Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

Martina Weiß (Uni Würzburg)
Astroteilchenschule Bärnfels
Oktober 2006

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Motivation:
  - Plasmasimulation
    - Teilaspekt:

      - Zufluss hochenergetischer Teilchen
      - Beschreibung der Bewegung dieser Teilchen im Plasma

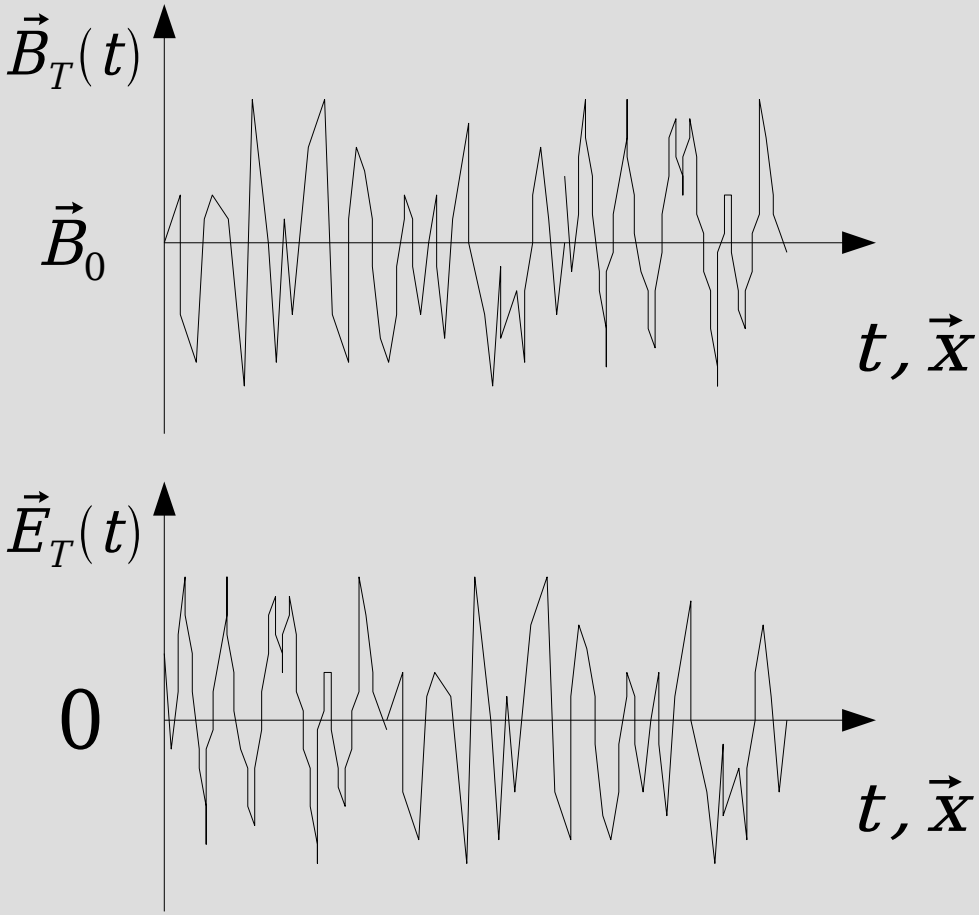
      - Komplikation:
        Plasmaturbulenzen

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Gliederung
  - Turbulenzen im Plasma
  - Beschreibung der Wechselwirkung mit:
    - relativistischen Vlasov-Gleichung
    - Fokker-Planck-Gleichung
  - Ermittlung der Fokker-Planck-Koeffizienten durch Testteilchensimulationen

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

Gestalt der turbulenten Felder im Plasma:



$$\vec{B}_T(t) = \vec{B}_0 + \delta\vec{B}(\vec{x}, t)$$

$$\vec{E}_T = \delta\vec{E}(\vec{x}, t)$$

$$mit \quad \vec{E}_0 = 0$$

da Plasma stark leitend

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- relativistische Vlasov-Gleichung der Verteilungsfunktion $f_a(\vec{x}, \vec{p}, t)$:

$$\underbrace{\frac{(\partial f_a)}{(\partial t)} + \vec{v}\frac{(\partial f_a)}{(\partial x)} + \dot{\vec{p}}\frac{(\partial f_a)}{(\partial p)}}_{\frac{df_a}{dt}} = S_a(\vec{x}, \vec{p}, t)$$

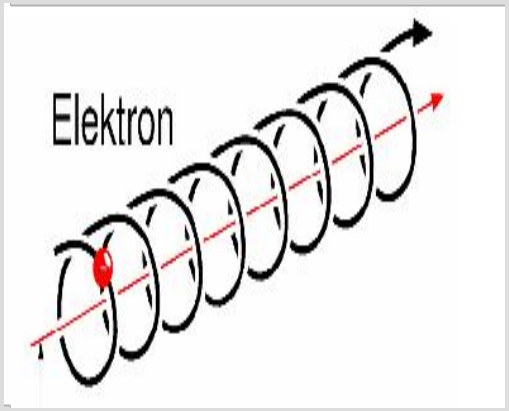
$$\dot{\vec{p}} = q_a\left[\vec{E}_T(\vec{x}, t) + \frac{(\vec{v} \times \vec{B}_T(\vec{x}, t))}{c}\right]$$

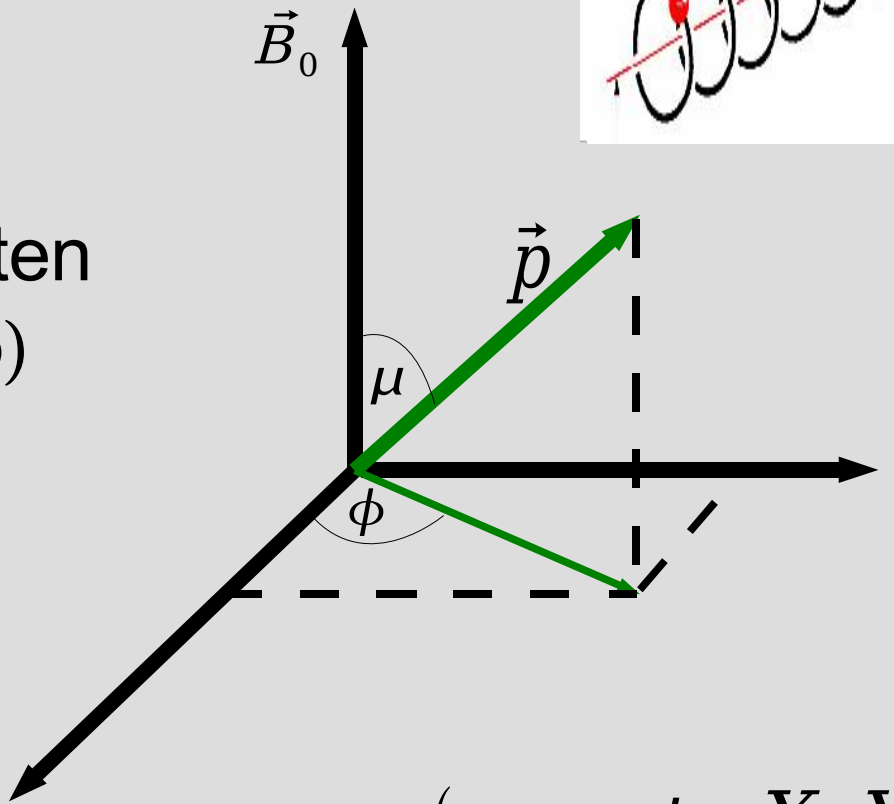
$$\dot{\vec{x}} = \vec{v} = \frac{\vec{p}}{(\gamma m)}$$

S_a: Quellfunktion

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Übergang zu neuem Koordinatensystem:
  - betrachte Führungszentrum im Ortsraum (X,Y,Z)
  - spherische Koordinaten im Impulsraum (p,μ,ϕ)

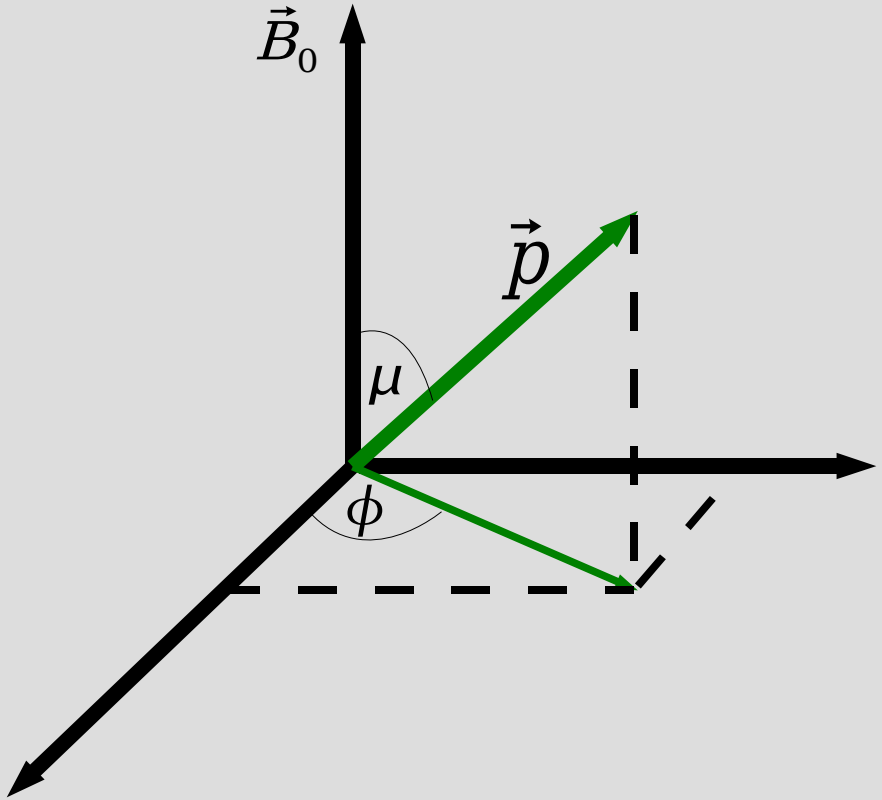




$$x_\sigma = (p, \mu, \phi, X, Y, Z)$$

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Effekt der Turbulenzen auf die Teilchenverteilung wird durch fluktuierende Kraftterme beschrieben:



$$g_p = \dot{p} = \ldots$$

$$g_\mu = \dot{\mu} = \ldots$$

$$\vdots$$

$$mit$$

$$g_{x_\sigma}(\delta\vec{B}, \delta\vec{E})$$

$$x_\sigma = (p, \mu, \phi, X, Y, Z)$$

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

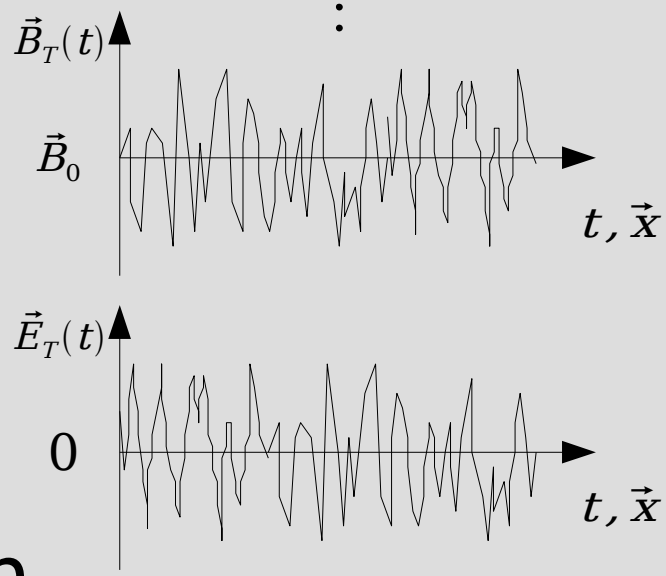
unterschiedliche Realisierung der fluktuierenden Kraftterme

$g_p = \dot{p} = \ldots$

$g_\mu = \dot{\mu} = \ldots$

$\vdots$

kein Interesse an Auswirkung einer bestimmten Fluktuation, stattdessen:



→ Nur Interesse an gemitteltem Verhalten der Verteilungsfunktion:

$$\langle f_a(\vec{x},\vec{p},t)\rangle = F_a(\vec{x},\vec{p},t)$$

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Fokker-Planck-Gleichung :
  Vlasov Gleichung für F_a

$$\frac{(\partial F_a)}{(\partial t)} + v\mu \frac{(\partial F_a)}{(\partial Z)} + \epsilon \Omega \frac{(\partial F_a)}{(\partial \phi)} = S_a(\vec{x}, \vec{p}, t) + \frac{1}{p^2} \frac{\partial}{(\partial x_\sigma)} \left(p^2 D_{x_\sigma x_\nu} \frac{(\partial F_a)}{(\partial x_\nu)} \right)$$

- Mit den Fokker-Planck-Koeffizienten:

$$D_{\sigma\nu}(x_\eta, t) = \int_0^t ds \langle \bar{g}_{x_\sigma}(t) \bar{g}_{x_\nu}(s) \rangle$$

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Ermittlung der Fokker-Planck-Koeffizienten mit Hilfe von Testteilchensimulationen:
  - Beschreibung des Plasmas duch MHD-Code
  - Einbringen von Testteilchen
  - Untersuchung der Bewegung der Testteilchen im Plasma

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

$$D_{\mu\mu} = \lim_{t \to \infty} \frac{\langle (\Delta \mu)^2 \rangle}{2t} \qquad D_{pp} = \lim_{t \to \infty} \frac{\langle (\Delta p)^2 \rangle}{2t}$$

- $\Delta\mu$ und Δp :
durch stochastische Feldkomponenten hervorgerufene Verschiebungen in μ und p

- d.h.: $\Delta\mu$ und Δp aus Simulation und damit Berechung der Fokker-Planck-Koeffizienten

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Zusammenfassung
  - hochenergetische Teilchen in turbulentem Plasma
  - Beschreibung der gemittelten Teilchenbewegung mit Hilfe der Fokker-Planck-Gleichung
  - Dafür benötigt: Fokker-Planck-Koeffizienten
  - Ermittlung der Fokker-Planck-Koeffizienten mit Testteilchensimulationen

Wechselwirkung von kosmischer Strahlung und Plasmaturbulenz

- Quellen:
  - R. Schlickeiser, Cosmic Ray Astrophysics
  - R. Schlickeiser, Galactic origin of ultrahigh-energy cosmic rays I. Fast magnetosonic waves