

# Detektionen von Gammablitzen im TeV-Bereich

---

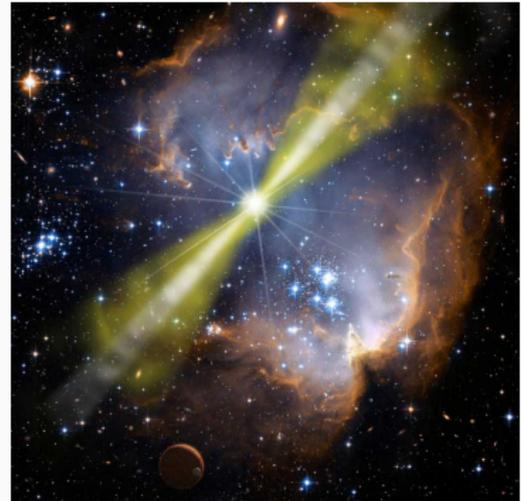
Henry Krämerkämper

16. Februar 2023

Technische Universität Dortmund

# Was sind Gammablitz?

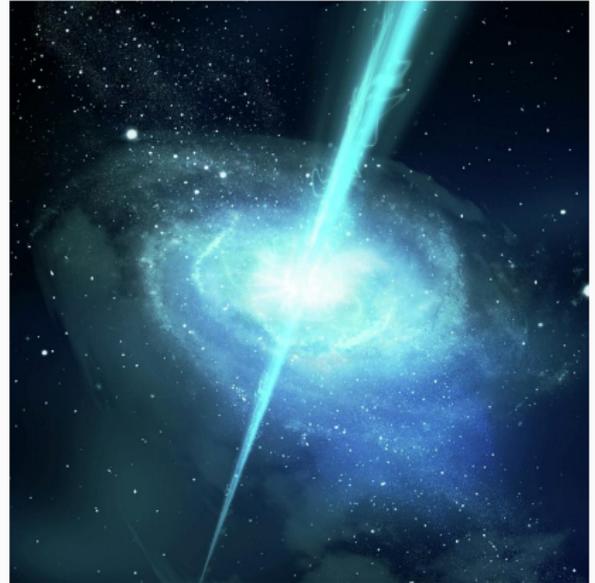
- Irreguläre Pulse elektromagnetischer Strahlung
- Besitzen von allen bekannten Quellen elektromagnetischer Strahlung im Universum die höchste Leuchtkraft
- Spektrum besitzt Maximum im Bereich der  $\gamma$ -Strahlung (Photonenenergien  $10^1$  keV –  $10^4$  keV)
- Sind isotrop über den Himmel verteilt zu beobachten → kosmischer Ursprung



Hrybyk-Keith und Jones 2008

# Was sind Gammablitz?

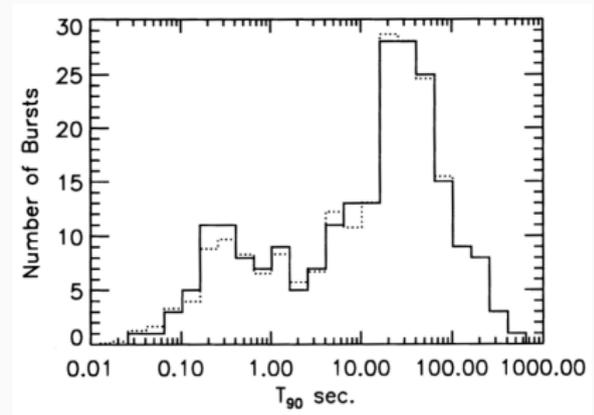
- Bestehen aus einer zentralen 'Engine', welche kollimierte Jets abstrahlt
- Öffnungswinkel zwischen  $2^\circ$  und  $20^\circ$
- Die Strahlung wird also nicht isotrop abgegeben → Detektionen seltener!
- Zwei Phasen der Strahlungsabgabe:
  - schnell abfallende, hoch variable **prompte** Emissionskomponente
  - langsamer nachlassender **Afterglow**



Ritsch 2018

- Histogramm der bisher beobachteten Gammablitze weist zwei lokale Maxima auf:
  - Dauer von 0,3s
  - Dauer von 30,0s
- Beide Klassen von GRBs sind isotrop über den Himmel verteilt

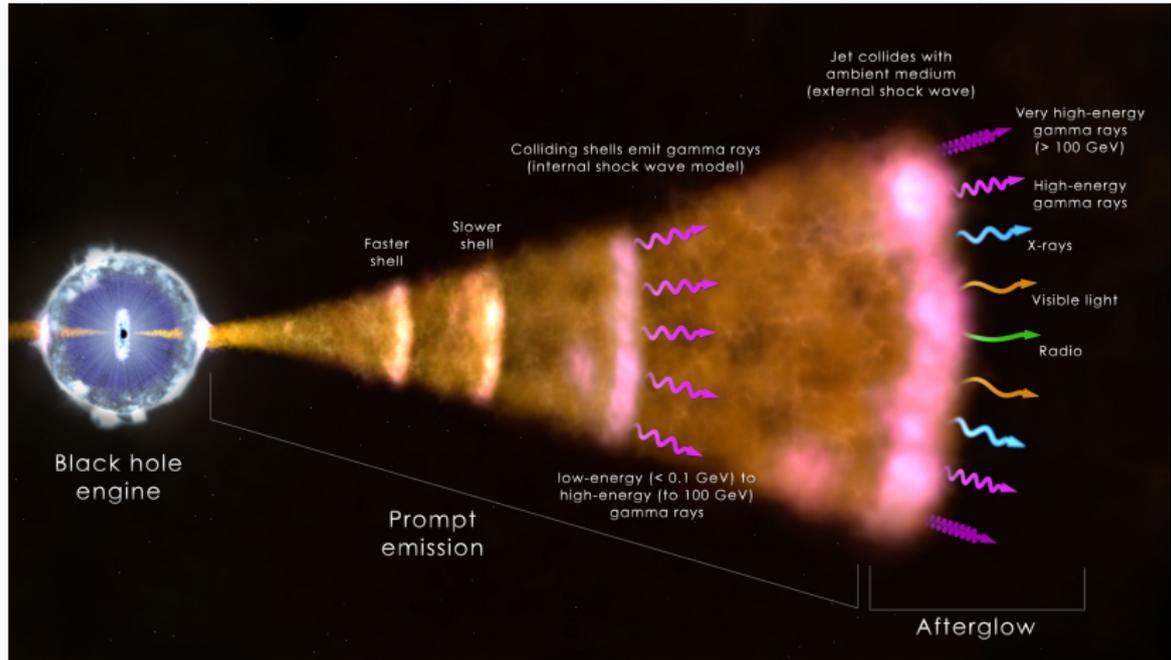
**Abbildung 1:** Histogramm des ersten BATSE-Katalogs von GRBs, sortiert nach der Zeit  $T_{90}$ .



Kouveliotou u. a. 1993

- Vermutung: zwei grundsätzlich verschiedene Entstehungsmechanismen
- Lange Gammablitze sind mögliches Ergebnis des Kollaps eines Sterns mit mehr als  $15 M_{\odot}$
- Zumindest einige der kurzen Gammablitze entstehen durch Verschmelzung zweier kompakter Objekte in Binärsystemen
- **Aber:** Verbindung zwischen Entstehungsprozess und Dauer der Gammablitze ist nicht vollständig verstanden und möglicherweise komplizierter

- Kausalitätsargument: der Vorläufer eines Gammablitzes kann aufgrund der kurzen Dauer des Blitzes nicht mehr als 100 km Durchmesser besitzen
- Jet muss in der Lage sein, Teilchen auf relativistische Energien zu beschleunigen
- **Lange GRBs**
  - Supernova: Sterne mit mehr als  $15 M_{\odot}$  und genügend starker Rotation kollabieren zu rotierendem schwarzen Loch
  - Umliegendes Gas heizt sich in Akkretionsscheibe stark auf, es entstehen Jets senkrecht zur Scheibe
- **Kurze GRBs**
  - Kollision zweier Neutronensterne: bei Reorganisation des Magnetfeldes bildet sich Jet-Struktur entlang der Rotationsachse der beiden Neutronensterne
- Innerhalb des Jets entsteht der Gammablitz



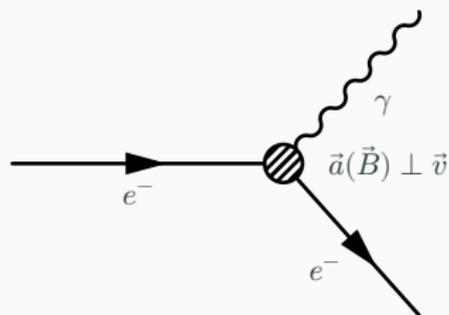


Abbildung 2: Synchrotronstrahlung (schematisch)

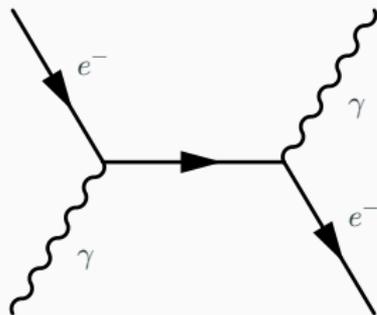


Abbildung 3: Inverse Compton-Streuung (schematisch)

## Ablauf

1. Elektron wird durch ein Magnetfeld senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung beschleunigt und gibt Synchrotronstrahlung ab
2. Das durch Synchrotronstrahlung abgegebene Photon streut an einem höherenergetischen Elektron und erhält Energie (inverse Compton-Streuung)

→ Photonen können so zu höheren Energien gelangen als mit purer Synchrotronstrahlung möglich wäre

## Prompte Strahlungskomponente

- Blitze von  $\gamma$ -Strahlen mit hauptsächlich MeV-Energien
- Irregulär, variabel auf Zeitskalen  $< \text{ms}$
- Entstehung vermutlich aufgrund der internen Schocks im Jet
- Prozesse: Synchrotron-Self-Compton-Modell (SSC) erklärt Beobachtungen bisher am besten

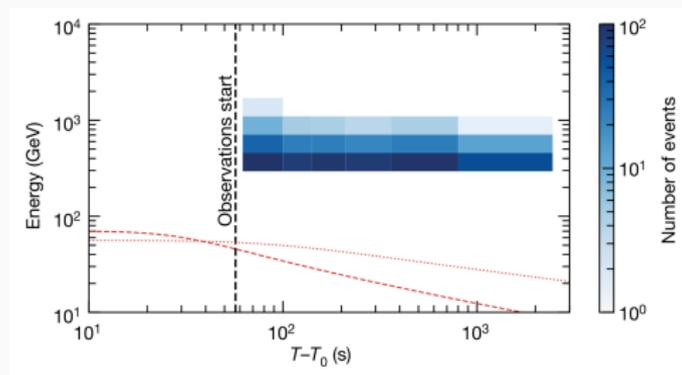
## Afterglow

- Photonen hauptsächlich mit Energien zwischen dem Radio- und dem Röntgenbereich  $\rightarrow$  deutlich breiteres Spektrum
- Erzeugung des Afterglows vermutlich im Zusammenstoß des Jets mit dem externen Medium, dem externen Schock
- Prozesse: allg. interpretiert als Synchrotronstrahlung der relativistischen Elektronen

## Der Gammablitz GRB190114C

- Detektion von  $\gamma$ -Strahlen im Afterglow mit Energien von 0,2 TeV – 1 TeV
- Bisher unbekannte Komponente des Afterglows
- Kann nicht (anders als bei bisher beobachtete GRBs) nur durch Synchrotronstrahlung der Elektronen erklärt werden
- Energieabgabe der Elektronen durch Synchrotronstrahlung besitzt Maximum: synchrotron burnoff limit

**Abbildung 4:** Verteilung der  $\gamma$ -Strahlen-Events im TeV-Band in Zeit und Energie der GRB190114C.



## Synchrotronstrahlung hochenergetischer Hadronen

- Hadronen innerhalb des externen Schocks (z.B. Protonen) könnten durch Synchrotronstrahlung Photonen mit TeV-Energien erzeugen
- Hohe Masse der Protonen sorgt für geringe Effizienz → unrealistisch hohe Energie nötig um detektierte TeV-Komponente zu erklären

## Synchrotron-Self-Compton-Streuung (SSC)

- Würde ähnliche Signatur des Synchrotron-Afterglows und der TeV-Komponente erklären
- Auch möglich: SSC in der prompten Emissionsphase; kann aber nur etwa 20 % der TeV-Photonen und nur am Anfang des Afterglows erklären
- **SSC-Komponente im Afterglow** erklärt Beobachtungen am besten
- Ist im Einklang mit der Detektion des GRB180720B, welche ebenfalls eine hochenergetische Komponente im Afterglow aufweist

- Großer Fortschritt im Verständnis der Prozesse des GRB-Afterglows
- Ermöglicht durch Multiband-Observation von Gammablitzes durch MAGIC
- Trotzdem: Viele Prozesse in GRBs sind wenig verstanden
  - Viele Theorien, welche durch weitere Detektionen validiert/falsifiziert werden können

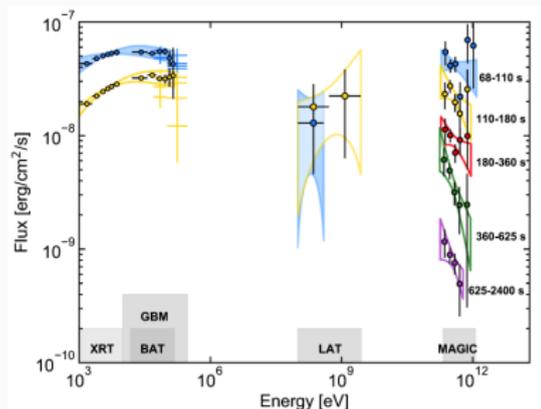


Abbildung 5: Multiband-Spektren des GRB190114C.

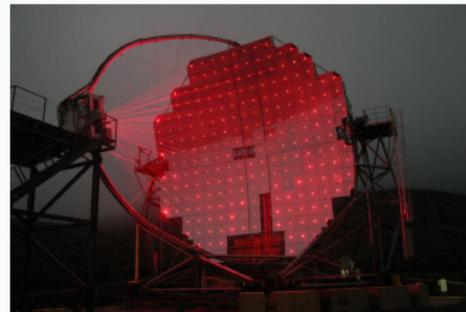


Abbildung 6: Das MAGIC-I Teleskop.

Wagner 2004

Veres u. a. 2019

## Literatur

---

-  Abdalla, H. u. a. (Nov. 2019). „A very-high-energy component deep in the  $\gamma$ -ray burst afterglow“. In: *Nature* 575.7783, S. 464–467. DOI: 10.1038/s41586-019-1743-9. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1743-9>.
-  Hrybyk-Keith, Mary Pat und John Jones (2008). *Artists illustration of one model of GRB 080319B*.
-  Kouveliotou, Chryssa u. a. (Aug. 1993). „Identification of Two Classes of Gamma-Ray Bursts“. In: *The Astrophysical Journal* 413, S. L101. DOI: 10.1086/186969.
-  Kumar, Pawan und Bing Zhang (Feb. 2015). „The physics of gamma-ray bursts and relativistic jets“. In: *Physics Reports* 561, S. 1–109. DOI: 10.1016/j.physrep.2014.09.008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2014.09.008>.
-  MAGIC-Collaboration (Nov. 2019). „Teraelectronvolt emission from the  $\gamma$ -ray burst GRB 190114C“. In: *Nature* 575.7783, S. 455–458. DOI: 10.1038/s41586-019-1750-x. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1750-x>.
-  Mészáros, P. (2002). „Theories of Gamma-Ray Bursts“. In: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 40.1, S. 137–169. DOI: 10.1146/annurev.astro.40.060401.093821. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.40.060401.093821>.

-  NASA/GSFC/ICRAR (Nov. 2019). *Mechanism of Gamma Ray Bursts*. URL: <https://en.es-static.us/upl/2019/11/gamma-ray-burst-mechanism-lg.jpg>.
-  Ritsch, Harald (2018). *Gamma Ray Burst (GRB) Illustration*.
-  Veres, P. u. a. (Nov. 2019). „Observation of inverse Compton emission from a long  $\gamma$ -ray burst“. In: *Nature* 575.7783, S. 459–463. DOI: 10.1038/s41586-019-1754-6. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1754-6>.
-  Wagner, Robert (Okt. 2004). *The MAGIC Telescope at night*. URL: <https://apod.nasa.gov/apod/ap041015.html>.