

Zweizonen SSC-Modell

Gamma-Emission in Jets von aktiven Galaxien

Matthias Weidinger

Institut für Theoretische Physik und Astrophysik
Universität Würzburg

2008-10-11



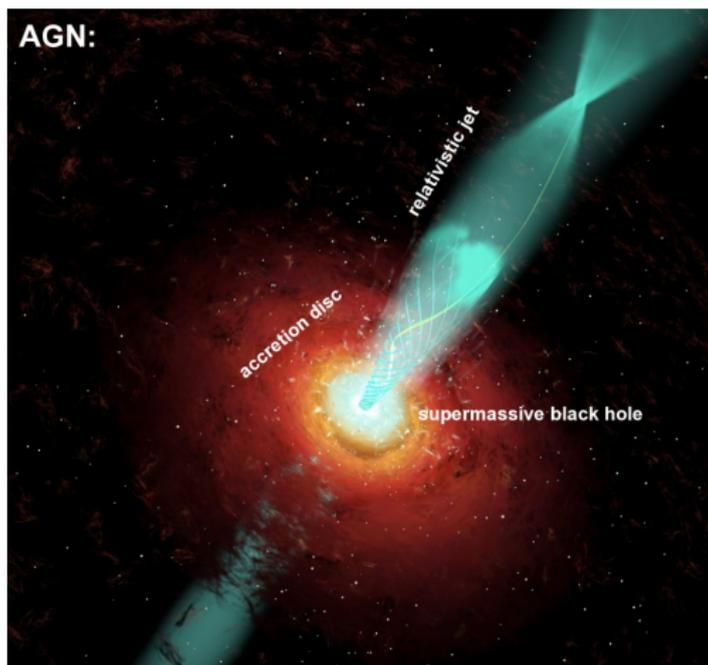
Überblick

- 1 Klassifikation aktiver Galaxien
- 2 Das SSC-Modell
- 3 Die Zweizonenformulierung
- 4 Zusammenfassung der Ziele

Klassifikation aktiver Galaxien

- 1 Klassifikation aktiver Galaxien
 - Active Galactic Nuclei (AGN)
 - Klassifikation aktiver Galaxien
- 2 Das SSC-Modell
- 3 Die Zweizonenformulierung
- 4 Zusammenfassung der Ziele

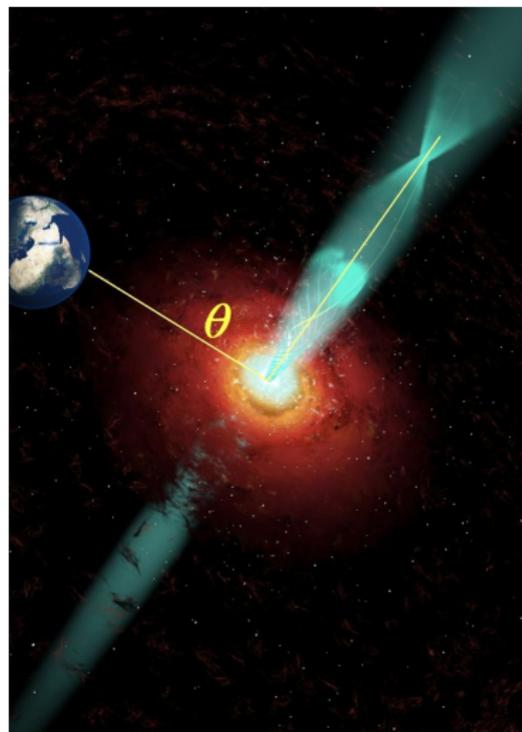
AGN - Standardschema



¹www.bu.edu/blazars/bllac_files/bllac_highres.jpg

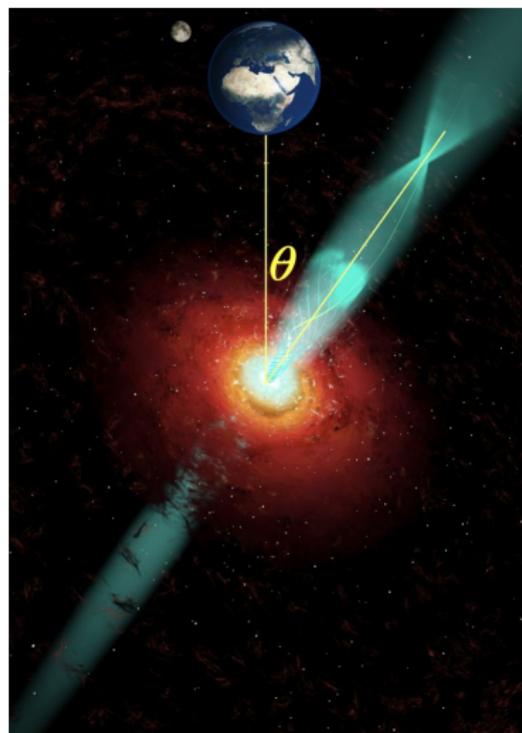
Klassifikation nach Inklination

- *Hohe Inklination θ : AGN-Type II*
 - 10% aller "Quasare"
 - schwaches Kontinuumsspektrum
 - \Rightarrow dicke Wand absorbierender Materie



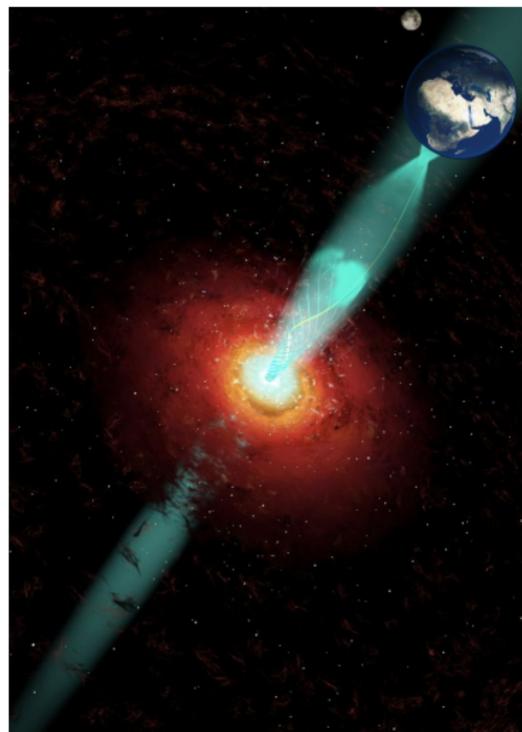
Klassifikation nach Inklination

- *Hohe Inklination* θ : AGN-Type II
- *Geringe Inklination* θ : AGN-Type I
 - 90% aller "Quasare"
 - starkes Kontinuumsspektrum
 - \Rightarrow kaum absorbierende Materie
 - "Quasar" als Oberbegriff für
 - **Quasi Stellar Radiosource**, radiolautes Objekt (10%)
 - **Quasi Stellar Object**, radioleises Objekt (90%)



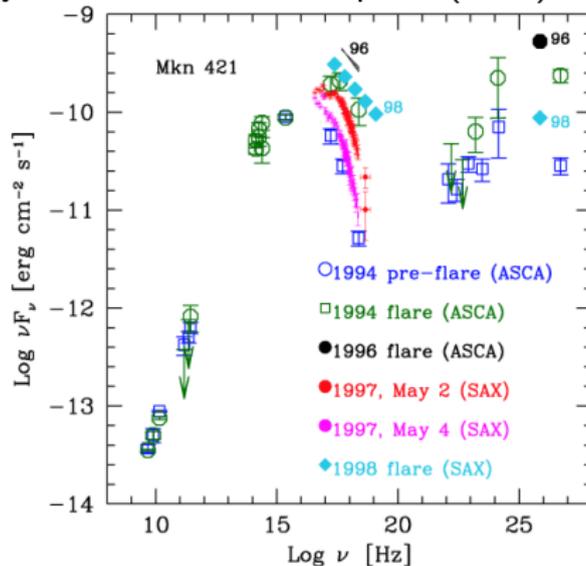
Klassifikation nach Inklination

- *Hohe Inklination* θ : AGN-Type II
- *Geringe Inklination* θ : AGN-Type I
- *Keine Inklination*: AGN-Type 0 (Blazar)
 - Zwei Blazar-Typen:
 - **Optically Violent Variables** mit Emission im optischen Bereich
 - BL-Lac Objekte mit hoher Gamma-Intensität
 - Blick in den Jet
 - \Rightarrow Gamma-Emission im Jet relevant
 - Beschreibung des Spektrums durch das Synchrotron-Self-Compton (SSC) Modell



Emissionsspektrum von Mkn421

“Double Humped”-Spektrum
 ⇒ Synchrotron-Self-Compton (SSC) Modell



¹D. Guetta et al, A.a.A. 421, 877-886 (2004)

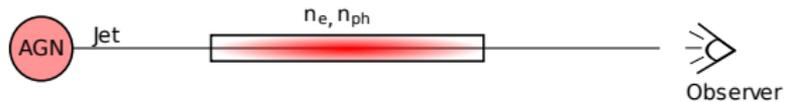
Das SSC-Modell

- 1 Klassifikation aktiver Galaxien
- 2 Das SSC-Modell**
 - Transportgleichungen
 - Das Flussspektrum
- 3 Die Zweizonenformulierung
- 4 Zusammenfassung der Ziele

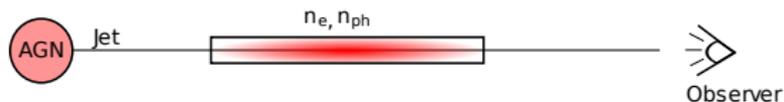
Elektronenverteilung



Elektronenverteilung



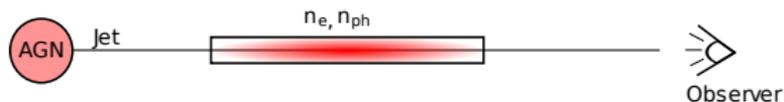
Elektronenverteilung



Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{\text{esc}}} + Q(\gamma)$$

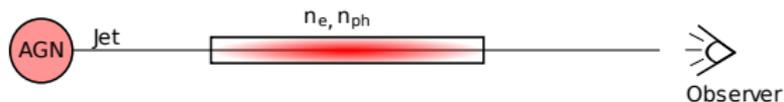
Elektronenverteilung



Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{\text{esc}}} + Q(\gamma)$$

Elektronenverteilung



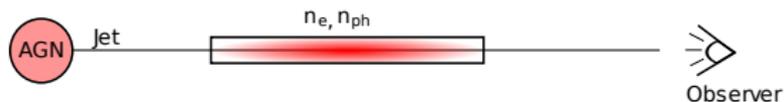
Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{\text{esc}}} + Q(\gamma)$$

- Synchrotronverluste

$$\dot{\gamma}_s = \frac{4\sigma_T B^2 \gamma^2}{24\pi m_e c_0} = \beta_s \gamma^2$$

Elektronenverteilung



Elektronenzahldichte

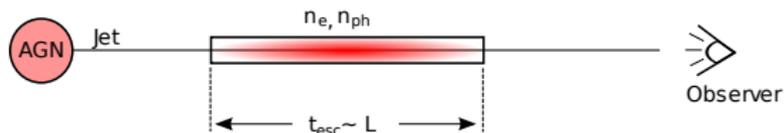
$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{\text{esc}}} + Q(\gamma)$$

- Synchrotronverluste

$$\dot{\gamma}_s = \frac{4\sigma_T B^2 \gamma^2}{24\pi m_e c_0} = \beta_s \gamma^2$$

- Invers-Comptonverluste $\dot{\gamma}_c \propto n_{ph}(\nu)$

Elektronenverteilung



Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{esc}} + Q(\gamma)$$

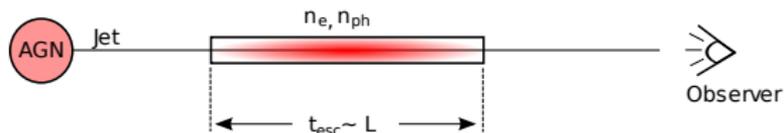
- Synchrotronverluste

$$\dot{\gamma}_s = \frac{4\sigma_T B^2 \gamma^2}{24\pi m_e c_0} = \beta_s \gamma^2$$

- Invers-Comptonverluste $\dot{\gamma}_c \propto n_{ph}(\nu)$

- Verluste durch Verlassen des Blobs $\frac{n_e(\gamma)}{t_{esc}}$

Elektronenverteilung



Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{esc}} + Q(\gamma)$$

- Synchrotronverluste

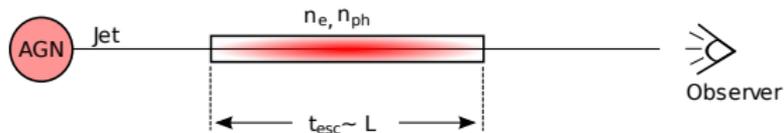
$$\dot{\gamma}_s = \frac{4\sigma_T B^2 \gamma^2}{24\pi m_e c_0} = \beta_s \gamma^2$$

- Invers-Comptonverluste $\dot{\gamma}_c \propto n_{ph}(\nu)$

- Verluste durch Verlassen des Blobs $\frac{n_e(\gamma)}{t_{esc}}$

- Gewinnterm $Q(\gamma)$

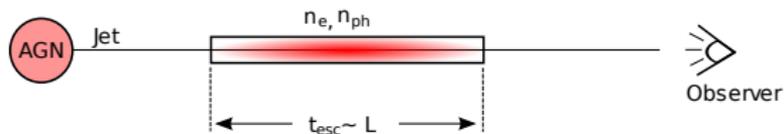
Photonenverteilung



Photonendichte

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c_0 \alpha_\nu n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,esc}}$$

Photonenverteilung

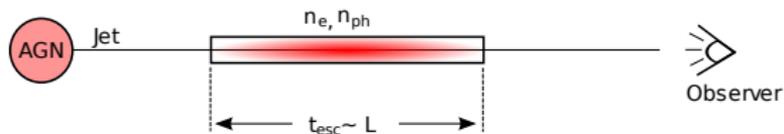


Photonendichte

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c_0 \alpha_\nu n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,esc}}$$

- Synchrotronerzeugungsrate $R_s \propto n_e(\gamma)$

Photonenverteilung

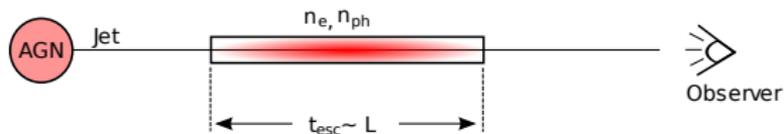


Photonendichte

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c_0 \alpha_\nu n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,esc}}$$

- Synchrotronerzeugungsrate $R_s \propto n_e(\gamma)$
- Absorptionsverluste $\alpha_\nu n_{ph}(\nu)$

Photonenverteilung

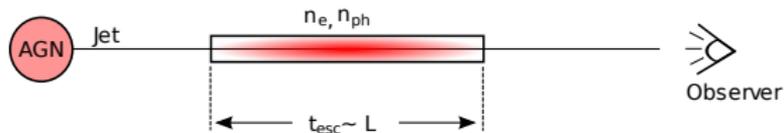


Photonendichte

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c_0 \alpha_\nu n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,esc}}$$

- Synchrotronerzeugungsrate $R_s \propto n_e(\gamma)$
- Absorptionsverluste $\alpha_\nu n_{ph}(\nu)$
- Invers-Compton-Rate $R_c(\nu) \propto n_e(\gamma)$

Photonenverteilung



Photonendichte

$$\frac{\partial n_{ph}(\nu)}{\partial t} = R_s(\nu) - c_0 \alpha_\nu n_{ph}(\nu) + R_c(\nu) - \frac{n_{ph}(\nu)}{t_{ph,esc}}$$

- Synchrotronerzeugungsrate $R_s \propto n_e(\gamma)$
- Absorptionsverluste $\alpha_\nu n_{ph}(\nu)$
- Invers-Compton-Rate $R_c(\nu) \propto n_e(\gamma)$
- Verluste durch Verlassen des Blobs

Beaming

- Strahlungsintensität im Ruhesystem des Jets aus der Photonenverteilung: $I(\nu) = \frac{h\nu c_0}{4\pi} \cdot n_{\text{ph}}(\nu)$

Beaming

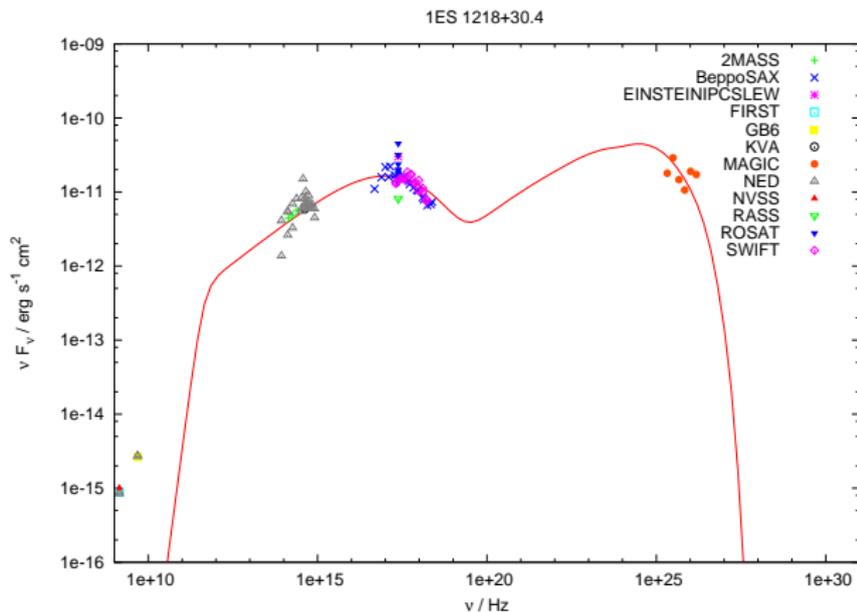
- Strahlungsintensität im Ruhesystem des Jets aus der Photonenverteilung: $I(\nu) = \frac{h\nu c_0}{4\pi} \cdot n_{\text{ph}}(\nu)$
- Transformation in das Beobachtersystem:
 - Dopplerverschiebung der Frequenz $\nu_d = \sqrt{\frac{1+\frac{v}{c_0}}{1-\frac{v}{c_0}}} \nu_{\text{jet}}$
 - Rotverschiebung $\nu_{\text{obs}} = \frac{1}{1+z} \nu_d$
 - relativister Boost $I_{\nu_{\text{obs}}} = \left(\frac{1+\frac{v}{c_0}}{1-\frac{v}{c_0}}\right)^{\frac{3}{2}} I_{\nu_{\text{jet}}}$

Beaming

- Strahlungsintensität im Ruhesystem des Jets aus der Photonenverteilung: $I(\nu) = \frac{h\nu c_0}{4\pi} \cdot n_{\text{ph}}(\nu)$
- Transformation in das Beobachtersystem:
 - Dopplerverschiebung der Frequenz $\nu_d = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c_0}}{1 - \frac{v}{c_0}}} \nu_{\text{jet}}$
 - Rotverschiebung $\nu_{\text{obs}} = \frac{1}{1+z} \nu_d$
 - relativister Boost $I_{\nu_{\text{obs}}} = \left(\frac{1 + \frac{v}{c_0}}{1 - \frac{v}{c_0}}\right)^{\frac{3}{2}} I_{\nu_{\text{jet}}}$
- Strahlungsfluss $F_\nu = \int I_\nu \cos\theta d\Omega$
- $\Rightarrow \nu F(\nu)$ im Beobachtersystem

Beaming

BL-Lac Objekt 1218+30.4



¹M. Rürger, Diplomarbeit (2007)

Die Zweizonenformulierung

- 1 Klassifikation aktiver Galaxien
- 2 Das SSC-Modell
- 3 Die Zweizonenformulierung**
 - Motivation
 - Die Elektronengleichungen
- 4 Zusammenfassung der Ziele

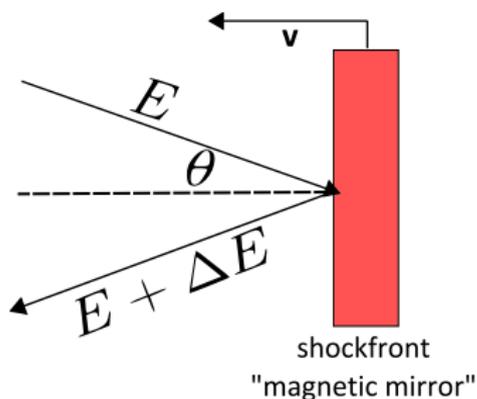
Physikalische Motivation

- Nicht alle Flussspektren können angefitet werden
- Modellierung der Elektronenbeschleunigung an Schockfronten bis zu $E \geq 10^{12} \text{ eV}$

Physikalische Motivation

- Nicht alle Flussspektren können angefitet werden
- Modellierung der Elektronenbeschleunigung an Schockfronten bis zu $E \geq 10^{12} \text{ eV}$

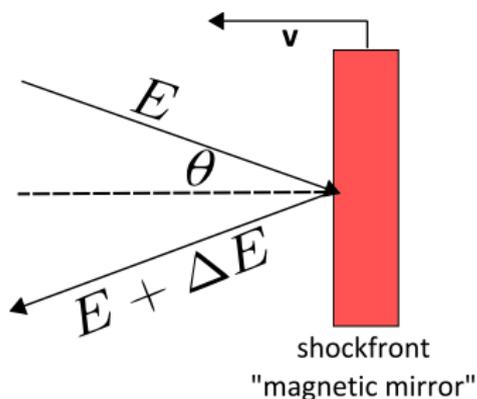
⇒ Fermibeschleunigung:



Physikalische Motivation

- Nicht alle Flussspektren können angefitet werden
- Modellierung der Elektronenbeschleunigung an Schockfronten bis zu $E \geq 10^{12} \text{ eV}$

⇒ Fermibeschleunigung:

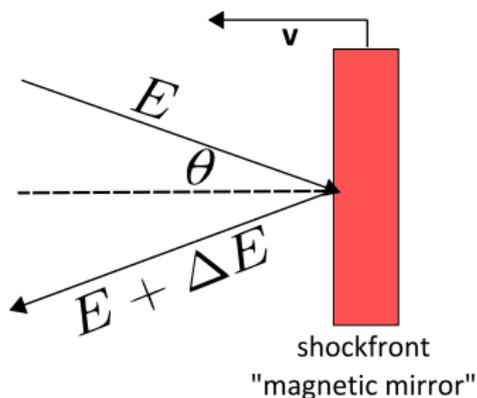


- relativistische Elektronen werden perfekt Zurückgestreut „magnetic mirror“

Physikalische Motivation

- Nicht alle Flussspektren können angefitet werden
- Modellierung der Elektronenbeschleunigung an Schockfronten bis zu $E \geq 10^{12} \text{ eV}$

⇒ Fermibeschleunigung:

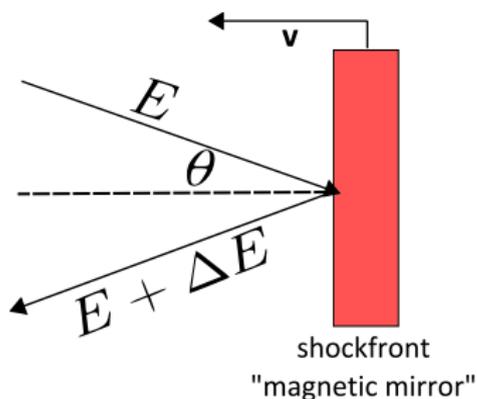


- relativistische Elektronen werden perfekt Zurückgestreut „magnetic mirror“
- Energiegewinn ΔE wegen \vec{v} der Schockfront

Physikalische Motivation

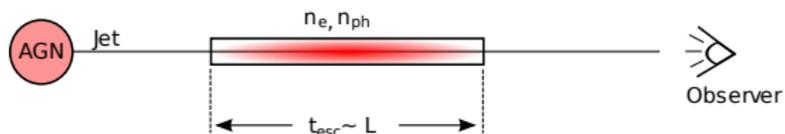
- Nicht alle Flussspektren können angefitet werden
- Modellierung der Elektronenbeschleunigung an Schockfronten bis zu $E \geq 10^{12} \text{ eV}$

⇒ Fermibeschleunigung:

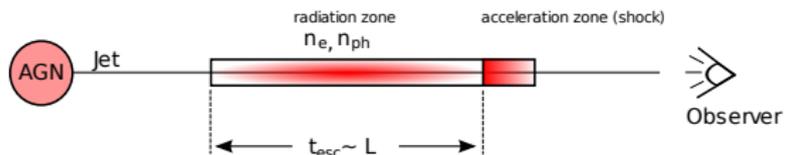


- relativistische Elektronen werden perfekt Zurückgestreut „magnetic mirror“
- Energiegewinn ΔE wegen \vec{v} der Schockfront
- Energiegewinn pro Zeit: $\frac{dE}{dt} \propto E$, $E \propto \gamma$

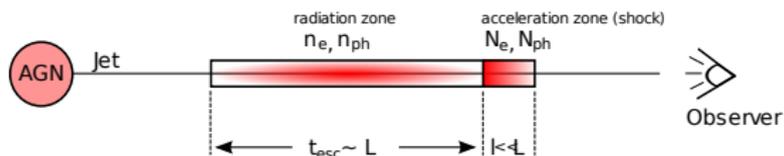
Fermibesleunigung in der Elektronengleichung



Fermibeschleunigung in der Elektronengleichung



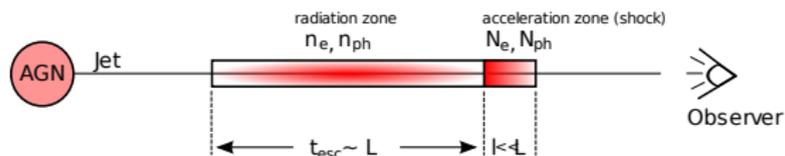
Fermibeschleunigung in der Elektronengleichung



Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial N_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(N_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c) - \frac{\gamma N_e(\gamma)}{t_{acc}} \right) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{Nesc}} + Q_{acc}(\gamma)$$

Fermibeschiebung in der Elektronengleichung

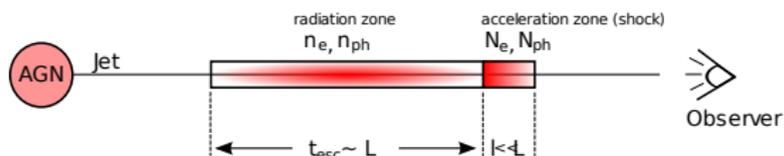


Elektronenzahldichte

$$\frac{\partial N_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(N_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c) - \frac{\gamma N_e(\gamma)}{t_{\text{acc}}} \right) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{\text{Nesc}}} + Q_{\text{acc}}(\gamma)$$

- $\frac{\gamma N_e(\gamma)}{t_{\text{acc}}}$ beschreibt Energiegewinn durch Fermibeschiebung

Fermibesleunigung in der Elektronengleichung

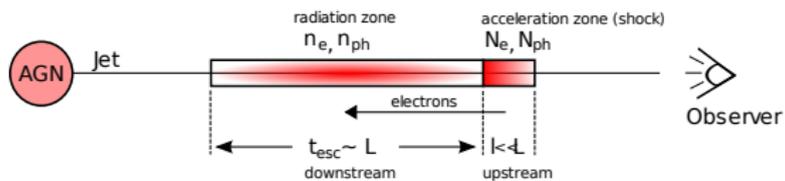


Elektronenzahldichte

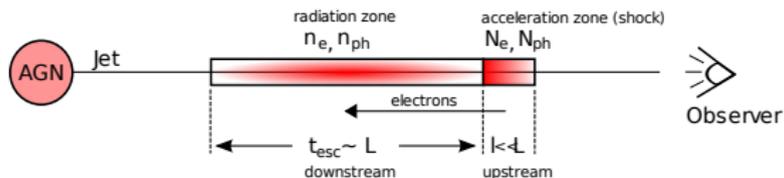
$$\frac{\partial N_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(N_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c) - \frac{\gamma N_e(\gamma)}{t_{\text{acc}}} \right) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{\text{Nesc}}} + Q_{\text{acc}}(\gamma)$$

- $\frac{\gamma N_e(\gamma)}{t_{\text{acc}}}$ beschreibt Energiegewinn durch Fermibesleunigung
- t_{acc} beschreibt Zeitskala der Beschleunigung ($\ll t_{\text{esc}}$)

Kopplung der Zonen



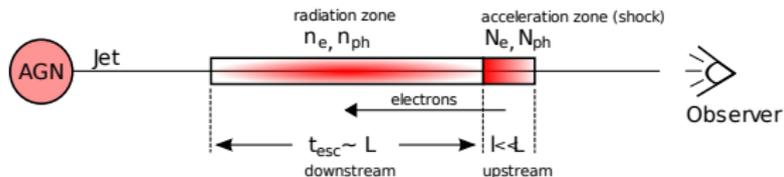
Kopplung der Zonen



Beschleunigungszone

$$\frac{\partial N_e(\gamma)}{\partial \gamma} = \frac{\partial}{\partial t} \left(N_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{\text{acc}}} \right) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{\text{Nesc}}} + Q_{\text{acc}}(\gamma)$$

Kopplung der Zonen



Beschleunigungszone

$$\frac{\partial N_e(\gamma)}{\partial \gamma} = \frac{\partial}{\partial t} \left(N_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{acc}} \right) - \frac{N_e(\gamma)}{t_{Nesc}} + Q_{acc}(\gamma)$$

Strahlungszone

$$\frac{\partial n_e(\gamma)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (n_e(\gamma) (\dot{\gamma}_s + \dot{\gamma}_c)) - \frac{n_e(\gamma)}{t_{esc}} + \underbrace{\frac{N_e(\gamma)}{t_{Nesc}}}_{=Q(\gamma)}$$

Zusammenfassung der Ziele

- 1 Klassifikation aktiver Galaxien
- 2 Das SSC-Modell
- 3 Die Zweizonenformulierung
- 4 Zusammenfassung der Ziele**

Ziele

- Modellierung des Fermi-Beschleunigungsprozesses
 - inklusive Synchrotron und
 - Invers-Compton Prozesse
- \Rightarrow Elektronenspektrum im Jet physikalisch sinnvoll erzeugt
- \Rightarrow Elektronenspektrum ist kein Fitparameter mehr

Ziele

- Modellierung des Fermi-Beschleunigungsprozesses
 - inklusive Synchrotron und
 - Invers-Compton Prozesse
- \Rightarrow Elektronenspektrum im Jet physikalisch sinnvoll erzeugt
- \Rightarrow Elektronenspektrum ist kein Fitparameter mehr
- Modellierung von Flares durch Variation der Injektionsfunktion (Q_{acc}) in die Beschleunigungszone
- \Rightarrow Mehr Variabilität der Flussspektren möglich (z.B. PKS 2155–304)
 - kurze Variabilitätszeitskalen
 - “Hard-Lag” bei Flares

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!