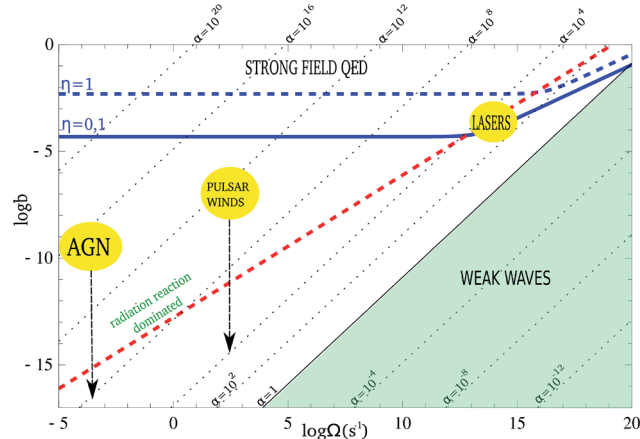


Materialisation von Elektronen und Positronen

Energiereiche Elektronen und Positronen treffen ständig auf die Erdatmosphäre. Elektronen sind in jedem Atom enthalten, aber Positronen sind nicht so häufig. Einige entstehen beim Zerfall radioaktiver Kerne, aber man nimmt an, dass die meisten zusammen mit einem Elektron einfach aus dem Vakuum „materialisieren“. Nach einer Vorhersage geschieht das spontan, sobald das elektrische Feld das kritische oder „Schwinger-Feld“ $E_c = 1.3 \times 10^{18} \text{ V cm}^{-1}$ überschreitet, was aber nie beobachtet wurde. Der Prozess kann aber geschehen, wenn zwei Gammaphotonen zusammenstoßen oder eines in ein sehr starkes Magnetfeld eindringt. Beides passiert vermutlich in den Magnetosphären von Pulsaren und Schwarzen Löchern, wo die Photonen von beschleunigten Elektronen geliefert werden können.



Die physikalischen Parameter (Frequenz in Hz (x -Achse), Amplitude b in Einheiten von E_c (y -Achse)) starker elektromagnetischer Wellen. Für gegenläufige Vakuumwellen ist das Regime der Starkfeld-QED, wo das elektrische Feld E_c übertrifft, innerhalb der Reichweite der nächsten Generation optischer Laser. In Pulsarwinden und Jets aus aktiven Galaxien werden Teilchen stark von Strahlungsreaktionen beeinflusst.

Ultra-intensive optische Laserpulse aus Anlagen wie dem europäischen „Extreme Light Infrastructure“ Projekt sollen in einigen Jahren eine Intensität von $10^{24} \text{ W cm}^{-2}$ erreichen. Das ist stark genug, um die Bedingungen für Elektron-Positron-Erzeugung in den Magnetosphären von Pulsaren und Schwarzen Löchern zu simulieren. Detaillierte Rechnungen zeigen, dass die Energie im Laserstrahl in Elektronen, Positronen und Gammastrahlen verwandelt wird, sobald die Intensität einige $10^{23} \text{ W cm}^{-2}$ überschreitet.

Max-Planck-Institut für Kernphysik

Hausanschrift:
Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

Postanschrift:
Postfach 103980
69029 Heidelberg

Tel: 06221 5160
Fax: 06221 516601

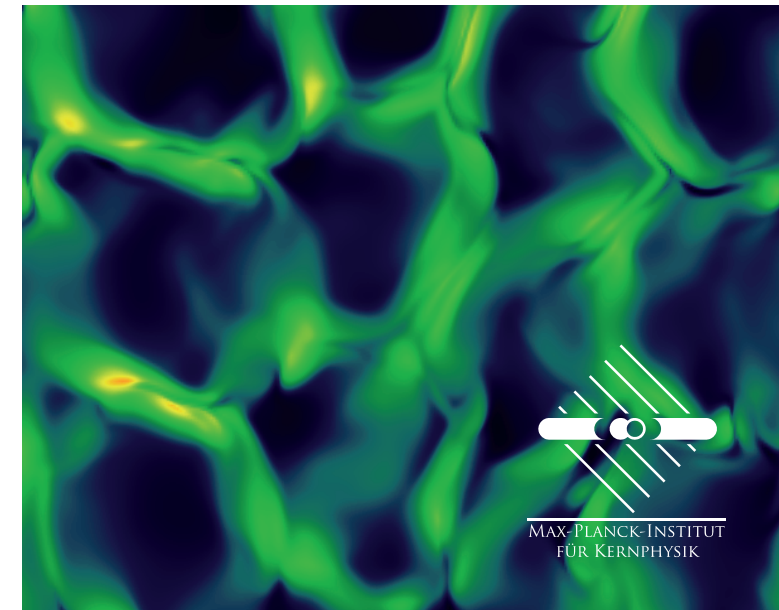
E-Mail: info@mpi-hd.mpg.de
Internet: <http://www.mpi-hd.mpg.de>

Ansprechpartner:
Prof. Dr. John Kirk
Tel: 06221 516482
E-Mail: john.kirk@mpi-hd.mpg.de
<http://www.mpi-hd.mpg.de/theory/>



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

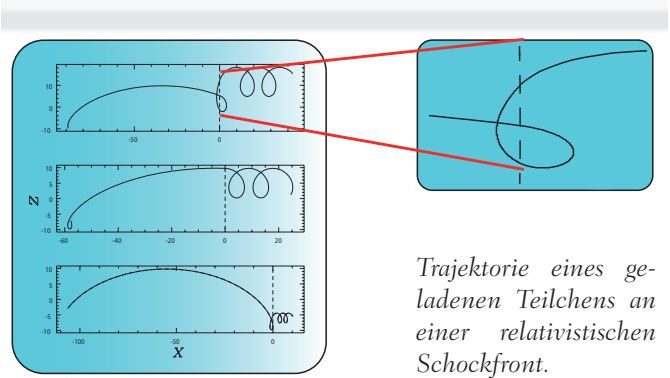
Theoretische Astrophysik



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

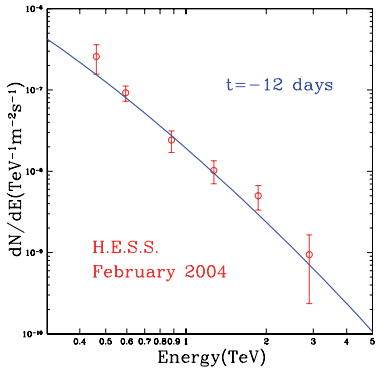
Theoretische Astrophysik

Was beschleunigt höchstenergetische Teilchen im Universum? Wird dabei Strahlung erzeugt? Wie beeinflussen die Teilchen das interstellare und intergalaktische Medium?



Trajektorie eines geladenen Teilchens an einer relativistischen Schockfront.

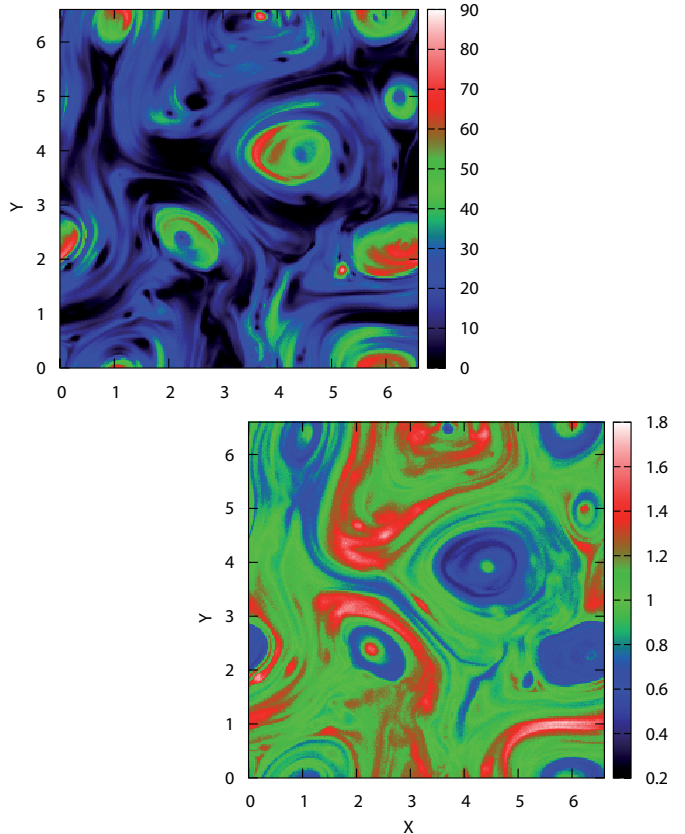
Diese Fragen wollen wir anhand der Physik von Stoßfronten sowie von Paarbildung und Strahlungsmechanismen in starken elektromagnetischen Wellen beantworten. Die Ergebnisse sind nicht nur für die extremen astrophysikalischen Bedingungen in der Nähe von Neutronensternen und Schwarzen Löchern relevant, sondern auch für Plasmen, die mit ultra-intensiven Kurzpuls-Lasern zukünftig im Labor erzeugt werden können. Auch die Vorhersage und Modellierung der Emission von Quellen wie binären Pulsaren, Supernovaüberresten und aktiven Galaxien ist ein wichtiger Teil unserer Forschung. Sie erlauben es, Beobachtungen z.B. der H.E.S.S.-Kollaboration physikalisch sinnvoll zu interpretieren.



1999 gemachte Vorhersage der Hochenergie-Gammaemission des binären Pulsars PSR 1259-63 (Linie), verglichen mit Messungen von 2004. Dieses war die erste Quelle, welche die H.E.S.S.-Kollaboration entdeckt hat.

Turbulenz durch kosmische Strahlung

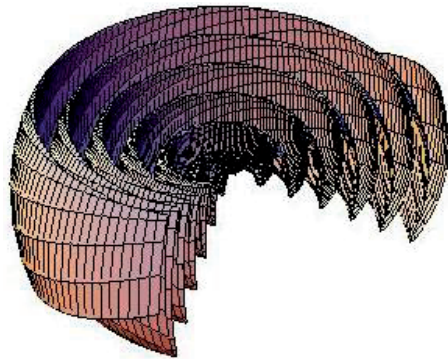
Kosmische Strahlen werden an den Druckwellen beschleunigt, die von Supernova-Explosionen ausgehen, wenn ein Stern sein Leben beendet. Dazu müssen die Teilchen allerdings viele Jahre nahe an der Welle bleiben. Magnetfelder können das bewerkstelligen, sofern sie sehr stark sind. Derzeit nimmt man an, dass die kosmischen Strahlen in einem selbstverstärkenden Prozess starke Felder erzeugen. Um die Annahme zu prüfen untersuchen wir die Instabilitäten, die bei der Beschleunigung kosmischer Strahlen auftreten, und machen Computersimulationen der resultierenden magnetischen Turbulenz (siehe Titelbild). Aufwändige „particle-in-cell“ Simulationen sind erforderlich, um zu bestimmen, welches Ausmaß die Turbulenz erreicht. Daraus ergibt sich die Obergrenze für die Energie, auf die kosmische Strahlen beschleunigt werden können.



Die Ergebnisse einer „particle-in-cell“ Simulation zeigen Kanäle niedriger Dichte und hoher Magnetfeldstärke, erzeugt von kosmischer Strahlung. Die Farbcodierung steht für (oben) die magnetische Feldstärke, bzw. (unten) die Plasmadichte.

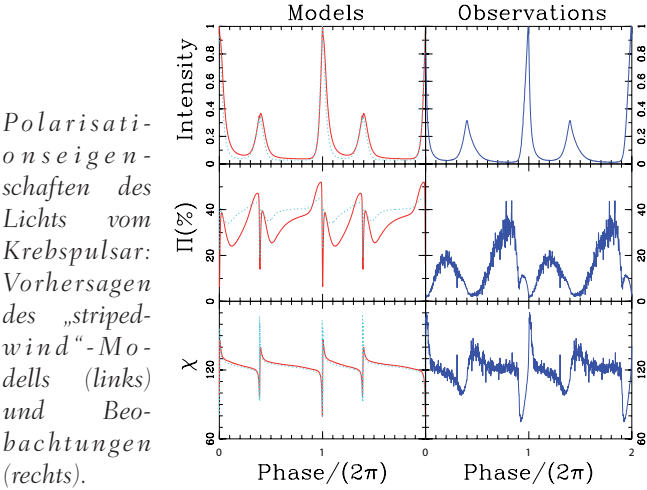
Pulsarwinde

Pulsare sind schnell rotierende, magnetisierte Neutronensterne. Alle, die nicht zu einem Doppelsternsystem gehören, verlangsamen sich. Geladene Teilchen (wohl Elektronen und Positronen) und Magnetfelder transportieren in einer relativistischen Ausströmung die Rotationsenergie vom Stern weg und deponieren sie in einen „Nebel“, der um einige Pulsare im Radio-, sichtbaren, Röntgen- und



„Stromschicht“ um einen Pulsar. Das Muster wandert, bedingt durch die Rotation des Sterns, mit Lichtgeschwindigkeit nach außen. Magnetfeld-Dissipation heizt das Plasma auf.

Gammastrahlenbereich zu beobachten ist. Allerdings ist unbekannt, wie die Energie abgegeben wird. Eine Möglichkeit ist magnetische Wiederverbindung oder Annihilation. Der Pulsarwind trägt ein Wellenmuster mit der Rotationsfrequenz des Sterns. Magnetfeldlinien von den zwei Polen sind zu einem Streifenmuster gefaltet und von einer „Stromschicht“ getrennt. Die Wechselkomponente des Felds kann in der Schicht dissipieren und so den Wind beschleunigen. Wenn das schnell geschieht, entsteht gepulste hochenergetische Emission, ähnlich der beobachteten.



Polarisationseigenschaften des Lichts vom Krebspulsar: Vorhersagen des „striped-wind“-Modells (links) und Beobachtungen (rechts).