

AGN-Modellierung mit Paarerzeugung

Aleksander Paravac

Lehrstuhl für Astronomie
Universität Würzburg
aparavac@astro.uni-wuerzburg.de
<http://www.astro.uni-wuerzburg.de>

Übersicht

- 1 Motivation
 - Warum AGN?
- 2 Theorie
 - SSC-Modell
 - Strahlungstransportgleichung
 - Absorptionskoeffizient α_ν
 - Photonen Anteil
 - Elektronendichte
 - Elektronen Anteil
- 3 Erwartungen/Ziele
 - Erweiterung des Codes
- 4 Anhang
 - Danksagung
 - Formelsammlung

Übersicht

- 1 Motivation
 - Warum AGN?
- 2 Theorie
 - SSC-Modell
 - Strahlungstransportgleichung
 - Absorptionskoeffizient α_ν
 - Photonen Anteil
 - Elektronendichte
 - Elektronen Anteil
- 3 Erwartungen/Ziele
 - Erweiterung des Codes
- 4 Anhang
 - Danksagung
 - Formelsammlung

Warum AGN?

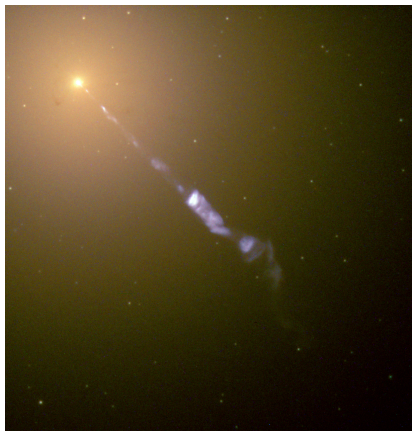


Abbildung: Messier 87

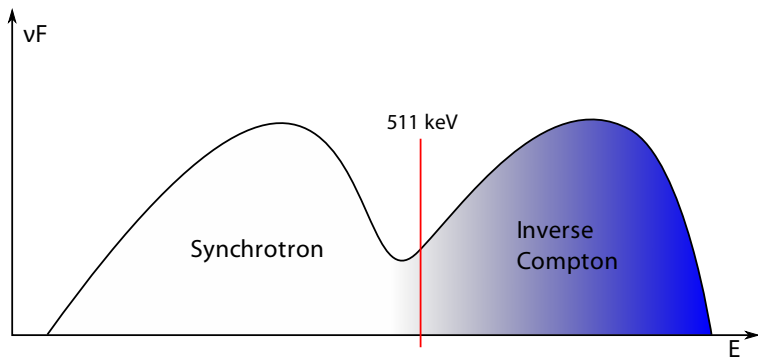
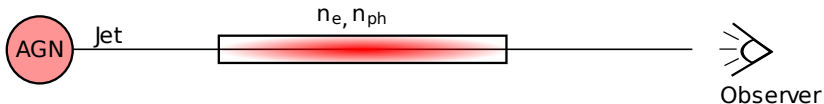
Als Lieferanten hochenergetischer Gamma-Strahlung stellen AGN der Astrophysik viele Fragen:

- Welche Prozesse erzeugen die Strahlung?
- Welche Teilchenarten sind involviert?
- Suche nach einem Modell zur Beschreibung.

Übersicht

- 1 Motivation
 - Warum AGN?
- 2 Theorie
 - SSC-Modell
 - Strahlungstransportgleichung
 - Absorptionskoeffizient α_ν
 - Photonen Anteil
 - Elektronendichte
 - Elektronen Anteil
- 3 Erwartungen/Ziele
 - Erweiterung des Codes
- 4 Anhang
 - Danksagung
 - Formelsammlung

SSC Spektrum schematisch



Synchrotron Self Compton Modell (SSC)

zeitliche Änderung der Photonenanzahl

Strahlungstransportgleichung

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c \cdot \alpha_\nu(\nu) \cdot n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,ESC}}$$

Mit:

- R_s : Synchrotron Emmissionsrate
- α_ν : Absorptionskoeffizient
- R_c : Inverse Compton Rate
- $t_{ph,ESC}$: Photonen Escape Zeit

Synchrotron Self Compton Modell (SSC)

zeitliche Änderung der Photonenanzahl

Strahlungstransportgleichung

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c \cdot \alpha_\nu(\nu) \cdot n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,ESC}}$$

Mit:

- R_s : Synchrotron Emmissionsrate
- α_ν : **Absorptionskoeffizient**
- R_c : Inverse Compton Rate
- $t_{ph,ESC}$: Photonen Escape Zeit

Genauere Betrachtung von α_ν

Im Absorptionskoeffizient spielen folgende Prozesse eine wichtige Rolle:

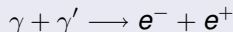
Absorptionsfaktor

$$\alpha_\nu = \alpha_{ssa} + \alpha_{pp}$$

Mit:

- α_{ssa} : Synchrotron Self Absorption
- α_{pp} : Pair Production

Paarbildung



Photonen Anteil

Absorptionswahrscheinlichkeit: $\gamma + \gamma' \rightarrow e^- + e^+$

$$\alpha_{pp} = \frac{\partial \tau_{abs}}{\partial x} = \pi \cdot r_0^2 \left(\frac{m^2 c^4}{E} \right)^2 \cdot \int_{\frac{m^2 c^4}{E}}^{\infty} \epsilon^{-2} n(\epsilon) \overline{\varphi} [s_0(\epsilon)] d\epsilon$$

► Weitere Formeln

Synchrotron Self Compton Modell (SSC)

zeitliche Änderung der Elektronen

Elektronendichte

$$\frac{\partial n_{e^-}(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_{e^-}(\gamma)(\gamma_s + \gamma_c)) - \frac{n_{e^-}(\gamma)}{t_{e^-,ESC}} + Q_{e^-}(\gamma)$$

Mit:

- γ_s : Synchrotron Verluste
- γ_c : Inverse Compton Verluste
- $t_{e^-,ESC}$: Elektronen Escape Zeit
- Q_{e^-} : Gewinnterm

Synchrotron Self Compton Modell (SSC)

zeitliche Änderung der Elektronen

Elektronendichte

$$\frac{\partial n_{e^-}(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_{e^-}(\gamma)(\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_{e^-}(\gamma)}{t_{e^-,ESC}} + Q_{e^-}(\gamma) + R_{pp}(\gamma)$$

Mit:

- $\dot{\gamma}_s$: Synchrotron Verluste
- $\dot{\gamma}_c$: Inverse Compton Verluste
- $t_{e^-,ESC}$: Elektronen Escape Zeit
- Q_{e^-} : Gewinnterm
- R_{pp} : Paarbildungsrate

Elektronen Anteil

Differentielle Erzeugungsrate: $\gamma + \gamma' \longrightarrow e^- + e^+$

$$\begin{aligned}
 R_{pp} &= \frac{3}{4} \sigma_{\tau} c \int_0^{\infty} d\epsilon_1 \frac{n_{ph}(\epsilon_1)}{\epsilon_1^2} \cdot \int_{\max(\frac{1}{\epsilon_1}, \gamma+1-\epsilon_1)}^{\infty} d\epsilon_2 \frac{n_{ph}(\epsilon_2)}{\epsilon_2^2} \cdot \\
 &\quad \left\{ \frac{\sqrt{E^2 - 4\epsilon_{cm}^2}}{4} + H_+ + H_- \right\}_{\epsilon_L}^{\epsilon_U} \\
 &= \frac{\partial n_{e^-,pp}(\gamma)}{\partial t}
 \end{aligned}$$

mit:

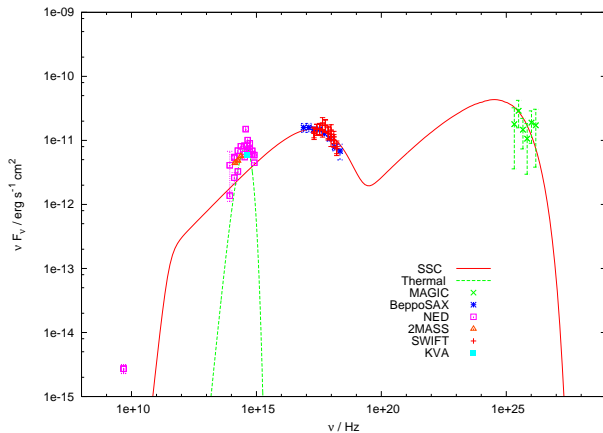
- $\epsilon_U = \min(\sqrt{\epsilon_1 \epsilon_2}, \epsilon_{cm}^*)$
- $\epsilon_L = \max(1, \epsilon_{cm}^\dagger)$

► Weitere Formeln

Übersicht

- 1 Motivation
 - Warum AGN?
- 2 Theorie
 - SSC-Modell
 - Strahlungstransportgleichung
 - Absorptionskoeffizient α_ν
 - Photonen Anteil
 - Elektronendichte
 - Elektronen Anteil
- 3 Erwartungen/Ziele
 - Erweiterung des Codes
- 4 Anhang
 - Danksagung
 - Formelsammlung

Fit für BL Lac Object 1ES 1218+30.4



Ausblick

Erweiterung des Codes

- 1 Paarvernichtung: $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$
- 2 Zwei Zonenmodell
- 3 ...

Übersicht

- 1 Motivation
 - Warum AGN?
- 2 Theorie
 - SSC-Modell
 - Strahlungstransportgleichung
 - Absorptionskoeffizient α_ν
 - Photonen Anteil
 - Elektronendichte
 - Elektronen Anteil
- 3 Erwartungen/Ziele
 - Erweiterung des Codes
- 4 **Anhang**
 - **Danksagung**
 - **Formelsammlung**

Vielen Dank

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit.

Formelsammlung I

Es gilt:

- $\bar{\varphi} [s_0(\epsilon)] = \int_1^{s_0} s \cdot \bar{\sigma}(s) ds$

- $s_0 = \frac{\epsilon E}{m^2 c^4}$

- $\bar{\sigma}(s) = \frac{2\sigma(s)}{\pi r_0^2}$

- $\sigma(s) = \frac{1}{2} \pi r_0^2 (1 - \beta(s)^2) \left[(3 - \beta(s)^4) \ln \frac{1 + \beta(s)}{1 - \beta(s)} - 2\beta(s)(2 - \beta(s)^2) \right]$

- $\beta(s) = \sqrt{1 - \frac{1}{s}}$

► Zurück

Formelsammlung IIa

Es gilt:

- $(\epsilon_{cm}^{*,\dagger})^2 = \frac{1}{2} \left(\gamma(E - \gamma) + 1 \pm \sqrt{(\gamma(E - \gamma) + 1)^2 - E^2} \right)$
- $E = \epsilon_1 + \epsilon_2$
- $c_{\pm} = (\epsilon_{1,2} - \gamma)^2 - 1$
- $d_{\pm} = \epsilon_{1,2}^2 + \epsilon_1 \epsilon_2 \pm \gamma(\epsilon_2 - \epsilon_1)$

► Zurück

Formelsammlung IIb

Für $c_{\pm} \neq 0$:

$$H_{\pm} = -\frac{\epsilon_{cm}}{8\sqrt{\epsilon_1\epsilon_2 + c_{\pm}\epsilon_{cm}^2}} \left(\frac{d_{\pm}}{\epsilon_1\epsilon_2} + \frac{2}{c_{\pm}} \right) + \frac{1}{4} \left(2 - \frac{\epsilon_1\epsilon_2 - 1}{c_{\pm}} \right) \cdot I_{\pm} \\ + \frac{\sqrt{\epsilon_1\epsilon_2 + c_{\pm}\epsilon_{cm}^2}}{4} \left(\frac{\epsilon_{cm}}{c_{\pm}} + \frac{1}{\epsilon_{cm}\epsilon_1\epsilon_2} \right)$$

Für $c_{\pm} = 0$:

$$H_{\pm} = \left(\frac{\epsilon_{cm}^3}{12} - \frac{\epsilon_{cm}d_{\pm}}{8} \right) \frac{1}{(\epsilon_1\epsilon_2)^{3/2}} + \left(\frac{\epsilon_{cm}^3}{6} + \frac{\epsilon_{cm}}{2} + \frac{1}{4\epsilon_{cm}} \right) \frac{1}{\sqrt{\epsilon_1\epsilon_2}}$$

► Zurück

Formelsammlung IIc

Für $c_{\pm} > 0$:

$$I_{\pm} = \frac{1}{\sqrt{c_{\pm}}} \ln \left(\epsilon_{cm} \sqrt{c_{\pm}} + \sqrt{\epsilon_1 \epsilon_2 + c_{\pm} \epsilon_{cm}^2} \right)$$

Für $c_{\pm} < 0$:

$$I_{\pm} = \frac{1}{\sqrt{-c_{\pm}}} \arcsin \left(\epsilon_{cm} \sqrt{-\frac{c_{\pm}}{\epsilon_1 \epsilon_2}} \right)$$

► Zurück

Formelsammlung III

Photonenverteilung:

$$I_\nu = \frac{h\nu c}{4\pi} n_{ph}(\nu)$$

Strahlungsfluss:

$$F_\nu = \int I_\nu \cos \theta d\Omega$$

Beim Beobachter:

$$\nu F_\nu$$

▶ Zurück