteten Unterschied zwischen der gemessenen Zahl der Photonen und dem "wahren" Mittelwert unter diesen Umständen? Beachte, dass sowohl die Photonen von der Quelle, als auch die vom Himmel (Hintergrund sind).

c) Verbinde die beiden Ausdrücke zu einem Ausdruck für S/N und berechne S/N für den Fall aus "a" unter der Annahme, dass $l_{\mathrm{Himmel}} 3 \times 10^{-3}$ Photonen/Sek/cm^2/arcsec^2 ist, und die Punktquelle $d_\Omega = 1$ arcsec^2 groß erscheint.

(weiter auf der Rückseite)

d) Wie verändert sich das S/N wenn man
– doppelt so lange belichtet, d.h. d_t verdoppelt?
– das Bild doppelt so scharf macht, d.h. d_Ω viertelt?
– den Himmel 5 mal dunkler macht (wie?)?

e) Bonus: wie ginge es in die obigen Formeln ein, wenn unser Teleskop+Kamera-System nur einen Effizienz $\eta \sim 0.1$ hätte (dies ist der Bruchteil der Photonen, der tatsächlich registriert wird.)

Aufgabe 3:
Wie groß ist das Beobachtungsfeld eines CCDs mit 4000×4000 Pixeln (aktuelle astronomische CCDs) und die Winkelauflösung für jeden Pixel 0,2$''$ beträgt. Wie lange muss man beobachten, um ein Feld von $10^\circ \times 10^\circ$ abzudecken, wenn jede Aufnahme 20 Minuten dauert. Wie lange würde man für eine Himmelsdurchmusterung (oder *Survey*) einer komplette Hemisphäre benötigen? Diskutiere möglichst viele Möglichkeiten (mindestens 3), wie man diese Dauer einer solchen Himmelsdurchmusterung (für eine Hemisphäre) deutlich (um mindestens zwei Größenordnungen) reduzieren kann. Was sind die Nachteile, die man dadurch in Kauf nehmen muss und was haben diese für eine Auswirkung auf mögliche Wissenschaftsanwendungen?