

INTEGRAL

"Wie trägt die kontinuierliche Gammastrahlenbeobachtung durch den INTEGRAL-Satelliten dazu bei, unser Verständnis ferner Galaxien und unseres Sonnensystems zu verbessern?"



1. Einführung:

INTEGRAL: INTErnational **G**amma-Ray **A**strophysics **L**aboratory

- Missionsstart: 2002
- Geplantes Missionsende mit Wiedereintritt in die Erdatmosphäre: 2029
- Gesamtmasse des Satelliten: 4.000 Kilogramm (4 Tonnen)
- Befindet sich in stark elliptischem Orbit
- 4 Messinstrumente:
 - **IBIS** (bildgebender Sensor)
 - **SPI** (Spektrometer)
 - **JEM-X** (Röntgenstrahlenmonitor)
 - **OMC** (Optische Kamera)

Der INTEGRAL Satellit ist ein Gammastrahlen-Observatorium der ESA (European Space Agency), das seit 2002 im Erdorbit operiert. Seine Hauptaufgabe besteht darin, die energiereichsten und gewaltigsten Phänomene im Universum zu erforschen, die sich durch Gammastrahlung offenbaren. INTEGRAL ist mit den vier oben genannten hochspezialisierten wissenschaftlichen Instrumenten ausgestattet, die es ermöglichen, Gammastrahlung zu detektieren und zu analysieren.

Die Instrumente **IBIS** und **SPI** dienen der Beobachtung und Analyse im Gammabereich des elektromagnetischen Spektrums. **JEM-X** wird für die Beobachtung und Analyse von Röntgenstrahlung und **OMC** für die des sichtbaren Lichts eingesetzt.

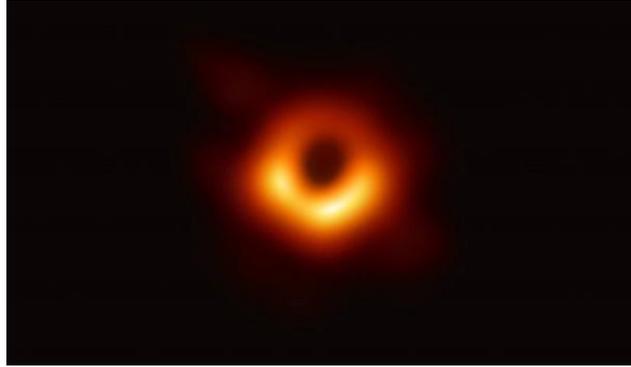
Diese Instrumente ermöglichen es Wissenschaftler*innen, extreme kosmische Ereignisse wie Supernovae, Schwarze Löcher und Gammablitz zu untersuchen und zu verstehen. Die Mission von INTEGRAL trägt somit wesentlich zu unserem Verständnis der energiereichsten Prozesse im Universum bei und eröffnet neue Einblicke in die Astrophysik.

- **Schwarze Löcher:**

Schwarze Löcher gehören zu den faszinierendsten und mächtigsten Objekten im Universum. Sie sind Regionen im Weltraum mit einer extrem starken Gravitationskraft, aus denen nicht einmal Licht entkommen kann. Deshalb werden sie als schwarze Löcher bezeichnet. Sie sind so stark, dass sie Sterne wie unsere Sonne, bis auf kleinste Atomebene zerstören können. Wichtige Eigenschaften von Schwarzen Löchern sind:

- Sie entstehen zumeist, wenn massereiche Sterne am Ende ihres Lebenszyklus kollabieren.
- Schwarze Löcher besitzen einen sogenannten Ereignishorizont („Event Horizon“), eine Grenze, jenseits derer nichts mehr entkommen kann, nicht einmal das Licht.
- Die Gravitation in der Nähe eines Schwarzen Lochs ist so stark, dass sie Raum und Zeit verzerrt.
- Obwohl Schwarze Löcher selbst unsichtbar sind, können wir ihre Existenz durch ihre Auswirkungen auf die umgebende Materie und Strahlung nachweisen.

Schwarze Löcher spielen eine wichtige Rolle in der modernen Astrophysik und helfen uns, die Struktur und Entwicklung des Universums besser zu verstehen.



Schwarzes Loch in der Galaxie „Messier 87“

- **Supernovae:**

Eine Supernova ist eine gewaltige Explosion am Ende des Lebens eines Sterns. Diese Explosionen gehören zu den energiereichsten Ereignissen im Universum und sind für kurze Zeit so hell, dass sie ganze Galaxien überstrahlen können. Die Untersuchung von Supernovae hilft uns, die chemische Entwicklung des Kosmos zu verstehen. Man unterscheidet zwei unterschiedliche Mechanismen, nach denen Sterne zur Supernova werden:

1. Massereiche Sterne mit einer Anfangsmasse von mehr als acht Sonnenmassen, deren Kern am Ende ihrer Entwicklung kollabiert. Bei dieser Kollaps- oder Hydrodynamischen Supernova entsteht ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch.
2. Sterne mit geringer Masse, die in ihrem vorläufigen Endstadium als Weißer Zwerg Material von einem Begleitstern aufnehmen (akkretieren). Dies führt zu einem Gravitationskollaps - da der Weiße Zwerg nur bis zu einer bestimmten Masse existieren kann - und es folgt eine thermonukleare Supernova (1a). Dichte und Temperatur steigen dabei im Sternenzentrum stark an.



Von NASAs Chandra X-Ray Observatorium detektierte Supernova

- **Gammastrahlung:**

Gammastrahlung ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung mit extrem hoher Energie. Sie bildet den energiereichsten Teil des elektromagnetischen Spektrums (siehe Abbildung).

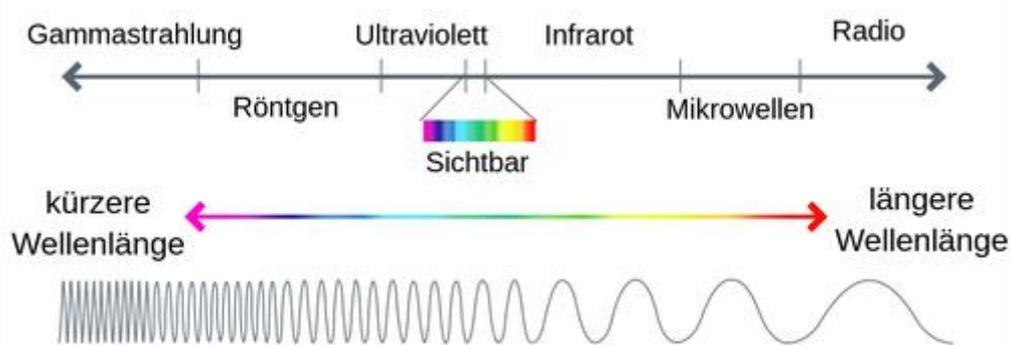
Möglicher Entstehungsprozess:

1. Ein Atomkern befindet sich nach einem radioaktiven Zerfall in einem angeregten Zustand.
2. Um in den Grundzustand zurückzukehren, gibt der Kern überschüssige Energie in Form von hochenergetischen Photonen (sogenannte Gammaquanten) ab.
3. Dieser Vorgang wird als Gammaübergang bezeichnet.

Gammablitz sind kurze, aber extrem energiereiche Ausbrüche von Gammastrahlung, die im Weltraum beobachtet werden.

- Dauer: Meist nur wenige Sekunden lang.
- Energie: Enorm hoch, bis zu mehreren Millionen Elektronenvolt pro Photon.
- Ursprung: In Verbindung mit einer Supernova; Bei der Verschmelzung von kompakten Objekten, wie Neutronensternen

Die Entstehung von Gammablitz wird mit katastrophalen kosmischen Ereignissen, wie Kollisionen von Neutronensternen oder Explosionen besonders massereicher Sterne, in Verbindung gebracht. Die bei diesen Ereignissen freigesetzte Energie ist so gewaltig, dass sie mit der vollständigen Umwandlung der Masse des Jupiters in Energie vergleichbar ist.



Gammastrahlung im elektromagnetischen Spektrum

1.1 Fasse in eigenen Worten zusammen, was den INTEGRAL-Satelliten auszeichnet und über welche Messinstrumente er verfügt.

1.2 Fasse in eigenen Worten zusammen, worum es sich bei Schwarzen Löchern, Supernovae und Gammastrahlung sowie Gammablitzten handelt.

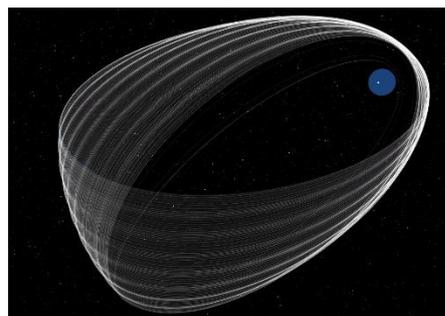
2. Orbit

Lies dir den nachfolgenden Informationstext zum Orbit des INTEGRAL-Satelliten durch und beurteile, warum gerade dieser Orbit für den Satelliten gewählt wurde, insbesondere in Bezug auf den starken Entfernungunterschied zur Erde auf der stark elliptischen Bahn. Über den QR-Code siehst du den Orbit auch visuell im Video.

Der INTEGRAL-Satellit ist ein wissenschaftliches Observatorium, das Gammastrahlung aus dem Weltall untersucht. Um seine Mission erfolgreich durchzuführen, wurde für ihn eine spezielle Umlaufbahn gewählt. Diese Bahn ist elliptisch, das heißt, der Abstand des Satelliten zur Erde variiert stark: Er bewegt sich zwischen einer minimalen Entfernung von etwa 3.300 Kilometern und einer maximalen Entfernung von rund 159.000 Kilometern. Die Umlaufzeit beträgt etwa 72 Stunden, also drei Tage.

Die Wahl dieser Bahn ist eng mit den Anforderungen der wissenschaftlichen Messungen verbunden. Ein entscheidender Faktor ist die Umgebung der Erde, die durch verschiedene Strahlungszonen geprägt ist. Diese Zonen können empfindliche Instrumente beeinflussen und die Qualität der gemessenen Daten beeinträchtigen. Durch die Form der Umlaufbahn verbringt der Satellit einen Großteil seiner Zeit weit entfernt von diesen Zonen.

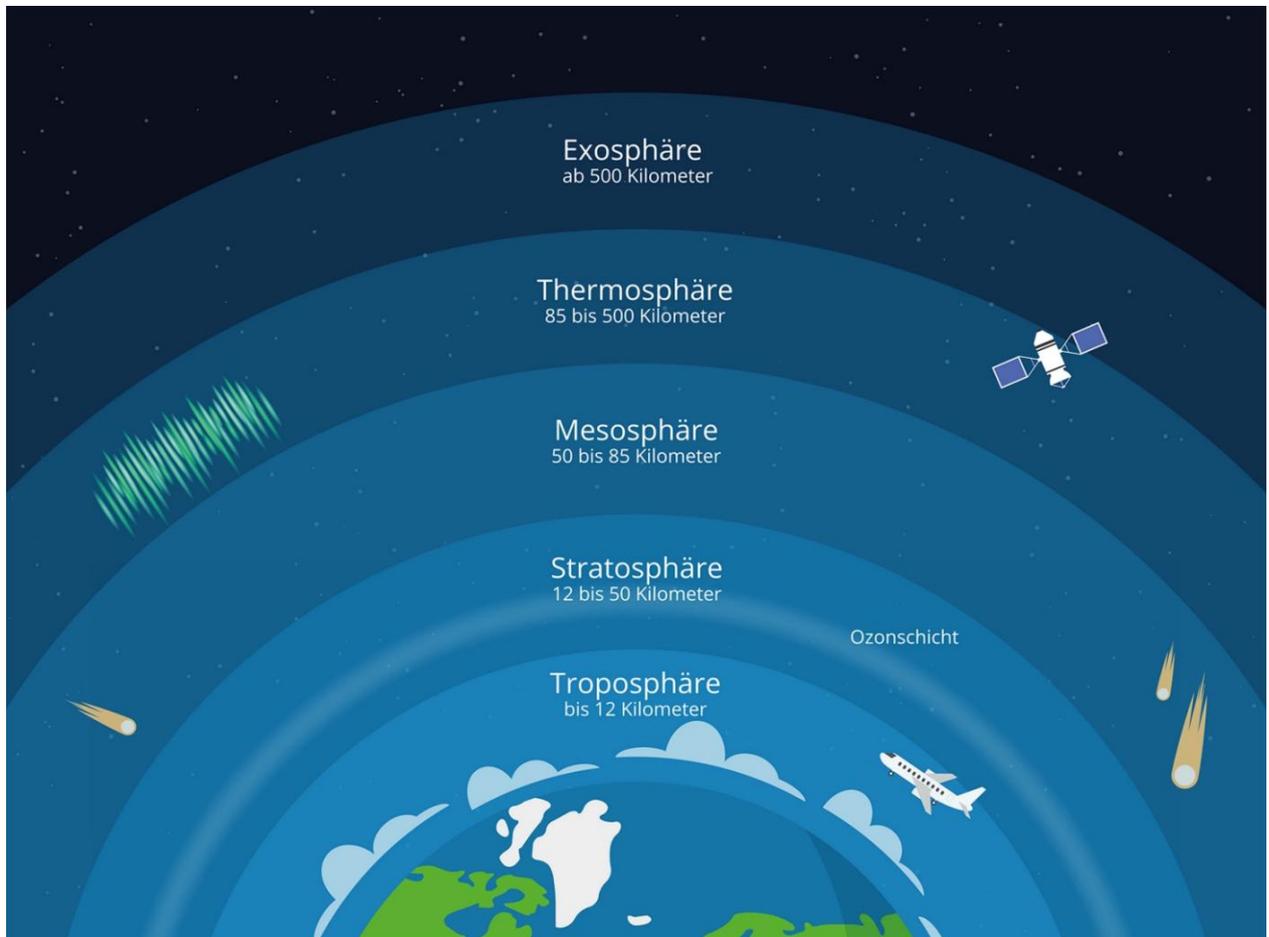
Zusätzlich ermöglicht die lange Umlaufzeit eine regelmäßige Kommunikation mit Bodenstationen und eine effiziente Organisation der Arbeitsabläufe für das Bodenpersonal.



Elliptischer Orbit des INTEGRAL-Satelliten

3. Aufbau der Erdatmosphäre

Schaue dir die Abbildung zum Aufbau unserer Erdatmosphäre an, lese den Informationstext und beurteile, ob die Messungen der Gammastrahlung und die Analyse von Supernovae und schwarzen Löchern aus der Erdatmosphäre sinnvoll sind.



Aufbau der Erdatmosphäre

Die Erdatmosphäre ist in mehrere Schichten unterteilt, die sich durch ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften unterscheiden. Diese Schichtung spielt eine wichtige Rolle für das Leben auf der Erde und beeinflusst verschiedene atmosphärische Phänomene.

Troposphäre: In der Troposphäre findet das Wettergeschehen statt, da sie fast den gesamten Wasserdampf der Atmosphäre enthält. Die Temperatur nimmt hier mit der Höhe ab, etwa $6,5^{\circ}\text{C}$ pro Kilometer.

Stratosphäre: In dieser Schicht befindet sich die Ozonschicht, die UV-Strahlung absorbiert und in Wärme umwandelt. Dadurch steigt die Temperatur in der Stratosphäre mit zunehmender Höhe an.

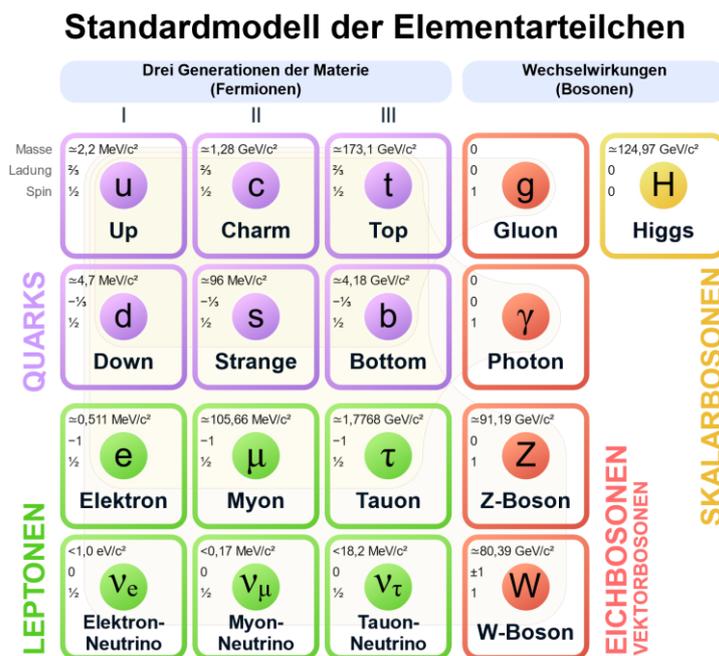
Mesosphäre: Hier sinkt die Temperatur wieder stark ab, bis auf etwa -90°C , da kaum noch Ozon vorhanden ist. In der Mesosphäre verglühen die meisten Meteore, die wir als Sternschnuppen wahrnehmen.

Thermosphäre: In dieser Schicht steigt die Temperatur aufgrund der Absorption von energiereicher Sonnenstrahlung stark an und kann 1500°C erreichen. Hier treten Polarlichter auf und die Internationale Raumstation (ISS) umkreist die Erde. In der Thermosphäre liegt auch die „Grenze“ zum Weltraum, bei ca. 70-100 km Höhe (sog. Karman-Linie).

Exosphäre: Dies ist die äußerste Schicht der Atmosphäre. Sie besteht hauptsächlich aus sehr leichten Teilchen wie Wasserstoff. Diese Schichtung der Atmosphäre ist entscheidend für den Schutz des Lebens auf der Erde, indem sie schädliche Strahlung filtert, Temperaturen reguliert und verschiedene atmosphärische Prozesse ermöglicht.

4. Teilchenphysik

Es gibt viele verschiedene Teilchen, die sich zu größeren Teilchen zusammensetzen und so die gesamte Materie im Universum ausmachen. Die bekanntesten Teilchen sind wahrscheinlich Elektronen, Neutronen und Protonen, sowie Photonen (die „Lichtteilchen“). Neutronen und Protonen bestehen aus sogenannten Quarks. Diese sind, genau wie Elektronen, Elementarteilchen, das heißt, sie bestehen ihrerseits nicht aus noch kleineren Teilchen. Da das alles schnell unübersichtlich wird, haben Physiker den Teilchenzoo entworfen. Hier wird übersichtlicher, welche Teilchen es gibt.

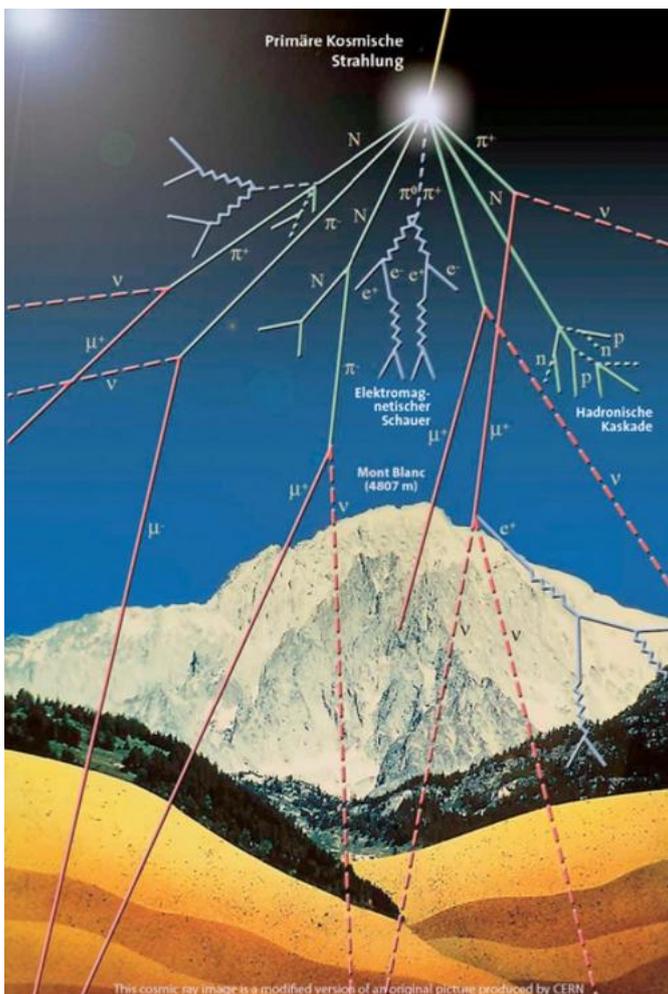


Teilchenzoo der Elementarteilchen

Wie in der Abbildung zu sehen ist, gibt es verschiedene Untergruppen im Zoo. Die grüne Gruppe sind die Leptonen (die „leichten Teilchen“). Die lilane Gruppe sind die Quarks, die auf verschiedene Weise kombiniert beispielsweise Neutronen (N) oder Protonen (p) bilden. Eine dritte, orangene Gruppe sind die Eichbosonen, wo beispielsweise das Photon zu gehört. Die letzte, sehr abstrakte gelbe Gruppe der Skalarbosonen besteht nur aus dem Higgs Teilchen. Dieses verleiht allen Teilchen ihre Masse.

Allerdings gibt es noch eine weitere Unterteilung. Je nachdem wie die Quarks kombiniert sind, gibt es Mesonen (die „mittelschweren Teilchen“) und Baryonen (die „schweren Teilchen“). Zu den Mesonen gehören die Pionen und K-Mesonen, zu den Baryonen gehören die Neutronen und Protonen. Mesonen und Baryonen ergeben zusammen die Hadronen.

Zerfall kosmischer Strahlung



Die primäre kosmische Strahlung trifft auf die Erdatmosphäre und „zerfällt“ zu sekundärer kosmischer Strahlung.

4.1. Lest den Text und markiert wichtige Begriffe

4.2. Welche Teilchen erkennt ihr hier in der nebenstehenden Abbildung, anhand der Abkürzungen (Vgl. mit Teilchenzoo)?

4.3. Meint ihr, es gibt durch den Teilchenschauer Auswirkungen auf der Erde und auf den Menschen? Wenn ja, welche?

-
5. **Beantwortet die Leitfrage:** „Wie trägt die kontinuierliche Gammastrahlenbeobachtung durch den INTEGRAL-Satelliten dazu bei, unser Verständnis ferner Galaxien und unseres Sonnensystems zu verbessern?“