

# Simulation von Radioemission in ausgedehnten Luftschauern

## Astroteilchenschule Erlangen 2009

Marianne.Ludwig@kit.edu

IEKP/KIT - Karlsruhe Institute of Technology

7.10. - 15.10.2009

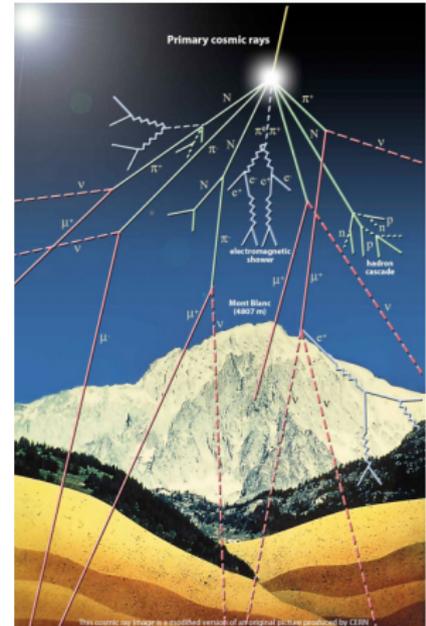


PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY



# Radioemission in Luftschauern

- Elektronen und Positronen werden in Luftschauer erzeugt
- zwei Emissionsmechanismen für Radiostrahlung bekannt:
  - Geomagnetisches Modell (dominant in Luft)
  - Cherenkov-ähnliche Strahlung (dominant in Eis,...)
- Messung von Radioemission als Ergänzung zu SD / komplementär zu FD
- kosteneffizient ,  $\sim 100\%$  effektive Arbeitszeit
- sensitiv für Energie, Richtung, Masse des Primärteilchens der kosmischen Strahlung



## makroskopisches Modell

Transversale Ströme

- "durchschnittliche Driftgeschwindigkeit"
    - viele WW, kurze freie Weglänge
    - Bild: "Widerstand in Leiter"
  - Annahme: keine signifikanten Beiträge durch Beschleunigung einzelner Teilchen
- ⇒ Regime mit kurzer freier Weglänge (z.B. dichte Atmosphäre)

## mikroskopisches Modell

Geosynchrotronmodell

- Beschleunigung einzelner Teilchen
    - wenig WW, "lange" freie Weglänge
    - Bild: ungehinderte Beschleunigung der Teilchen
  - Emission durch Variation der Anzahl von Ladungsträgern fehlt
- ⇒ Regime mit langer freier Weglänge (z.B. wenig dichte Atmosphäre)

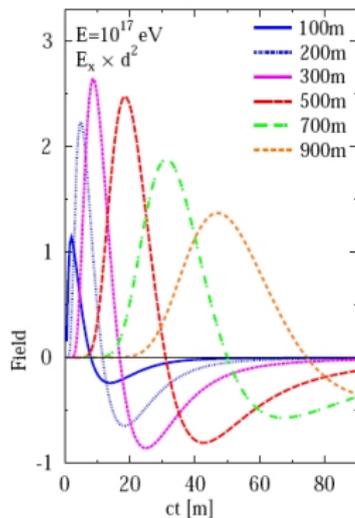
cf. Gousset, Lamblin, Valcares

# Pulsform beider Modelle

Unterschiede in zeitlicher Struktur und in Amplitude der Pulse

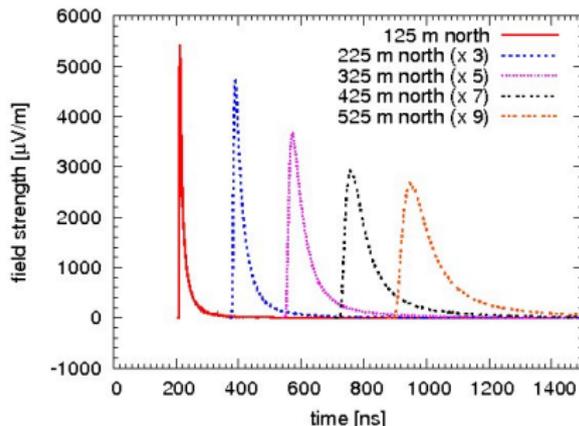
## makroskopisch: bipolare Pulse

O.Scholten [2008APh, 29,p94-103]



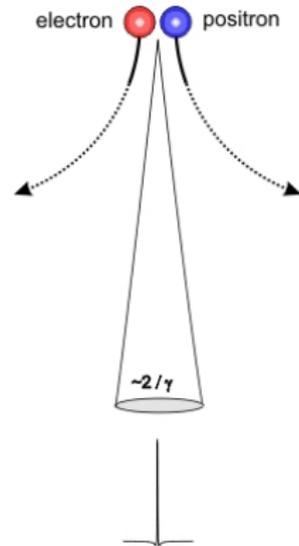
## mikroskopisch: unipolare Pulse

T.Huege



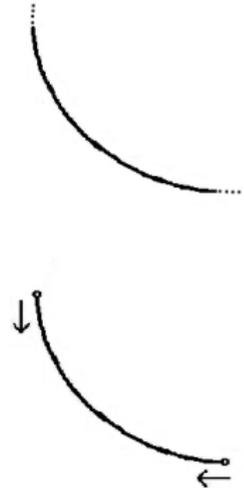
# Das Geosynchrotronmodell

- hochrelativistische Elektronen und Positronen werden in Luftschauer erzeugt
  - Erdmagnetfeld bewirkt Lorentzkraft auf  $e^-$  und  $e^+$ 
    - Ablenkung auf Kreisbahn
  - Emission kohärenter Synchrotronstrahlung (Frequenzbereich MHz)
- ⇒ sogenannte *Geosynchrotronstrahlung*



# Ergänzung um Ladungsvariation (Geosynchrotronmodell)

- bisher ist Strahlung bei "Erzeugung" und "Vernichtung" der Teilchen nicht berücksichtigt
- Einbinden dieser Strahlungsbeiträge durch "Endpunktbeiträge"
- Nettobeitrag  $\frac{dN}{dx} \neq 0$ , falls  $N_{Start}(x) \neq N_{Stop}(x)$
- Achtung: Programm beschreibt nicht reale Teilchenbahnen (lange Bahnen werden durch viele kurze Bahnen beschrieben)



- $\delta t \ll \frac{1}{\nu_{\text{Beobachtung}}}$  (instantaner Prozess bei Start/Ende)
- $\Rightarrow$  zeitlich gemittelter Beitrag von Interesse
- integrierte Feldstärke führt zu Endpunktbeiträgen:

$$\int_{\delta t} \vec{E}(\vec{x}, t) dt = \pm \frac{e}{cR} \left( \frac{\vec{n} \times (\vec{n} \times \vec{\beta})}{(1 - \vec{\beta} \cdot \vec{n})} \right)$$

+ Startpunkte

- Endpunkte

$e$  - Teilchenladung

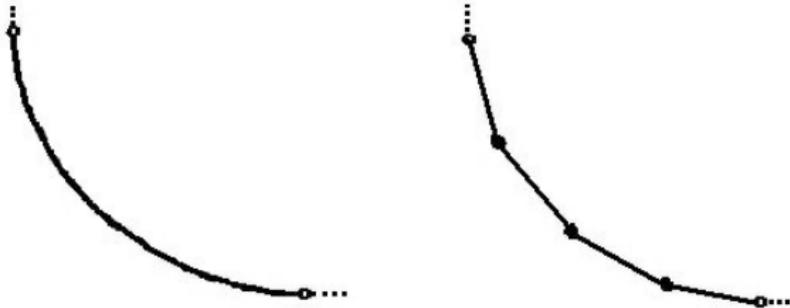
$\vec{\beta} = \vec{v}/c$  - durch Teilchengeschwindigkeit gegeben

$R = |\vec{R}|$ ;  $|\vec{R}|$  - Vektor zwischen Teilchen und Beobachter

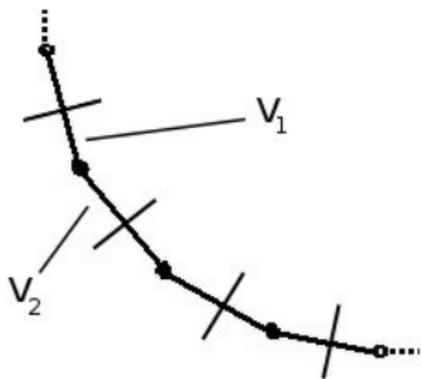
$\vec{n} = \vec{R}/R$  - Sichtlinie zwischen Teilchen und Beobachter

# Problem: Kombination kontinuierlicher und diskreter Beschreibung

- Probleme (wie doppeltes Zählen,...) können bei Addition von diskreter zu kontinuierlicher Beschreibung auftreten
- konsistente Beschreibung benötigt
- untersuche Analogie zwischen gekrümmter und geknickter Bahn



- weise Analogie erst für Bahn ohne Endpunktbeiträge nach (nur Geosynchrotronbeitrag)



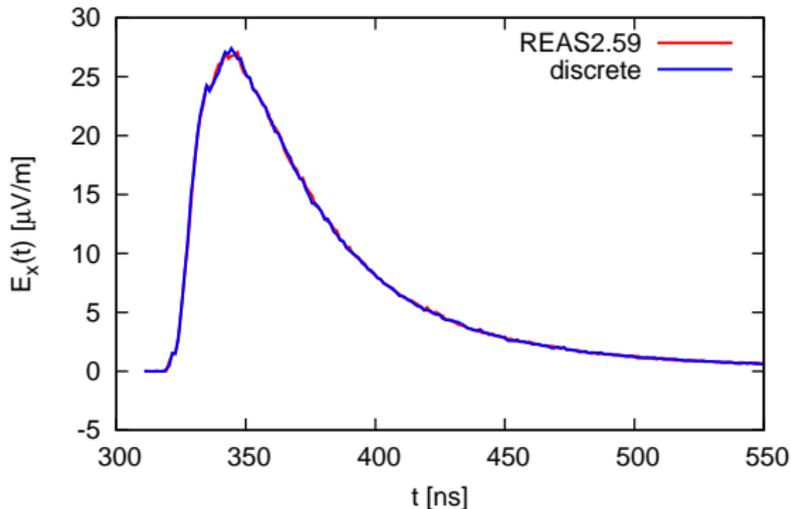
- Bahn aus geraden Segmenten mit Knicken
- Geschwindigkeitsänderung in Knick  $\Rightarrow$  Strahlungsemission
- $\vec{v}(t_1) = \vec{v}_1 \quad \vec{v}(t_2) = \vec{v}_2$

- Berechnung der Strahlung in Knickstelle:

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} \vec{E}(\vec{x}, t) dt &= \vec{F}(t_2) - \vec{F}(t_1) \\ &= \frac{e}{cR} \left( \frac{\vec{n} \times (\vec{n} \times \vec{\beta}_2)}{(1 - \vec{\beta}_2 \vec{n})} \right) - \frac{e}{cR} \left( \frac{\vec{n} \times (\vec{n} \times \vec{\beta}_1)}{(1 - \vec{\beta}_1 \vec{n})} \right) \end{aligned}$$

- vergleiche neue Beschreibung mit Original

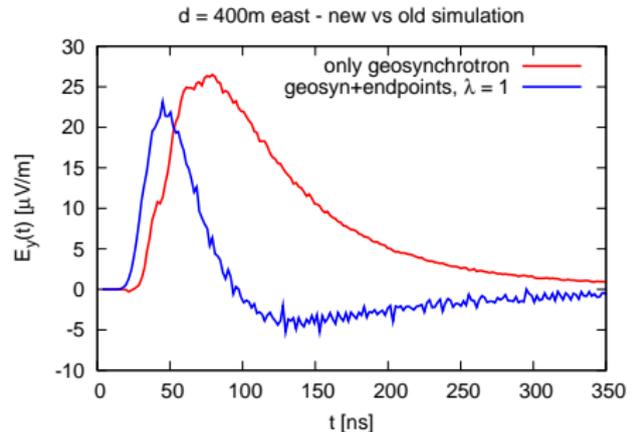
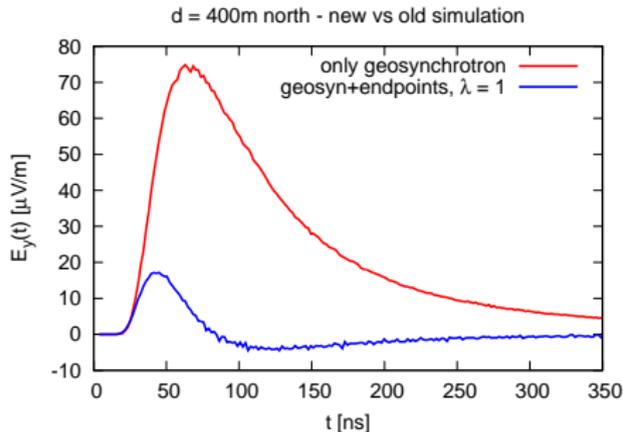
d = 262.50m to north ( $\phi=0$  deg)



- Pulse stimmen überein
- diskrete Beschreibung ist äquivalent zu kontinuierlicher
- in diskretem Bild sind Endpunkte Knicke mit  $\vec{v}_i = 0 \neq \vec{v}_j$

# Vergleich zwischen altem und neuem mikroskopischen Modell

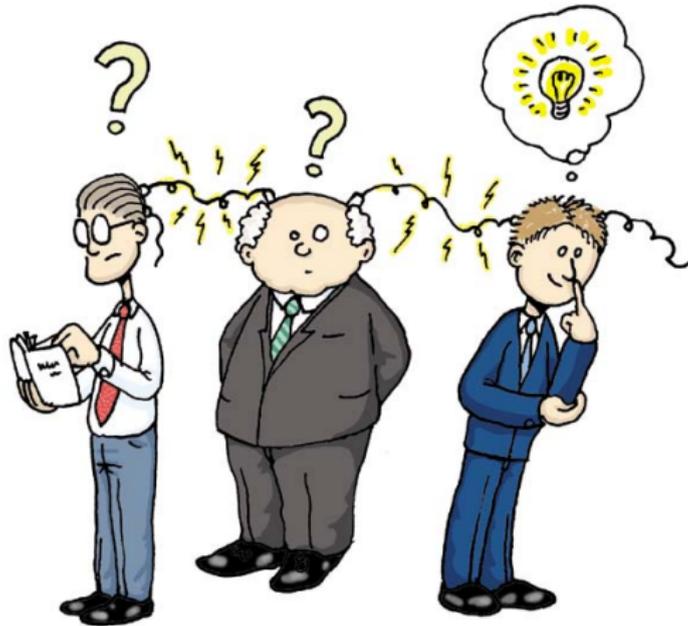
- vergleiche Beobachter 400m östlich und nördlich der Schauerachse mit  $E_p = 10^{17}$  eV



- mit Endpunkten ergeben sich bipolare Pulse
- reine Geosynchrotronbeiträge sind asymmetrisch, mit Endpunkten beinahe symmetrisch
- Pulshöhe eher kleiner

- $e^-$  und  $e^+$  emittieren Radiostrahlung in Luftschauer
- Geosynchrotronmodell muss um Emissionsbeiträge aus Variation der Anzahl der Ladungsträger erweitert werden
- benutze dafür diskrete Beschreibung für konsistente Beschreibung der Endpunkt- und Geosynchrotronbeiträge
- Ergebnis mit Endpunkten: bipolare Pulse
- **Ausblick:**
  - Konsistenztests müssen gemacht werden
  - optimiere Simulation (technisch, numerisch)
  - Vergleich zwischen mikroskopischem und makroskopischem Modell
  - Vergleich zwischen Daten und Simulation

Vielen Dank!



Fragen?