

# Astroteilchenphysik II: Gamma-Astronomie

Ralph Engel und Markus Roth Übungsleiter David Schmidt Institut für Kernphysik Markus.Roth@kit.edu





http://abstrusegoose.com/275



This is how scientists see the world.

### Vorlesung I: Übersicht und Einleitung

#### **Organisatorische Information**

- Vorlesung, Webseite, etc.
- Prüfung, Schein, Übungen
- Literatur und andere Quellen

#### Astroteilchenphysik II: Gamma-Astronomie (Sommersemester)

Inhaltliche Zusammenschau in Bildern

- Energiebereich der Gammastrahlung
- Nachweis von Gammastrahlung
- Supernova-Überreste und Neutronensterne
- Multi-messenger-Astronomie
- Aktive Galaktische Kerne und Schwarze Löcher
- Gammastrahlen-Blitze

#### Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung (Wintersemester)

- galaktische und extra-galaktische kosmische Strahlung
- Experimenteller Nachweis, aktuelle Messergebnisse
- Quellen und Ausbreitung

#### Vorlesungsdetails

- Vorlesung: Donnerstags 14:00-15:30 Uhr, Zoom-Videokonferenz Details erhältlich über ILIAS
- Übung: Dienstags 15:45 17:15 Uhr, Zoom-Video-Konferenz
- Anmerkung: Die Vorlesung kann vor der Vorlesung Astroteilchenphysik I begonnen werden. Beide Vorlesungen sind komplementär angelegt.
- Sprechstunde: Per E-Mail und dann ggf. per Zoom
- E-Mail-Liste: Übungsaufgaben, Terminänderungen, etc. über ILIAS
- Vorkenntnisse (erwünscht): Kursvorlesung Moderne Experimentalphysik III (Physik VI, Kerne und Teilchen)
- Vortragsstil: Onlinevorlesung mit handschriftlichen analytischen Rechnungen an der Elektronischen Tafel.
- Skript: Die vorab erstellten Vortragsfolien werden elektronisch zur Verfügung gestellt.

# Vorlesung und Übungen : Daten

	Dienstag		Donnerstag	
Übungen:	_		23.04.2020	Vorlesung
			30.04.2020	Vorlesung
- Gehalten von David Schmidt - LÜbungsblatt alle 2-3 Wochen			07.05.2020	Vorlesung
- I. Übungsblatt nächste Woche	12.05.2020	Übung	14.05.2020	Vorlesung
21.04.2020	_		-	Feiertag
28.04.2020			28.05.2020	Vorlesung
05.05.2020	_		04.06.2020	Vorlesung
19.05.2020	09.06.2020	Übung	-	Feiertag
02.06.2020	_		18.06.2020	Vorlesung
09.06.2020 16.06.2020	23.06.2020	Übung	25.06.2020	Vorlesung
23.06.2020	_		02.07.2020	Vorlesung
07.07.2020	07.07.2020	Übung	09.07.2020	Vorlesung
14.07.2020 21.07.2020			16.07.2020	Vorlesung
	21.07.2020	Übung	23.07.2020	Vorlesung

### Erweiterte Übungen

Gegeben die aktuelle Situation stellen wir uns erweiterte Übungen als Erarbeitung einer Hausarbeit zur Vertiefung eines speziellen Themas:

- Dies können passende selbstgewählte Themen sein
- oder vorgegebene Themen, z.B.
  - Sternentstehung
  - Gamma Ray Bursts
  - Fermi-Bschleunigung erster und zweiter Art
  - Nachweis von Gamma-Strahlung mit Cherenkov-Teleskopen
  - Highlights des AMS II-Detektors auf der ISS

### Inhaltsübersicht für geplante Vorlesungen

- Einführung und Übersicht
- Grundlagen, Wechselwirkung von Teilchen
- Beschleunigung geladener Teilchen
- Entstehung von Gamma-Strahlung
- Messung von Gamma-Strahlung
- Supernova-Explosionen und -Überreste
- Neutronensterne und Pulsare
- Aktive Galaktische Kerne
- Schwarze Löcher
- Gamma-Strahlen-Blitze (Gamma Ray Bursts)
- Suche nach astrophysikalischen Neutrinos und
  - exotischen Phänomenen (Axionen, etc.)

#### Studienplan für den Master-Studiengang Physik

n	Physikalisches Schwerpunktfach und Masterarbeit	Physikalisches Er- gänzungsfach	Physikalisches Ne- benfach	Praktika	Nichtphysik. Wahlpfl.fach	Überfachliche Quali- fikationen	LP	
	Module des Physik. Schwerpunktfachs	Module des Physik. Ergänzungsfachs	Module des Physik. Nebenfachs*	Fortgeschrittenen- praktikum*			30	
	8	8	8	P4 6				
	Module des Physik. Schwerpunktfachs	Module des Physik. Ergänzungsfachs			Module des Nicht- physik. Wahlpfl.fachs*	ÜQ - überfachl. Qua- lifikationen*	30	
	12	6			8	4		
	Spezialisierungs- phase						30	
	15							-
	Einf. wiss. Arbeiten							
	15							
	Masterarbeit						30	
	30							

Summe: 120

#### Auszug aus Modulhandbuch -Physik (Master of Science) Experimentelle Astroteilchenphys

	Veranstaltungen	SS20	Reg.	SWS	ECTS	SF/EF	NF
	Teilchenphysik I Particle Physics I		WS	v3p2	8	A	~
:1.	Moderne Methoden der Datenanalyse (mit/ohne erw. Übungen)* Modern Methods of Data Analysis (with/without ext. exercises)		SS	v2p4/v2p2	8/6		~
IK	Elektronik für Physiker Electronics for Physicists		WS	v4p4	10	В	<b>√</b>
	Elektronik für Physiker: Analogelektronik Electronics for Physicists: Analog Electronics		WS	v2p2	6	С	✓
	Elektronik für Physiker: Digitalelektronik Electronics for Physicists: Digital Electronics		WS	v2p2	6	D	✓
	Beschleunigerphysik (mit/ohne erw. Übungen) Accelerator Physics (with/without ext. exercises)		WS	v4u1/v4u0	8/6		✓
	Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik (mit/ohne erw. Übungen) Measurement Methods and Techniques in Experimental Physics (with/without ext. exercises)			v2u1p2/v2u1	8/6		-
	Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (mit/ohne erw. Übungen) Detectors for Particle and Astroparticle Physics (with/without ext. exercises)		WS	v2p4/v2p2	8/6		✓
	weitere Veranstaltungen	SS20	Reg.	sws	ECTS	SF/EF	N
	Teilchenphysik II – Flavour-Physik (mit/ohne erw. Übungen) Particle Physics II – Flavor Physics (with/without ext. exercises)		WS	v2u2/v2u1	8/6	E	~
	Teilchenphysik II – W, Z, Higgs am Collider (mit/ohne erw. Übungen) Particle Physics II – W, Z, Higgs at Colliders (with/without ext. exercises)	✓	SS	v2u2/v2u1	8/6	F	~
	Teilchenphysik II – Top-Quarks und Jets am LHC (mit/ohne erw. Übungen) Particle Physics II – Top Quarks and Jets at the LHC (with/without ext. exercises)	✓	SS	v2u2/v2u1	8/6	G	<b>√</b>
	Hadronische Wechselwirkungen Hadronis Interactions			v2	4 ( <b>T</b> )		

#### Nebenfach (NF):

Schwerpunktfach (SF):

- A ("Teilchenphysik I")

Ergänzungsfach (EF):

Vorgeschriebene Veranstaltungen sind

- und eine aus É, F, G ("Teilchenphysik II")

Vorgeschrieben ist die Veranstaltung A ("Teilchenphysik I")

Alle Veranstaltungen, bei denen die Spalte **NF** mit 🗸 markiert ist, können verwendet werden

#### Zusätzliche Einschränkung:

Es kann **entweder B** ("Elektronik für Physiker") **oder eine aus C oder D** ("Analogelektronik" oder "Digitalelektronik") als Bestandteil des SF, EF oder NF gewählt werden

9

Experimentelle Teilchenphysik

Ser

2

3

### Auszug aus Modulhandbuch: Modul:Astroteilchenphysik II: Gamma-Astronomie

#### Lernziele:

Nach erfolgreicher Teilnahme an diesem Modul verfügt der/die Studierende über ein vertieftes Fachund Überblickswissen auf dem Feld der hochenergetischen Astroteilchenphysik mit Schwerpunkt Gamma-Astronomie und beherrscht die Methoden des Erkenntnisgewinns und deren exemplarische Anwendung.

#### Inhalt:

Es werden die Grundlagen der Astroteilchenphysik mit hochenergetischen Teilchen besprochen, wobei der Schwerpunkt auf der Anwendung der Gamma-Astronomie zur Untersuchung astrophysikalischer Objekte liegt. Ausgehend von der Beschleunigung geladener Teilchen werden in der ersten Hälfte der Vorlesungsreihe die wichtigsten Entstehungsprozesse von Gamma-Strahlung eingeführt, die Ausbreitung hochenergetischer Gamma-Strahlung diskutiert und Methoden zum Nachweis der Gamma-Strahlung auf der Erde und im Weltall vorgestellt. In der zweiten Hälfe der Vorlesungsreihe werden die folgenden astrophysikalischen Objekte und deren Abbild in Gamma-Strahlen besprochen: Supernova-Explosionen und -überreste, Neutronensterne und Pulsare, Schwarze Löcher und Aktive Galaktische Kerne, und Gamma-Blitze. Der Kurs wird abgerundet durch eine Diskussion der Suche nach zusätzlichen Dimensionen, Verletzung der Lorentz-Invarianz und exotischen Phänomenen mit Gamma-Strahlung.

Zusammen mit "Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung" ergeben die beiden Vorlesungen ein abgeschlossenes Bild hochenergetischer Teilchen mit ihren zugrundeliegenden Erzeugungs- und Transportprozessen in unserem Universum. Die Themenspektren beider Vorlesungen sind komplementär angelegt und können unabhängig gehört werden, ergänzen sich aber in geeigneter Weise.

#### Literatur und weitere Quellen: SS 20



An Introduction to Modern Astrophysics Bradley W. Carroll, Dale A. Ostlie

Lecture notes, Michael Kachelrieß: Skript von Hermann Kolanoski: http://arxiv.org/pdf/0801.4376 http://www-zeuthen.desy.de/~kolanosk/astro0910/skripte/astro.pdf

#### Literatur und weitere Quellen: SS 20



Gamma Rays, Cosmic Rays, and Neutrinos.

PRINCETON SERIES IN ASTROPHYSICS

Very High Energy Cosmic Gamma Radiation

A Crucial Window on the Extreme Universe

F. A. Aharonian



Peter Schneider

EINFÜHRUNG IN DIE Extragalaktische Astronomie und Kosmologie Hale Bradt Astrophysics Processes The Physics of Astronomical Phenomena

CAMBRIDG

# Optische Beobachtungen für kultische und ökonomische Zwecke



#### Die Zeiträder der Maya 111 🕄 11 😭 Kan, der Tagesname Ausschnitt aus einem Monat im Sonnenjahr (*haab*) ø 11 ill 😥 Tageszahl Das jeweilige ·II 😭 Haab-Datum: Q 20 Tage mit dem gleichen Ô Namenszeichen ergeben einen Monat C 4 Ahau 8 Cumku: Ċ Dieses kom-Č, binierte Datum kehrt alle Í, 13 Zahlen 20 Tagesnamen 52 Jahre Q wieder 260 Tage des S Ritualkalenders 5 (tzolkin) 1

#### Astronomie für kultische Zwecke





Giulio Magli Antonio César González-García Juan Belmonte Aviles · Elio Antonello *Editors* 





**Fig. 3.3** Rome, the Pantheon. On the left, the shaded area shows the sunlight through the oculus at noon on 21 April, when the Sun's altitude is 60° (after Hannah and Magli 2011: 495: Fig. 7). On the right is a virtual reconstruction of entrance of the Emperor into the Pantheon on 21 April (image reproduced by kind permission of John Fillwalk and The History Channel)

### ... und auch für Propaganda



Historical & Cultural Astrono Series Editor: Wayne Orchiston

Giulio Magli Antonio César González-García Juan Belmonte Aviles · Elio Antonello *Editors* 

Archaeoastronomy in the Roman World

Springer

**Fig. 6.2** A map of the western part of the Roman Empire showing the data base of the 181 Roman towns that have been measured so far. The red and pink rectangles indicate the 64 Augustan town. Red rectangles are measurements taken on-site by our team, and pink rectangles indicate measurements taken via Digital Terrain Models and orthoimages

### Oder für Kunst



**Fig. 3.20** Girls on the Pier, Edvard Munch, 1901. Art historians consider this to be the earliest example in a lengthy series of similar paintings, lithographs, woodcuts, and etchings (National Gallery, Oslo, Norway; © 2013 The Munch Museum/ The Munch-Ellingsen Group/Artists Rights Society, NY)



**Fig. 3.24** A long-standing mystery about Girls on the Pier is the absence of the yellow disk (the Moon) from the watery reflection. In this ray diagram the red line marks the eye level of an observer on the pier. As seen by the observer on the pier, the direct light rays (solid yellow line) from the Moon pass just above the roof of the house and can reach the observer's eye, but the Moon's reflection cannot be seen in the water because the house blocks the light rays (dashed yellow lines) that would create the reflected Moon (Sky & Telescope diagram. Used with permission.)



### Das elektromagnetische Spektrum



Energieskala



#### Messbereich elektromagnetischer Wellen







### Quellen hochenergetischer Strahlung: z.B. Supernova-Überreste Neutronensterne













#### Entdeckung der kosmischen Strahlung

1084 Hess, Durchdringende Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. Physik. Zeitschr. XIII, 1912.

wird sie aber gewiß gerne übernehmen; er hat auch einige meiner früheren Blitzaufnahmen übernommen.

#### Aus der Abteilung für Geophysik, Meteorologie und Erdmagnetismus:

#### ViktorF.Hess(Wien), Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten.

Im Vorjahre habe ich bereits Gelegenheit gehabt, zwei Ballonfahrten zur Erforschung der durchdringenden Strahlung zu unternehmen; über die erste Fahrt wurde schon auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe von mir berichtet1). Bei beiden Fahrten ergab sich keine wesentliche Änderung der Strahlung gegenüber der am Erdboden beobachteten bis zu 1100 m Höhe. Auch Gockel<sup>2</sup>) hatte bei zwei Ballonfahrten nicht die erwartete Abnahme der Strahlung mit der Höhe finden können. Es wurde daraus der Schluß gezogen, daß außer der y-Strahlung der radioaktiven Substanzen der Erdrinde noch eine andere Quelle der durchdingenden Strahlung vorhanden sein müsse.

Eine Subvention der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien hat es mir nun ermöglicht, heuer eine Reihe von weiteren sieben Ballonfahrten auszuführen, wobei ein umfangreicheres und in mehrfacher Hinsicht erweitertes Beobachtungsmaterial gewonnen wurde.

Zur Beobachtung der durchdringenden Strahlung dienten in erster Linie zwei Wulf-



7. Fahrt (7. August 1912).

Ballon: "Böhmen" (1680 cbm Wasserstoff). Meteorolog. Beobachter: E. Wolf.

Führer: Hauptmann W. Hoffory. Luftelektr. Beobachter: V. F. Hess.





### Der Ost-West-Effekt (1937)

#### **Beobachtung:**

viel mehr Strahlung aus Westen denn Osten, d.h. viele positiv geladene Teilchen

#### Van-Allen-Gürtel:

In der Nähe der Pole: B  $\approx$  60  $\mu$ T Äquator: B  $\approx$  30  $\mu$ T



# Primäre Gamma-Strahlung





# Primäre und sekundäre kosmische Strahlung



The Fantastic Four #1, 1961

### Galaktische kosmische Strahlung



### Kosmische Strahlung: hochenergetische Atomkerne



Magnetfeld nicht gut bekannt, B = 3  $\mu$ G = 30 nT in der Nähe der Sonne

 $R_L \simeq 1 \operatorname{pc} \left(\frac{E}{10^{15} \operatorname{eV}}\right) \left(\frac{1 \, \mu \mathrm{G}}{ZB}\right)$ 

#### Der Teilchenfluss der kosmischen Strahlung



### Wie kommt es zu dieser Flussdefinition?

#### Himmelskarte bekannter Pulsare



This plot identifies selected pulsars detected by Fermi's LAT. A pulsar is a type of rapidly rotating neutron star that emits electromagnetic energy at periodic intervals. A neutron star is the closest thing to a black hole that astronomers can observe directly, crushing half a million times more mass than Earth into a sphere no larger than a city. Its matter is so compressed that even a teaspoonful weighs as much as a mountain. One pulsar shines especially bright for Fermi. Called Vela, it spins I I times a second and is the brightest persistent source of gamma rays the LAT sees

https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=11342

# Äquatorialkoordinaten





This plot overlays the locations of three reference planes on the Fermi sky map:

Galactic equator

- the celestial equator (the plane of Earth's equator projected onto the sky),
- the ecliptic (the annual apparent path of the sun around the sky as well as the plane of Earth's orbit),
- and the galactic equator, which marks the central plane of our Milky Way galaxy.

#### Himmelskarte der bekannten TeV Gamma-Quellen







### Gamma-Strahlung des Krebsnebels



### Interpretation des Spektrums

Synchrotron-Selbst-Compton-Modell (Synchroton self-Compton SSC)



# Indirekter Nachweis der Beschleunigung von Hadronen

Beispiel: Gamma-Strahlung (Neutrinos wären eindeutiger!)

> Filamente haben ca. 100 µG Feldstärke, indirekter Nachweis von Hadronenbeschleunigung



H.E.S.S. (High Energy Sterescopic System, Namibia)

#### Extragalaktische Quellen: Aktiver Galaktischer Kern





# Core of Galaxy NGC 4261

#### Hubble Space Telescope Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

HST Image of a Gas and Dust Disk



380 Arc Seconds 88,000 LIGHT-YEARS 17 Arc Seconds 400 LIGHT-YEARS

D ~ 30 Mpc

 $M_{BH} \sim 5 \times 10^8 M_{solar}$ 

#### Entstehung eines Gammastrahlen-Blitzes

