

## Pressemitteilung

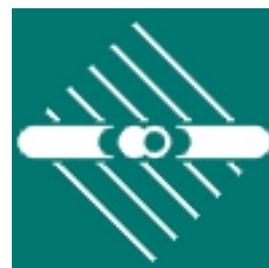
Max-Planck-Institut für Kernphysik

Dr. Bernold Feuerstein

17.04.2018

<http://idw-online.de/de/news692689>

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen  
Physik / Astronomie  
überregional



## Gammastrahlungsblitze aus Plasmafäden

**Neuartige hocheffiziente und brillante Quelle für Gammastrahlung: Anhand von Modellrechnungen haben Physiker des Heidelberger MPI für Kernphysik eine neue Methode für eine effiziente und brillante Gammastrahlungsquelle vorgeschlagen. Ein gigantischer Gammastrahlungsblitz wird hier durch die Wechselwirkung eines dichten ultra-relativistischen Elektronenstrahls mit einem dünnen leitenden Festkörper erzeugt. Die reichliche Produktion energetischer Gammastrahlen beruht auf der Aufspaltung des Elektronenstrahls in einzelne Filamente, während dieser den Festkörper durchquert. Die erreichbare Energie und Intensität der Gammastrahlung eröffnet neue und fundamentale Experimente in der Kernphysik.**

Die typische Wellenlänge des Lichtes, die mit einem Objekt des Mikrokosmos wechselwirkt, ist umso kürzer, je kleiner dieses Objekt ist. Für Atome reicht dies typischerweise vom sichtbaren Licht bis zu Ultraviolett- (UV) und Röntgenstrahlung. Die Entwicklung immer leistungsfähigerer Strahlungsquellen für energiereiche Photonen dieser Art konnte in den letzten zwei Jahrzehnten große Erfolge verzeichnen. Synchrotrons und Freie-Elektronen-Laser erzeugen hochintensive UV- und Röntgenstrahlen für Grundlagenforschung oder für vielfältige Anwendungen. Für die Wechselwirkung mit Atomkernen, die zehn- bis hunderttausend Mal kleiner sind als Atome, braucht es die noch kurzwelligere und energiereichere Gammastrahlung. Bis heute existieren keine effizienten Gammaquellen. Das Interesse der Forscher daran ist aber sehr groß, denn diese würden ganz neue, bisher unerreichte Möglichkeiten bieten: von der Untersuchung der Struktur von Atomkernen über exotische Prozesse in Kernmaterie bis hin zu kerntechnischen und medizinischen Anwendungen.

Es wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen, intensive Gammastrahlung mit Photon-Energien von mehreren Millionen Elektronenvolt (eV) zu erzeugen. Zum Vergleich: Die Energie eines Photons des sichtbaren Lichts liegt in der Größenordnung von 2 eV. In allen Fällen wird versucht, mit einem extrem leistungsstarken Laser Elektronen zu beschleunigen und deren Energie in Gammastrahlung umzuwandeln. Eine Möglichkeit wurde kürzlich an der „Extreme Light Infrastructure“ (ELI) in Rumänien betrachtet: Hier kollidieren optischen Photonen eines Laserstrahls mit relativistischen Elektronen werden dabei auf Gamma-Energien „hochgestreut“ (Compton-Effekt). Die Effizienz der Energieübertragung ist aber – wie auch bei allen anderen bisher diskutierten Mechanismen – gering: ungefähr 10% bei Einsatz eines Lasers der 10-Petawatt-Klasse (1 Petawatt =  $10^{15}$  Watt).

Physiker um Teamleiter Matteo Tamburini in der Abteilung „Theoretische Quantendynamik und Quantenelektrodynamik“ unter Direktor Christoph Keitel am Heidelberger Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) haben nun einen neuartigen Mechanismus vorgeschlagen: ihre Simulationsrechnungen zeigen, dass bis zu 60% Konversionseffizienz erreichbar sind, wenn ein hochenergetischer (2 Milliarden eV) gut fokussierter Elektronenstrahl extrem hoher Dichte auf eine dünne (0,5 mm) elektrisch leitendes Festkörperplättchen als Target geschossen wird. Unter „normalen“ Umständen würde ein solcher Elektronenstrahl wie in einer Röntgenröhre so genannte „Bremsstrahlung“ erzeugen – bei Ablenkung und Abbremsung der Elektronen an den Atomkernen des Festkörpers handelt es sich um eine beschleunigte Bewegung geladener Teilchen, wobei nach den Gesetzen der Elektrodynamik Strahlung freigesetzt wird. Deren Energie erstreckt sich über ein breites Spektrum bis zur (maximal umwandelbaren)

kinetischen Energie der Elektronen als obere Grenze.

Bei sehr hoher Dichte des Elektronenstrahls (vergleichbar mit der Dichte von Molekülen in der Luft) wird das Targetmaterial verändert und dies hat Rückwirkungen auf den Elektronenstrahl selbst. Hierzu tragen in erster Linie die im leitfähigen Material frei beweglichen Elektronen bei, welche in einer Art „Gegenstrom“ den eindringenden Elektronenstrahl kompensieren. Beide sich überlappenden Ströme erzeugen starke elektromagnetische Felder und Instabilitäten, wodurch der einfallende Elektronenstrahl in einzelne Filamente zerfällt (siehe die Illustration in Abbildung 1). Dies wiederum verstärkt nochmals die selbsterzeugten Felder, welche heftige Beschleunigungen der ultra-relativistischen Elektronen bewirken, was letztendlich zu einer gigantischen Emission von Synchrotronstrahlung führt. Diese übertrifft die gewöhnliche Bremsstrahlung um bis zu einen Faktor 1000 an „Brillanz“. Diese ist ein Maß für die Zahl der Photonen pro Zeit, Fläche, Energieintervall und Raumwinkel. Letzterer beschreibt die Bündelung der Strahlung in Vorwärtsrichtung.

Abbildung 2 zeigt die spektrale Brillanz in Abhängigkeit von der Photonenenergie für die leistungsfähigsten Synchrotron-Quellen (rot), für Energieumwandlung durch den Compton-Effekt (gelb, ELI) und für die neue Methode (blau). Im Vergleich mit ELI ist eine jeweils um mehr als zwei Größenordnungen höhere Brillanz und höhere Gamma-Energien zu erwarten. Darüber hinaus ist die neue Methode sehr effizient – bis zu 60% der Elektronenenergie könnte in Gammastrahlen umgewandelt werden. Die Dauer der Gammastrahlungsblitze ist durch die Länge der Elektronenpakete bestimmt und liegt unter ultrakurzen 30 Femtosekunden ( $1 \text{ Femtosekunde} = 10^{-15} \text{ s}$ ).

Die für den Mechanismus selbstverstärkender Felder erforderliche Elektronendichte ist eine technische Herausforderung. Herkömmliche Laser mit 200 Terawatt Leistung ( $1 \text{ Terawatt} = 10^{12} \text{ Watt}$ ) und einer Wiederholrate von 1 bis 10 Hertz, also einigen Blitzen pro Sekunde, stehen zur routinemäßig Erzeugung und Beschleunigung ultra-relativistischer Elektronenstrahlen zur Verfügung. Allerdings liegt die bisher erreichte Elektronendichte noch einen Faktor 10 bis 100 zu niedrig. Der erreichbare gesamte Elektronenfluss wäre aber ausreichend, wenn es gelingt, den Strahl stärker auf das Target zur Erzeugung von Gammastrahlung zu fokussieren. Ein typisches Target wäre eine Metallfolie von 0,5 mm Stärke. In der Simulation wurde Strontium untersucht, die Art des Metalls ist aber unkritisch – auch herkömmliches Aluminium sollte sich eignen.

---

Originalpublikation:

Giant collimated gamma-ray flashes  
Alberto Benedetti, Matteo Tamburini, and Christoph H. Keitel  
Nature Photonics (2018), doi:10.1038/s41566-018-0139-y

---

Kontakt:

Dr. Matteo Tamburini  
Abteilung Hon.-Prof. Dr. Christoph H. Keitel  
Max-Planck-Institut für Kernphysik  
Tel.: +49 6221-516-163  
E-mail: matteo.tamburini(at)mpi-hd.mpg.de

URL zur Pressemitteilung: <http://dx.doi.org/10.1038/s41566-018-0139-y> Originalpublikation

URL zur Pressemitteilung: <https://www.mpi-hd.mpg.de/keitel/> Abteilung „Theoretische Quantendynamik und Quantenelektrodynamik“ am MPIK (englisch)

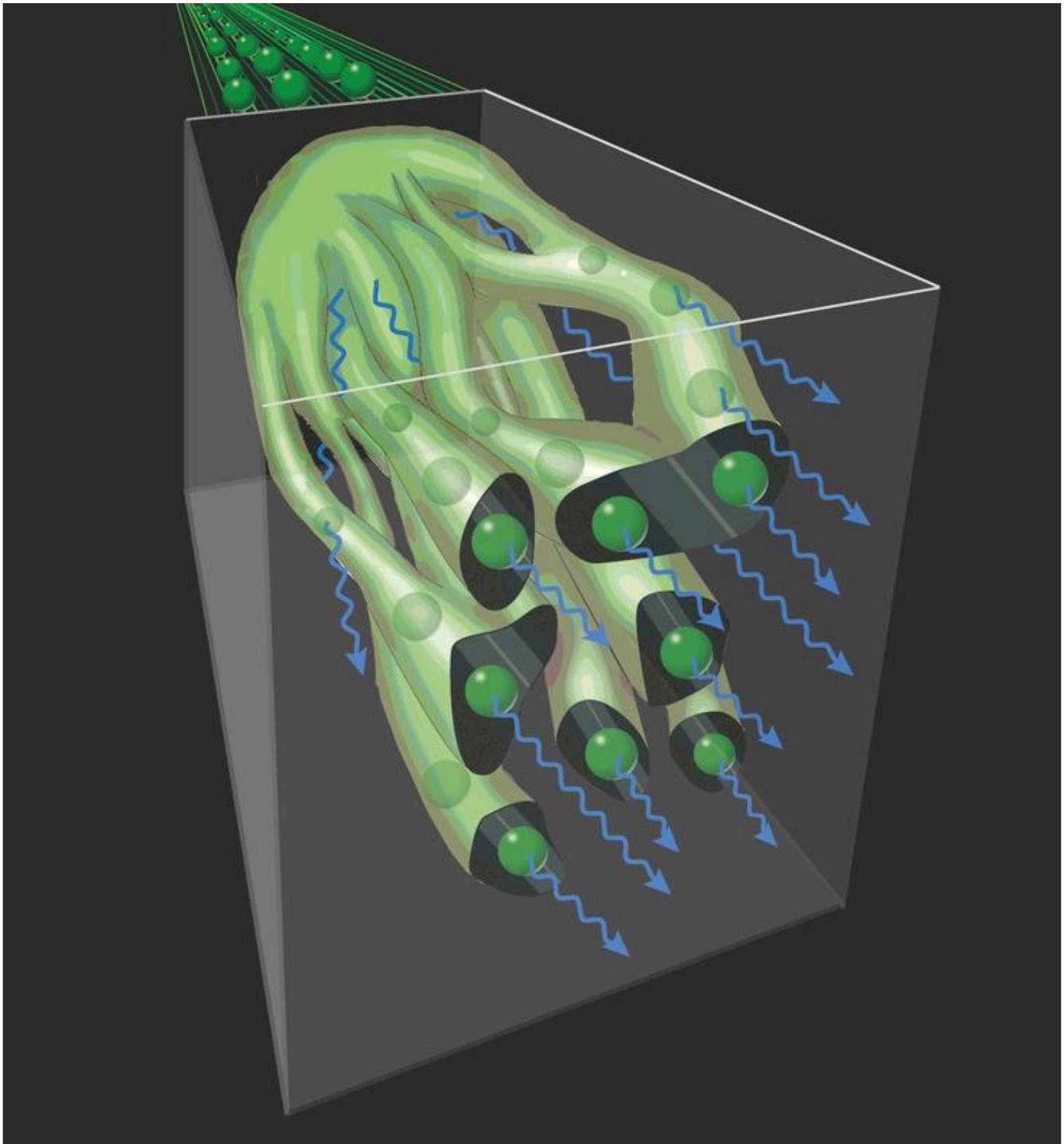


Abb. 1: Illustration zur effizienten Erzeugung von Gammastrahlung (blau) durch einen ultrarelativistischen Elektronenstrahl (grün) hoher Dichte, der in einer dünnen Metallfolie in Filamente zerfällt.  
Grafik: MPIK

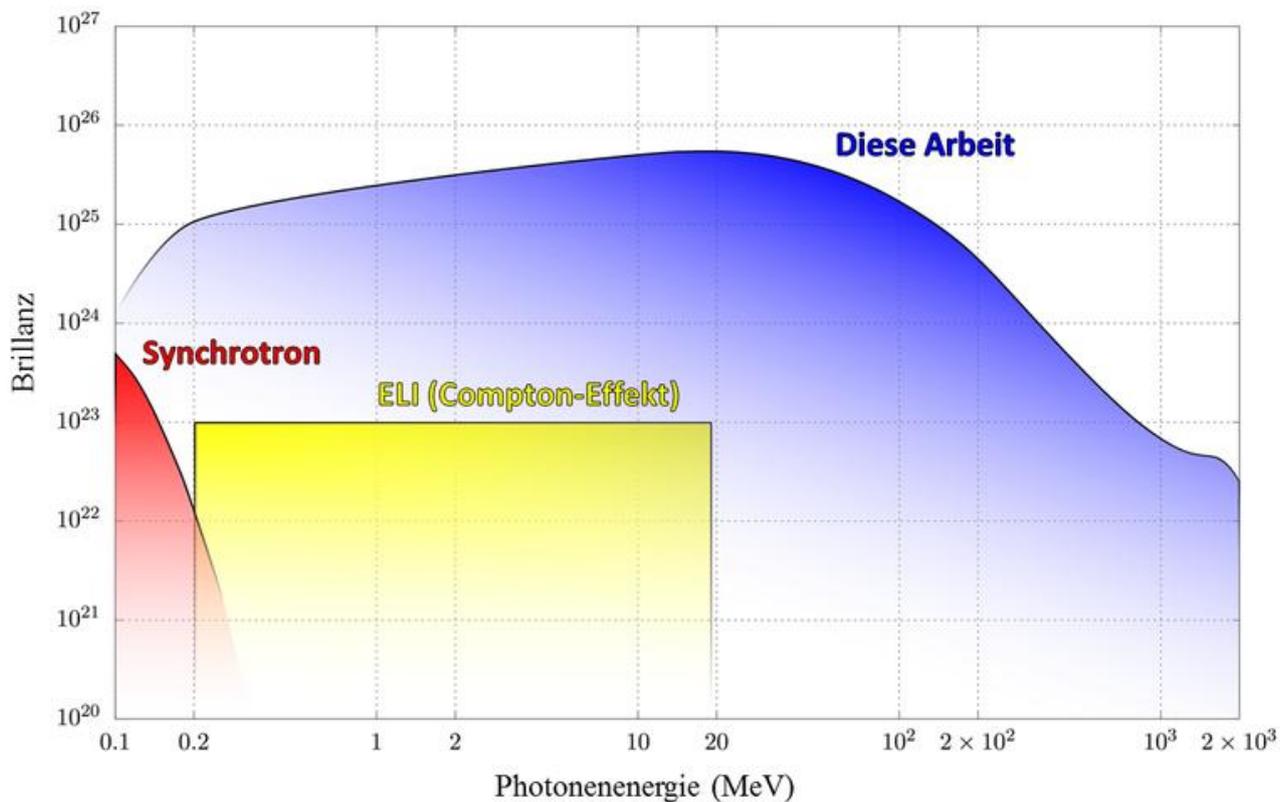


Abb. 2: Spektrale Brillanz der erzeugten Gammastrahlung für Synchrotronstrahlung (rot), Comptonstreuung von Laserlicht an relativistischen Elektronen (gelb) und die neu vorgeschlagene Methode (blau).  
Grafik: MPIK