

Gammastrahlen: Sind sie der „Heilige Gral“ der Astronomen?

Joachim Michael Wallasch



Fortschritte in den Detektor- und Computertechnologien ermöglichen seit wenigen Jahren erdgebundene und satellitengestützte Nachweise von Gammastrahlung, die aus dem Kosmos zur Erde gelangt. Die Analyse liefert Erkenntnisse über die energiereichsten physikalischen Prozesse des Universums, die sich u. a. in Hypernovaexplosionen, in Schwarzen Löchern, Mikroquasaren, Supernovaexplosionen (Abb. 1) abspielen.

Abbildung 1: Gammastrahlung entsteht in Supernovaüberresten, wenn hochenergetische Schockwellen turbulente Magnetfelder erzeugen.

(Quelle: glast.sonoma.edu/resources/cubeimages/cube.html)

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Optik, Quantenphysik, Relativitätstheorie	Lochkamera, Schlitzkamera, „Coded Mask“, Zerfallsprozesse, Nachweismethoden für radioaktive Strahlung, Photoeffekt, Compton-Effekt, Inverser Compton-Effekt, Paarbildung, Kernphotoeffekt, Tscherenkovstrahlung, Moseleysches Gesetz
Astronomie	Kosmos	Quasar, Schwarzes Loch, Supernova, Pulsar, Dunkle Materie, Dunkle Energie
Fächer- verknüpfung	Astro-Ge-Politik	Überwachungssatelliten, Vertrag zum Stopp von Kernwaffentests

Einleitende Bemerkungen

Die für den Alltag wichtigste Eigenschaft der „Röntgenstrahlung“ ist wegen ihrer zentralen Bedeutung in der Medizin (Diagnose, Therapie) ihre Fähigkeit, feste Materie besser durchdringen zu können als andere Strahlungsarten. Umgekehrt ist auch die Möglichkeit, die nicht zu untersuchenden Körperregionen gegen dort unerwünschte Röntgenstrahlung z. B. mit Hilfe von Bleischürzen abzuschwächen, allgemein bekannt. Da sich Gammastrahlung im „kurzwelligeren“ Bereich des Spektrums an den Bereich der Röntgenstrahlung anschließt, leuchtet es sofort ein, daß ihre Durchdringungsfähigkeit entsprechend höher ist, daß also umgekehrt die zum Nachweis derartiger „Strahlung“ bzw. „Teilchen“ notwendige Wechselwirkung mit Materie u. U. entsprechend gering ist. Der experimentelle Nachweis dieser Eigenschaft gehört zu den Standardexperimenten der Schulphysik.

Dank moderner Technologien können heute zahlreiche atom- und kernphysikalische Prozesse zum Nachweis hochenergetischer Gammaquanten über einen breiten Bereich des Spektrums genutzt werden. Allen Prozessen ist grundsätzlich gemeinsam, daß Gammaquanten nicht direkt, sondern über die bei der Wechselwirkung mit Materie entstehenden Reaktionsprodukte nachgewiesen werden.

1. **Photoeffekt:** ein Schalenelektron wird aus dem Atom (Molekül) herausgeschossen; es entstehen ein niederenergetischeres Gammaquant und ein freies Elektron.

2. **Comptoneffekt:** Im Allgemeinen wird diese klassisch nicht erklärable Wechselwirkung zwischen „Strahlung“ und einem Teilchen (Elektron) meist nur in Verbindung mit der Streuung von Röntgenstrahlung behandelt. Aber diese Wechselwirkung findet auch zwischen Gammaquanten und Elektronen statt. Dabei ist insbesondere der Spezialfall von Interesse, bei dem der Streuwinkel $\theta = 180^\circ$ beträgt: dann gehen zweidrittel der Primärenergie auf das Elektron über! Dieser Prozess ist eine Möglichkeit, hochrelativistische Elektronen zu erzeugen.

3. **Paarbildung:** Übersteigt die Energie eines Gammaquants das Zweifache der Ruhenergie eines Elektrons (511 keV), so kann ein Elektron-Positron entstehen, das in unterschiedlichen Richtungen auseinanderfliegt. Das Positron wird sehr schnell wieder mit einem anderen Elektron zusammenstoßen, wobei wieder Strahlung entsteht, die ihrerseits mit den Atomen des Kristalls wechselwirken kann.

Für astronomische Messungen ist es aber grundsätzlich notwendig, so viel Licht (so viele Gammaquanten) wie möglich zu detektieren. Im optischen Bereich sind Refraktion und Reflektion an Linsen bzw. an geeignet geformten spiegelnden Oberflächen vertraute Mechanismen. Selbst bei Röntgenstrahlung ist es z. T. noch möglich, Parabol- und Hyperbolspiegelflächen so zu kombinieren, daß die Strahlung durch streifende Totalreflexion in einen Brennpunkt fokussiert werden kann. Eine solche Strahlfokussierung in sog. „Wolterteleskopen“ wird derzeit bis zu einer Energie von etwa 15 keV genutzt.

Diese aus dem Physikunterricht vertrauten Prinzipien versagen aber im Falle der Beobachtung von Gammastrahlung. Um dennoch ein Bild des Himmels in diesem Spektralbereich zu erhalten, verwendet man das so genannte Coded-Mask-Verfahren.

Das Coded-Mask-Verfahren

Die Idee dieses Verfahrens beruht auf dem Prinzip des Schattenwurfs in Kombination mit dem Prinzip der Lochkamera! Eine Maske mit einem speziellen Muster (Coded-Mask) wirft im Gammalicht einen Schatten auf den Detektor, der in verschiedene Segmente aufgeteilt ist. Aus dem bekannten Maskenmuster und dem von den Detektoren gemessenen Meßwerten kann mit Hilfe aufwendiger mathematischer Methoden auf die ursprüngliche Intensitätsverteilung der Gammastrahlen innerhalb des Gesichtsfeldes zurückgeschlossen werden. Drei der vier Instrumente des internationalen Satellitenprojekts INTEGRAL (IBIS, SPI, JEM-X) beruhen auf diesem Prinzip, bei dem Beobachtungen im Energiebereich zwischen 15 keV - 10 MeV vorgenommen werden.

Bekanntlich liefert eine Lochkamera mit einer einzigen Blendenöffnung wegen der einfachen Strahlgeometrie Informationen über die räumliche Position einer Lichtquelle, weil der Verlauf der zur Abbildung verwendeten Strahlen nicht verändert wird. Ein Nachteil der Methode ist der grundsätzliche Zusammenhang zwischen der Größe der lichtsammelnden Fläche und dem Auflösungsvermögen: mit größerem Durchmesser der Blende wird mehr Licht gesammelt, das Bild wird zwar heller, aber es wird unschärfer.

Die Lösung dieses Problems besteht in der Verwendung vieler kleinerer Blenden nebeneinander. Um eindeutig zuordnen zu können, durch welche Öffnung die Lichtstrahlen gefallen sind, werden die Blenden in einem bestimmten Muster angeordnet. Man spricht von kodierten Masken (Coded Aperture). In den Masken sind abschattende Blenden und durchlässige Löcher etwa gleich berechtigt. Bei INTEGRAL beträgt der Abstand zwischen der Maske und den Detektoren etwa 4m.

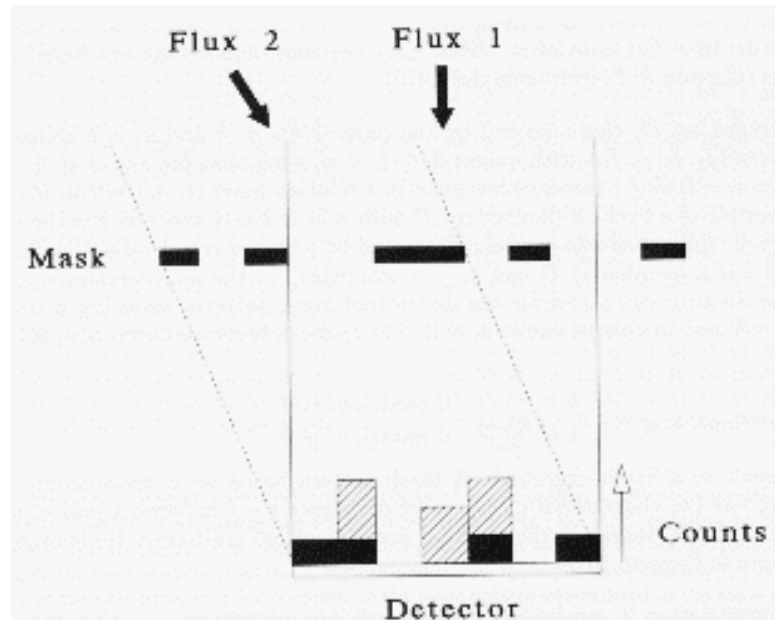


Abbildung 2: Coded Mask-Verfahren: 2 Objektunkte mit verschiedener Gammahelligkeit (Flux 1 und Flux 2) führen an unterschiedlichen Stellen des Detektors zu verschiedenen Quantenzählungen (nach Mura).

Experimentiervorschläge

1. Die Ein-Loch-Kamera

In der didaktischen Literatur finden sich zahlreiche Vorschläge zum Bau einfacher Lochkamas mit einer einzigen Blende. Hier soll eine Möglichkeit beschrieben werden, die sich durch besondere Einfachheit sowohl der Konstruktion als auch der Bedienung auszeichnet.

Für den Unterricht ist anzustreben, daß die Schüler möglichst direkt auf die Ergebnisse eigener Experimente zugreifen können. Hier erweist sich der Einsatz von Digitalspiegelreflexkamas als äußerst anregend. Für jedes Kamasystem gibt es Verlängerungsringe, die z.B. für Zwecke der Makrophotographie zwischen Kamasgehäuse und Objektiv angesetzt werden. Auf einen solchen Verlängerungsring wird ein handelsübliches Papprohr oder ein PVC-Rohr aufgesetzt, wobei der Zwischenraum zwischen Metallring und Innenwand des Rohrs mit geeignetem Material (Filz) aufgefüllt wird. Die Lochblende wird in einen Deckel eingestanz, der am vorderen Ende des Rohrs aufgesetzt wird.

Will man mit konventionellen Filmen Fotografien der Sonne aufnehmen, so sollte das Rohr eine Gesamtlänge von ca. 2 m aufweisen, dann ist der Durchmesser des Sonnenbildes ca. 20mm groß, passt also gerade in das übliche Filmformat von 24 x 36 mm². Für digitale Aufnahmen muss entsprechend der Größe des Chips umgerechnet werden.

ACHTUNG! Auch die kleinste Blende läßt immer noch so viel Licht durch, daß der Film überbelichtet / der Chip u.U. beschädigt werden kann. Man decke die Blendenöffnung mit einem Stück Solarfolie (BAADER) ab.

2. Die Mehrfach-Loch-Kamera

Um das Prinzip der Coded Mask zu verstehen, setzt man Blenden mit mehreren Löchern ein, wobei die Zahl und die Verteilung der Löcher über die Maske beliebig gewählt werden kann. Durch Vorgabe bestimmter Anordnungen von Punktlichtquellen oder flächenhaften Lichtquellen und der Analyse der jeweils beobachtbaren Bilder läßt sich die Grundidee des Abbildungsprinzips studieren.

3. Die Spaltkamera

Viel interessanter ist die Variation, die der Bochumer Astronom Wolfhard SCHLOSSER publiziert hat: statt eines einzigen Lochs nehme man zwei längliche Spalte, die in einem gewissen Abstand angebracht sind und die gegeneinander verdreht werden können! Das Bemerkenswerte an diesem Kamerateyp ist die Tatsache, daß jeder Schüler, der das Prinzip der Ein-Loch-Kamera verstanden hat, mit Sicherheit eine falsche Vorhersage für die Bilder machen wird, die durch eine Spaltkamera erzeugt werden! Niemand käme ohne weiteres auf die Idee, daß die Spaltkamera nicht nur zwei helle, sich kreuzende Streifen als Bild erzeugt, sondern daß das Bild eines Gegenstandes seitlich gekippt erscheint!

Historisch-philosophische Anmerkungen

Im vergangenen Jahr wurde der 50. Jahrestag des Starts des ersten künstlichen Erdsatelliten SPUTNIK 1 gefeiert. In den vergangenen Jahrzehnten hat auch die Raumfahrt zu vorher nicht erwarteten Fortschritten im Verständnis der Prozesse beigetragen, die im Kosmos ablaufen. In Bezug auf die Gammaastronomie sollte ein besonderer Aspekt nicht verschwiegen werden, der exemplarisch die Doppelbödigkeit der menschlichen Natur aufzeigt: Im Zeitalter des Kalten Krieges gingen beide Großmächte im Rahmen internationaler Abkommen zur Begrenzung bestimmter Rüstungstechnologien sehr schnell dazu über, Satelliten in Erdumlaufbahnen zu bringen, die völkerrechtlich verbotene Explosionen (Tests) von Atom- oder Wasserstoffbomben entdecken sollten. Die amerikanischen Satelliten wurden im Rahmen des sog. VELA-Programms [Vela \(Satellit\)](#) gestartet. Natürlich unterlagen die Beobachtungsdaten der militärischen Geheimhaltung. Daher wurde erst Jahrzehnte später bekannt, daß die VELAs (und mit Sicherheit auch ihre sowjetischen „Partner“) regelmäßig (ca. 1 Mal pro Woche) relativ starke Signale von Gammastrahlung aufzeichneten, die nicht auf irdische Quellen zurückzuführen waren. Der (so nicht erwartete) Beginn der Gammaastronomie wurde also aus politischen Gründen jahrzehntelang verzögert. Ob wir für zukünftige Zeiten daraus etwas lernen (lehren) könnten? Zumindest beim Projekt der Internationalen Raumstation ISS arbeiten früher verfeindete Staaten als Partner zusammen, dies zeigt, dass Zusammenarbeit erfolgreich sein kann, wenn sie politisch gewollt ist.

Literatur

- Das Gammastrahlen-Teleskop Magic, SuW 8/2007, S. 26 ff.
- Hans-W. Kirchoff (Hrsg): Materialienhandbuch Physik Bd 6, Quanten- und Kernphysik, Aulis Verlag Deubner & Co KG Köln, 1994 Aulis Verlag
- Unterrichts-Materialien Physik, STARK Verlag
- Schlosser, W.: Astronomische Musterversuche für die Sekundarstufe I
- www.rri.res.in/htmls/aa/astrosat/CodedMask_RRI.pdf
- astrophysics.gsfc.nasa.gov/cai/
- web.physik.rwth-aachen.de/~roth/detektoren/ausarbeitung-mura.pdf