

# Die Welt der Pulsare



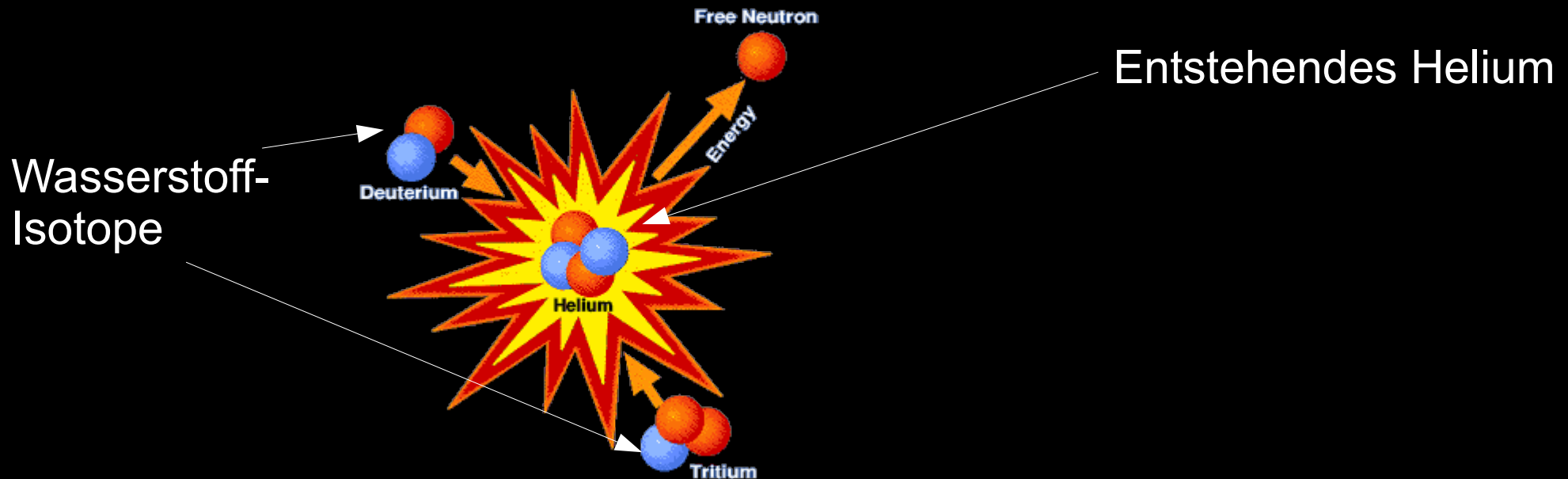
Benedikt Hampe

# Gliederung

- Das Ende eines Stern
- Eigenschaften eines Neutronensterns
- Pulsar
- Doppelsysteme



Ein Stern gewinnt seine Energie durch Kernfusion:  
Leichtere Elemente verschmelzen zu schweren. Dabei entsteht  
aus Masse Energie.



# Das Leben eines Sterns

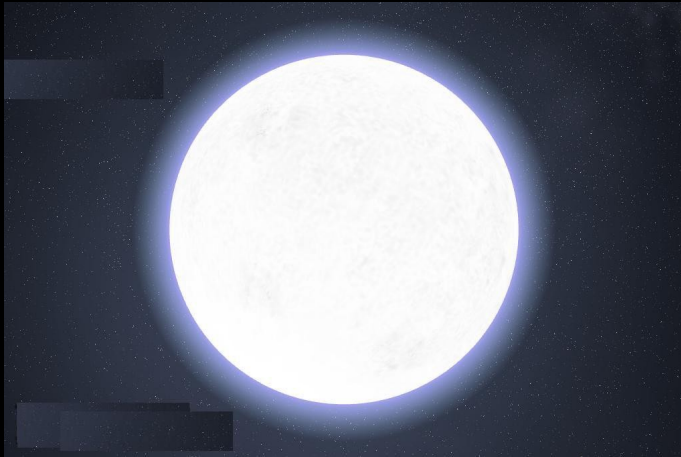
Ein Stern wie die Sonne “lebt” mehrere Milliarden Jahre. Doch irgendwann stoppt der Fusionsprozess und der Stern kann der Schwerkraft nicht mehr standhalten. Er explodiert und fällt in sich zusammen.

Bei größeren Sternen als die Sonne geschieht das mit einer Supernovaexplosion . Dabei wird so viel Energie freigesetzt, dass eine Supernova ihre eigene Galaxie überstrahlen kann.

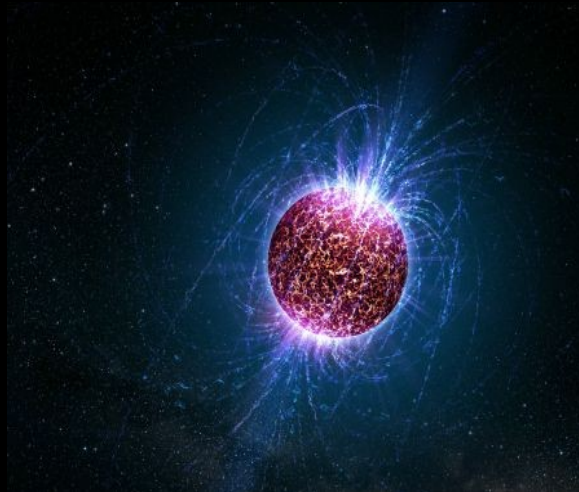
# Das Ableben eines Stern

Je nach Masse des Sterns, wird aus der "Leiche" des Sterns eines der folgenden Objekte:

ein weißer Zwerg



ein Neutronenstern



ein Schwarzes Loch



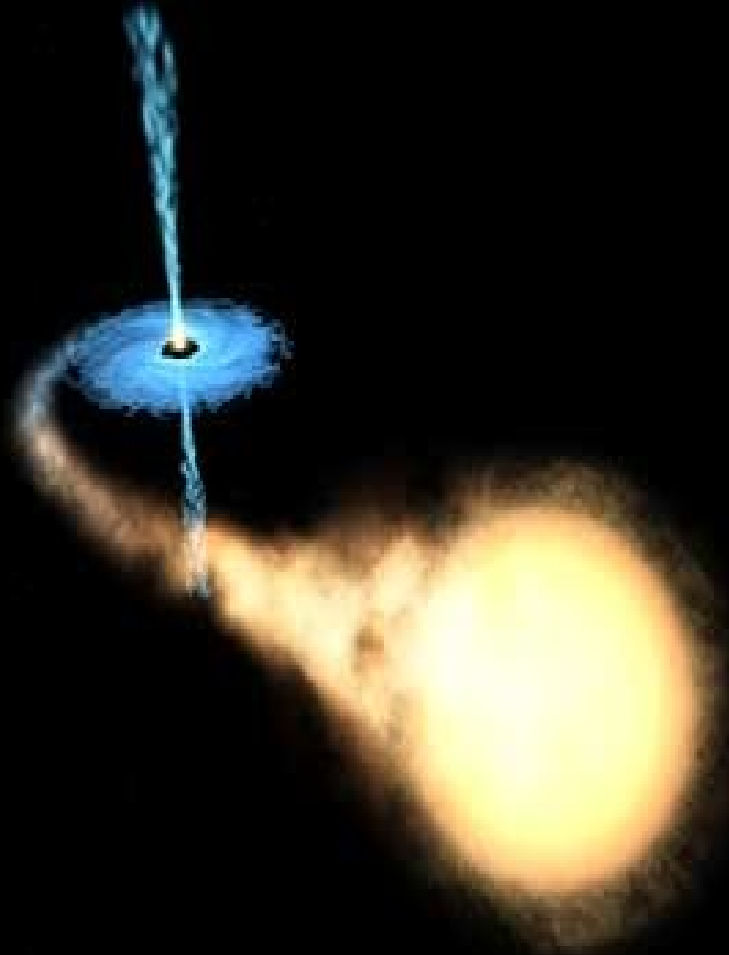
# Ein weißer Zwerg

**Sterne wie die Sonne und kleinere werden zu einem weißen Zwerg**

- ca. so groß wie die Erde
- produziert keine Energie, gibt nur Restwärme ab
- besteht aus Kohlen- und Sauerstoff
- Temperatur: ca. 10.000 Kelvin
- Wenn seine Energie ausgegangen ist, wird er zu einem schwarzen Zwerg



# Ein schwarzes Loch



Die Anziehungskraft ist so groß, dass sogar das Licht das Objekt nicht verlassen kann:

Deswegen heißt es 'schwarzes Loch'

In einem Doppelsternsystem, wie in diesem Bild, wird Gas von dem anderen Stern wegen der enormen Schwerkraft des Schwarzen Lochs angezogen (akkretiert) und eine Akkretionsscheibe formiert. Ein Teil stürzt nicht in das Zentrum, sondern wird mit den sogenannten Jets ins All geschossen

# Entstehung eines Neutronensterns

Neutronensterne entstehen, wenn die Masse der übrig gebliebenen “Leiche” des Sterns bei etwa 1,4 bis 3 mal der Masse unserer Sonne lag.

Ein Neutronenstern kann außerdem entstehen, wenn ein weißer Zwerg, der sich in einem Doppelsternsystem befindet, die Masse des anderen Stern akkretiert bis er das Limit 1,4 mal der Masse der Sonne übersteigt.

Dieses Limit nennt man Chandrasekhar-Grenze.



# Aufbau

The diagram shows a cross-section of a neutron star. It consists of a large, dark blue outer shell and a smaller, lighter blue inner core. The outer shell is significantly thicker than the inner core. The entire structure is set against a black background.

Neutronensterne bestehen nicht aus Atomen. Der Druck im Inneren von Neutronensternen ist so groß, dass die Elektronen der Atome in den Atomkern stürzen, dort mit den Protonen verschmelzen und zu Neutronen werden. Der Neutronenstern wird dadurch so komprimiert, dass sein Durchmesser nur noch 10-20 km beträgt. Nur in der ca. 1 km dicken Außenhülle sind noch Elektronen vorhanden, weil der Druck dort nicht so groß ist. Neutronensterne sind die bisher entdeckten Objekte mit der höchsten Dichte.

# Eigenschaften

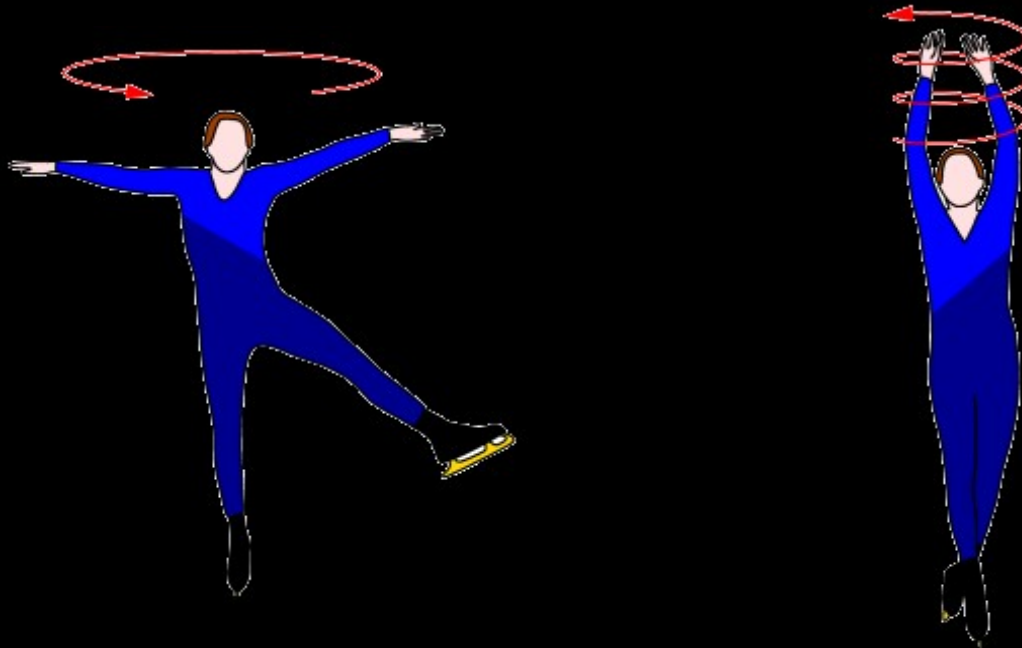
Bei der 'Geburt' eines Neutronensterns liegt die Temperatur bei ca. 100 Milliarden Kelvin, die jedoch innerhalb eines Jahres auf 'nur' 1 Milliarden Kelvin sinkt.

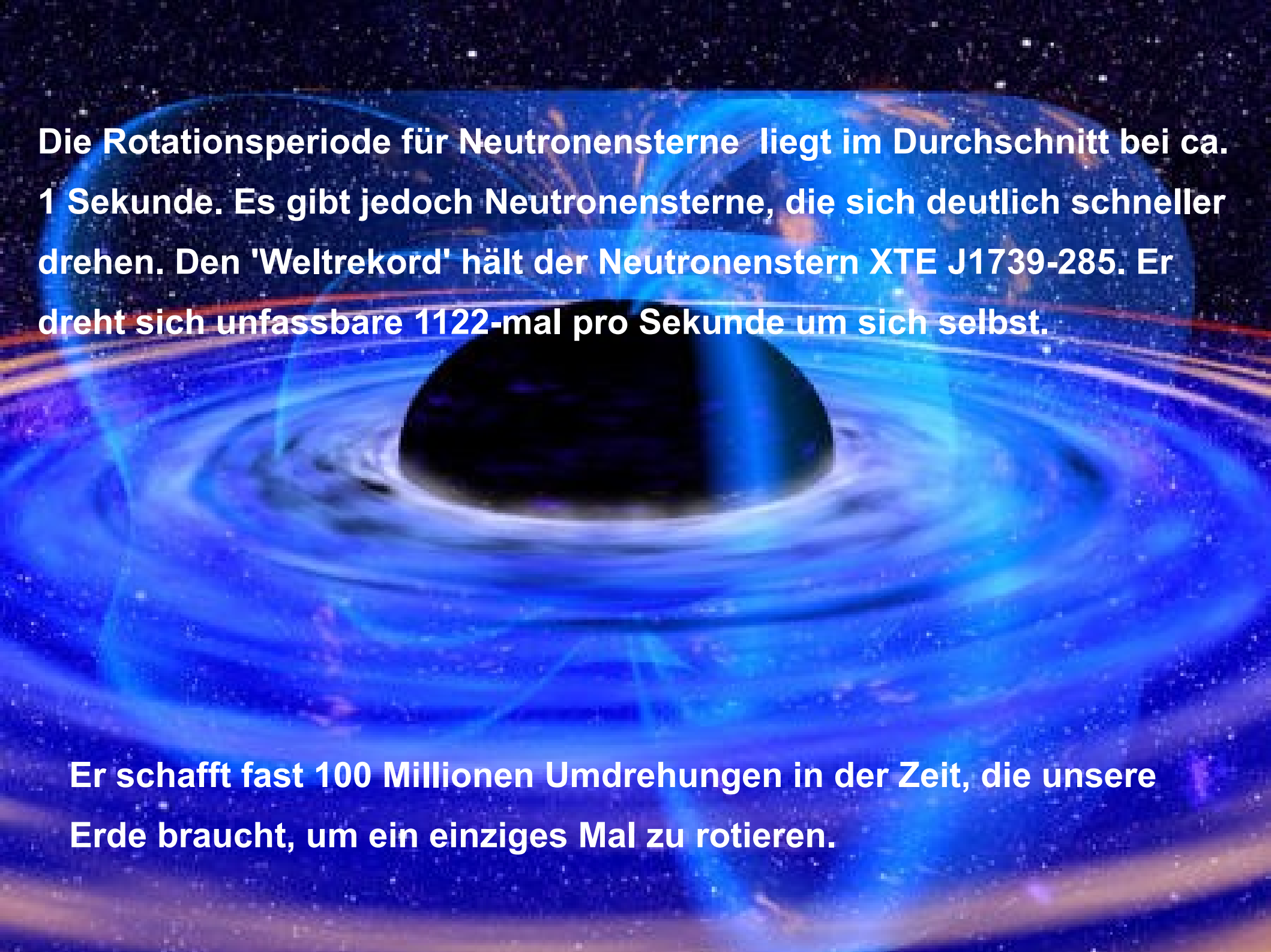
Außerdem ist die Schwerkraft so stark, dass die Fluchtgeschwindigkeit, die Geschwindigkeit, die man benötigt um einen Himmelskörper zu verlassen, sogar bis 80 % der Lichtgeschwindigkeit liegt. Zum Vergleich: die Fluchtgeschwindigkeit der Erde liegt bei rund 11 km pro Sekunde, also  $\sim 1/25000$  der Fluchtgeschwindigkeit eines Neutronensterns.



# Rotation

Wie am Anfang gesagt, wenn der Fusionsprozess stoppt, kann der Stern der Schwerkraft nicht mehr standhalten, der Stern fällt in sich zusammen. In diesem Kollapsprozess wird das Objekt immer schneller: Wie ein Eiskunstläufer, der seine Arme anzieht, konzentriert das kollabierende Objekt seine Masse im Zentrum. Dabei wird die Rotationsgeschwindigkeit stark erhöht.



A detailed illustration of a neutron star, depicted as a dark, spherical object at the center. It is surrounded by multiple layers of glowing, blue and white accretion disks that spiral inward. The background is a deep space filled with stars and nebulae, with a prominent blue and white nebula-like structure surrounding the star. The overall scene is dynamic and energetic, representing the intense gravitational and magnetic fields of a neutron star.

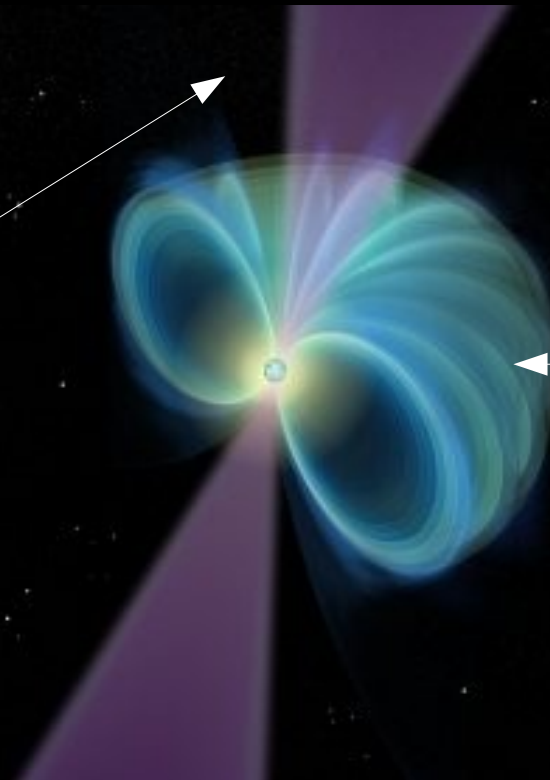
**Die Rotationsperiode für Neutronensterne liegt im Durchschnitt bei ca. 1 Sekunde. Es gibt jedoch Neutronensterne, die sich deutlich schneller drehen. Den 'Weltrekord' hält der Neutronenstern XTE J1739-285. Er dreht sich unfassbare 1122-mal pro Sekunde um sich selbst.**

**Er schafft fast 100 Millionen Umdrehungen in der Zeit, die unsere Erde braucht, um ein einziges Mal zu rotieren.**

# Strahlung

Durch die starke Rotation entstehen große Mengen an Energie, die den Neutronenstern in Form von Strahlung verlässt. Wegen des starken Magnetfelds, welches  $2 \cdot 10^{11}$  mal stärker als das der Erde ist, kann die Strahlung nur an den Polen entweichen. Dort tritt sie gebündelt aus. Diese Strahlung ist in der Regel im Radiobereich.

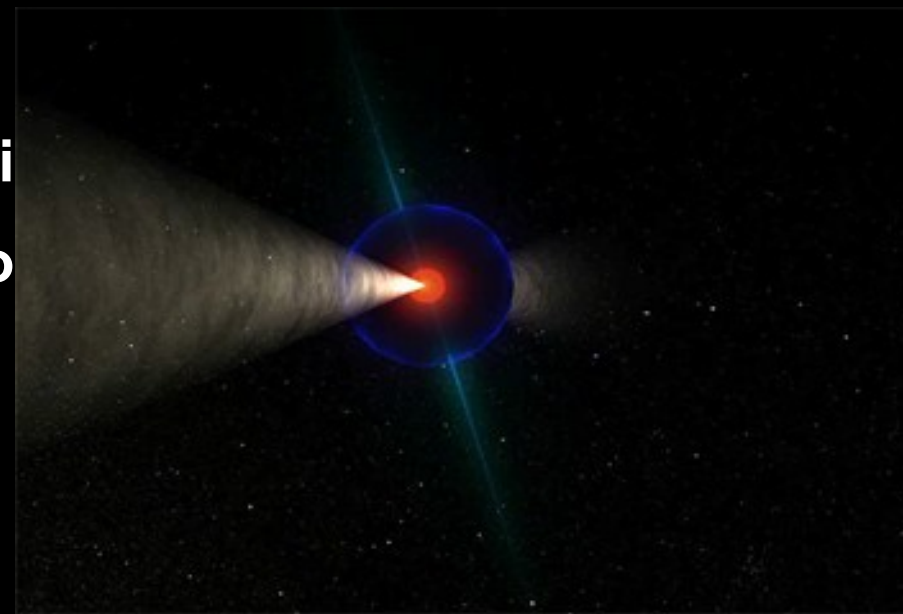
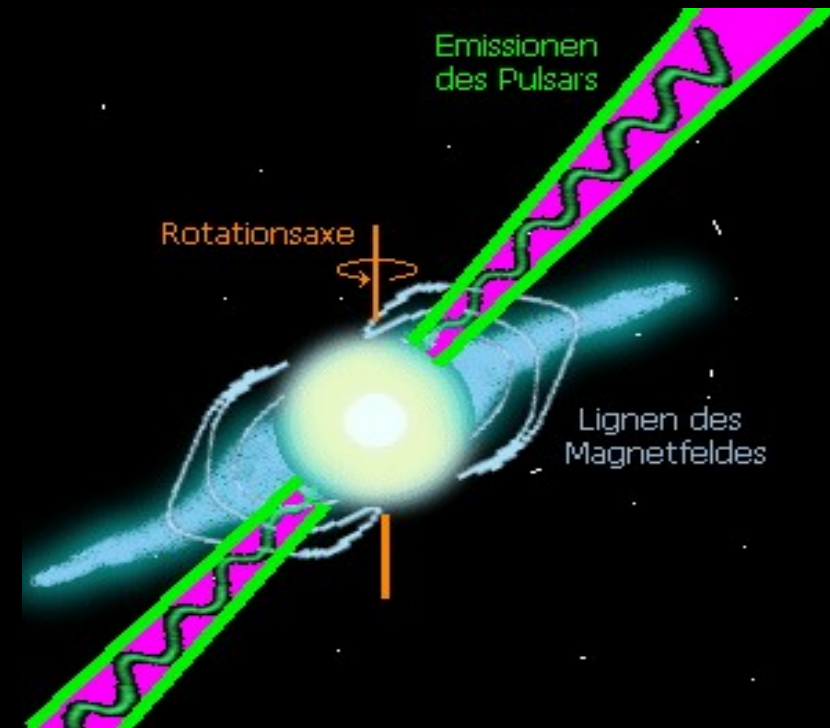
Die beiden  
kegelförmigen  
Strahlen



Das Magnetfeld,  
das von einem  
Pol zum anderen  
verläuft.

# Was ist ein Pulsar ?

**Pulsare sind spezielle Neutronensterne. Bei ihnen ist die Achse des Magnetfelds nicht gleich der Rotationsachse. Dadurch, dass der Stern ca. 1 mal pro Sekunde um seine Achse rotiert und zwei Bündel von Wellen aussendet, erscheint ein Pulsar wie ein Leuchtturm. Schwenkt einer dieser zwei Bündel von Radiowellen über die Erde, kann man mit Radioteleskopen ein Radiosignal, den sogenannten Puls messen. Deswegen nennt man diese Neutronensterne Pulsare.**



# Der Puls

Die Pulse sind periodisch, weil die Rotationszeit nur sehr gering

abnimmt. Die Pulse treffen also alle

etwa mit dem gleichen Abstand ein. Diese Pulse sind so periodisch, dass man Uhren danach stellen könnte.

Die Pulse eines einzelnen Pulsars können in der Intensität stark variieren, aber wenn man aus etwa hundert Pulsen des

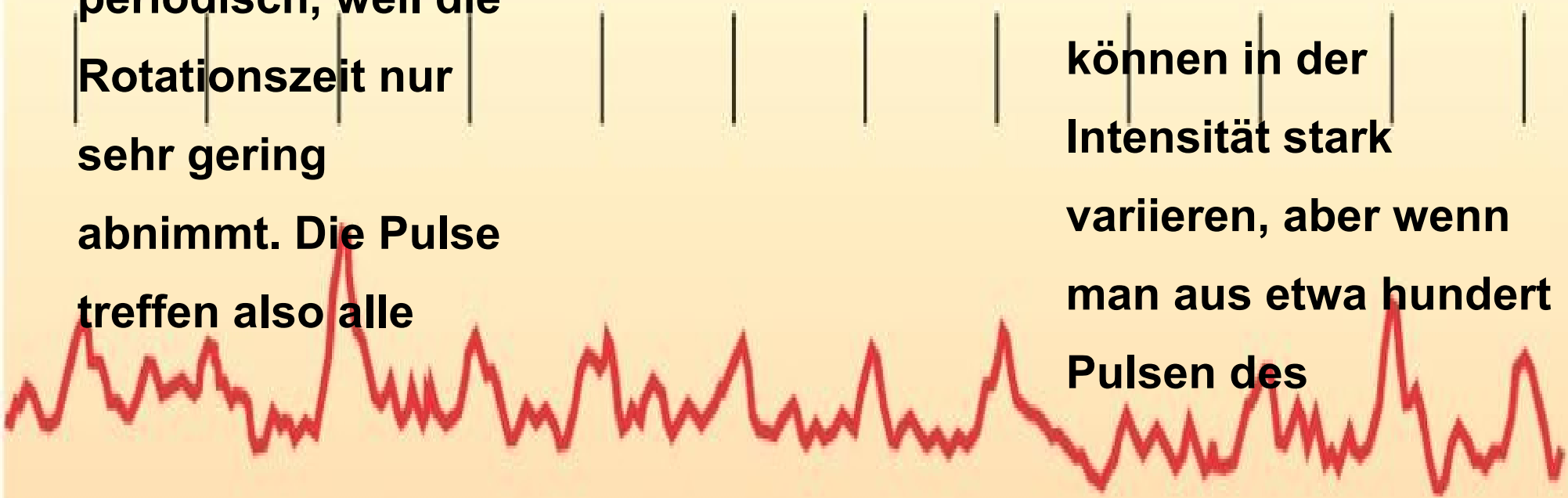
gleichen Pulsars den Mittelwert bildet, erhält man einen charakteristischen Wert.

Ein Puls dauert etwa 5% der Periode

10 s

Intensity ↑

Time →



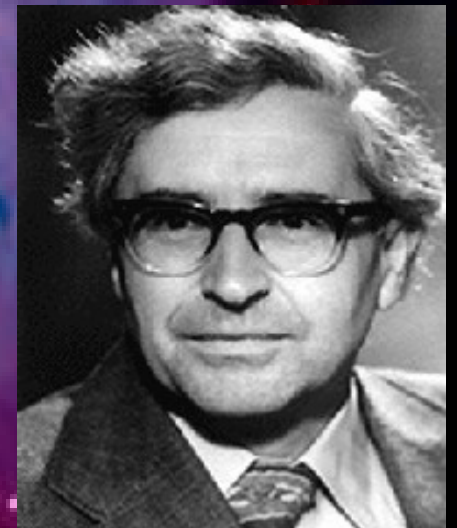
# Entdeckung

Der erste Pulsar wurde 1967 durch Zufall von der englischen Studentin Jocelyn Bell entdeckt. Sie untersuchte die Veränderung von Radiosignalen durch die Erdatmosphäre mit einem Radioteleskop.. dabei fand sie ein Signal, das genau alle 1,337 Sekunden auftauchte.

Zunächst hielt ihr Doktorvater Anthony Hewish dieses Signal für eine Störung, doch Bell bestand darauf, dass es Signale eines bisher unbekanntes Objekts sein müssten, womit sie Recht behielt.

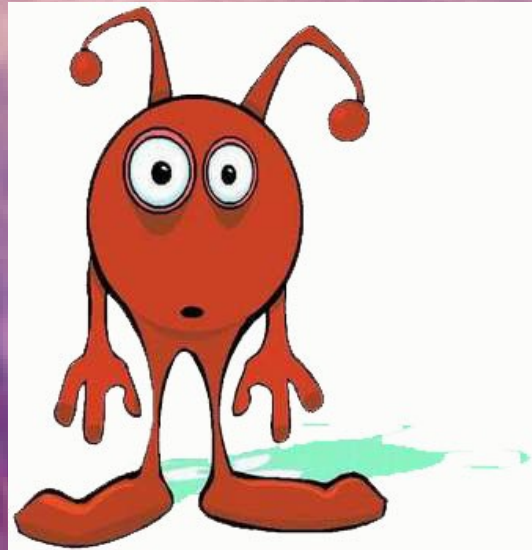


links: Jocelyn Bell  
rechts: Anthony Hewish  
im Hintergrund:  
Der 1. Pulsar  
PSR B1919+21





**Zunächst vermutete man, es handle sich um eine außerirdische Lebensform, weil die Signale mit einer Präzision emittiert wurde, dass eine natürliche Quelle nicht in Frage kam.**



**Die ersten beiden entdeckten Pulsare wurden deswegen LGM (Little Green Man) 1 bzw. 2 genannt.**

**Für die Entdeckung von Pulsaren bekam 1974 Anthony Hewish, der Doktorvater von Jocelyn Bell, den Nobelpreis für Physik.**

# Die Jagt nach Pulsaren

**1968, ein Jahr nach der Entdeckung, begann die Suche nach Pulsaren. Bisher wurden etwa 1500-2000 Pulsare entdeckt, alle in unserer Galaxie. Man sucht nach einem periodischen Signal. Die Signale empfängt man mit einem Radioteleskop.**




## **Radioteleskop Effelsberg:**

- Das bekannteste Deutschlands
- steht in eine Tal bei Bad Münstereifel-Effelsberg
- 100 m Durchmesser
- es ist das 2. größte komplett bewegliche Teleskop
- hier wurden 4 Pulsare entdeckt

**Vor knapp 1000 Jahren sahen chinesische Astronomen für ein paar Wochen einen Stern am Himmel, der so hell war, dass man ihn auch Tagsüber sehen konnte.**

**In diesem Bild sieht man die Überreste der Supernova, die diese Chinesen gesehen haben. Im Zentrum befindet sich ein Pulsar. Dieses Objekt wird auch Krebsnebel genannt.**

# Die Beobachtung von Pulsaren

An aerial photograph of a radio telescope array, likely the Arecibo or Green Bank Telescope, showing numerous white parabolic dishes arranged in a grid pattern across a dry, brown desert landscape. The dishes are mounted on metal structures and are connected by a network of cables and tracks. The perspective is from a high angle, looking down at the array.

Die Beobachtung von Pulsaren ist schwierig, weil die Emissionen häufig auf Grund von Störungen und anderer Strahlungsquellen untergehen.

Die Hauptschwierigkeiten bereiten die moderne Technik, die Dispersion und das Scattering.

# Technik

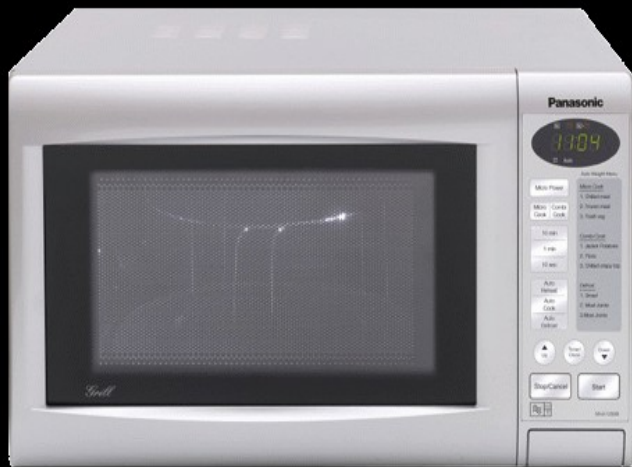
Durch zu viele Störungen kann es passieren, dass Signale untergehen.



2 gute Beispiele für Störsignale:

- Ein Handy auf dem Mond wäre die drittstärkste Radioquelle, die man mit dem Radioteleskop Effelsberg am Himmel messen könnte.

- Wenn beim Radioteleskop Effelsberg abends Messungen durchgeführt wurden, hat man zwischen 21:30 und 22:30 viele kleinere Radiosignale gefunden. Die kamen daher, dass die Menschen in der Umgebung nach dem Abendfilm Hunger bekamen und die Mikrowelle benutzten




# Dispersion

Die Strahlung, die vom Pulsar ausgeht, kann sich nicht mit Vakuumlichtgeschwindigkeit bewegen, weil im Interstellaren Medium (der Zwischenraum von Sternen, ISM) kein perfektes Vakuum herrscht.

Vereinzelt gibt es im ISM noch Materie. Wenn die Strahlung auf z.B. ein Elektron trifft, wird die Strahlung abgebremst.

Die Pulse verschiedener Frequenzen kommen nicht zur gleichen Zeit an, da Pulse, die bei einer niedrigeren Frequenz emittiert worden sind, stärker abgebremst werden. Dadurch 'verschmiert' das Messergebnis.



**Man kann einen Puls de-dispergieren, indem man die ankommenden Signale verschiedener Frequenzen verzögert. So fallen alle Pulse wieder übereinander. Ohne diese De-Dispersion kann man nicht messen, da die Signale so stark verzögert werden, dass sich die Signale mit dem nächsten Puls vermischen.**

# Scattering

A large satellite dish antenna is the central focus of the image, pointing towards the sky. The dish is a complex metal structure with a grid-like pattern. In the background, a faint rainbow is visible against a pale sky. The foreground shows some trees and a hillside, suggesting an outdoor setting.

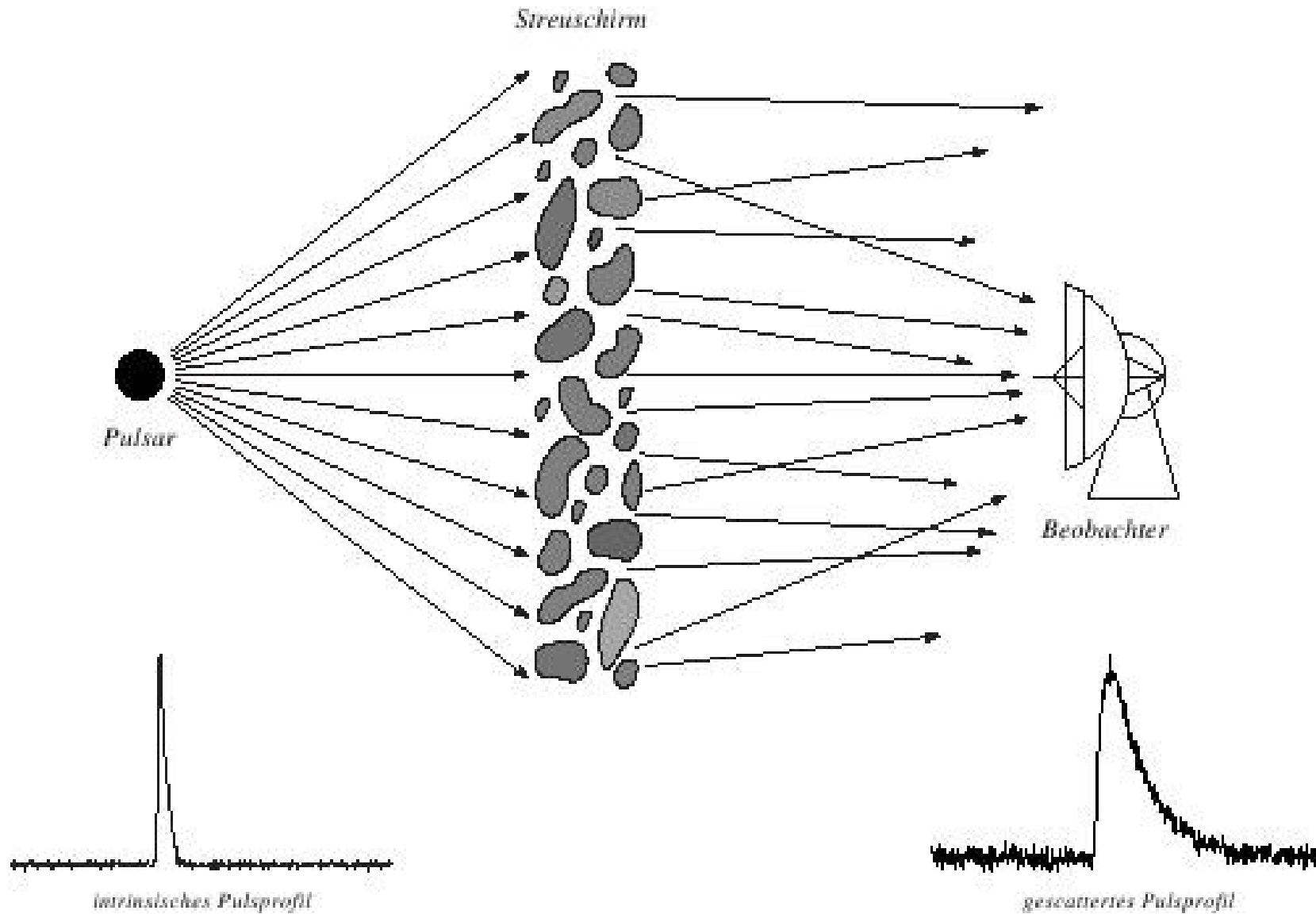
Die Strahlung wird im ISM nicht nur abgebremst, sondern auch in der Richtung abgelenkt. Einige Strahlen erreichen den Beobachter über Umwege, andere gar nicht. Auch hier wird die Strahlung, die bei einer höheren Frequenz emittiert wurde, weniger abgelenkt.

Scattering kann man nicht mit einem Gerät oder einer Software entgegenwirken.

Man kann es nur verringern, indem man bei höherer Frequenz arbeitet.

Man kann allerdings nicht bei einer beliebig hohen Frequenz beobachten. Bei sehr hohen Frequenzen fällt die Strahlungsintensität von Pulsaren steil ab.





# Akkretierende Pulsare

Da ein Pulsar durch die Strahlungsabgabe Energie verliert, wird die Rotation abgebremst.

Irgendwann ist der Pulsar so langsam und energiearm, dass er keine messbare Strahlung mehr emittiert.

Wenn sich der Pulsar in einem Doppelstern-System befindet und der Partnerstern kurz vor seinem Tod aufbläht, beginnt der Pulsar zu akkretieren. Dadurch beschleunigt der Pulsar wieder, er wird „recycled“.

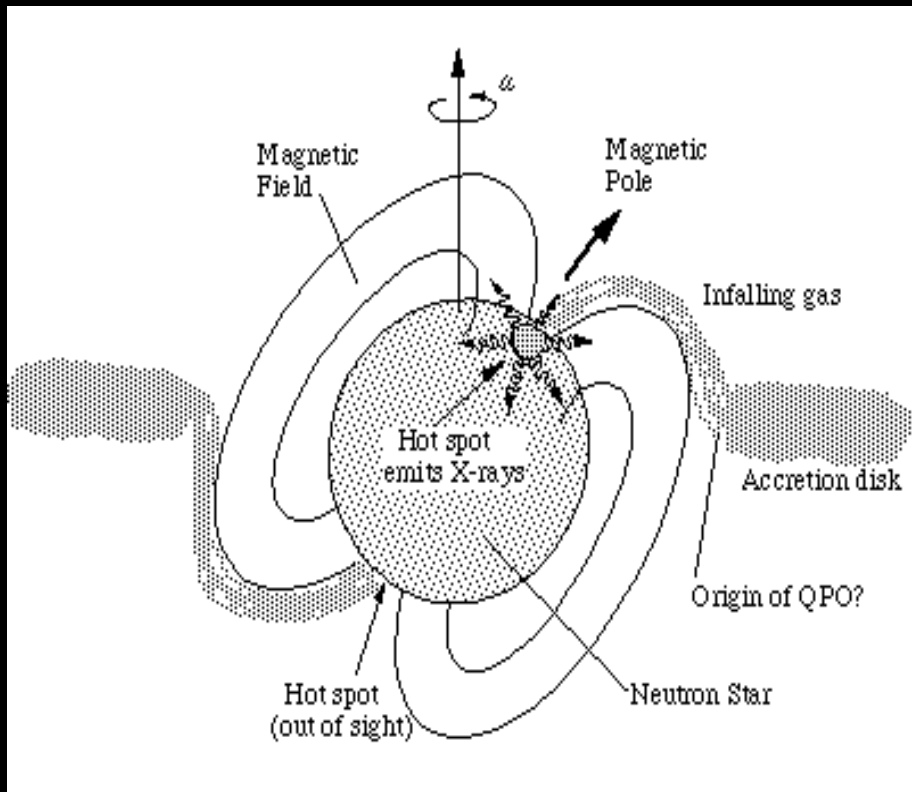
# Millisekunden-Pulsare

Einige Pulsare beschleunigen so sehr, dass sich ihre Rotationszeit auf 1 – 10 Millisekunden verringert.

Etwa 5% aller Pulsare sind Millisekunden-Pulsare.



# Röntgenpulsare



Das besondere an akkretierenden Pulsaren ist, dass sie Röntgenstrahlung emittieren. Die angezogene Materie kann wegen des Magnetfelds nur an den Polen auf den Pulsar stürzen.

Dort trifft die Materie mit großer Geschwindigkeit auf und erzeugt eine Schockwelle. Dabei werden Röntgenstrahlen emittiert.



# Pulsar - weißer Zwerg

Wenn der Partnerstern eines Pulsars stirbt und zu einem weißen Zwerg wird, kann der Pulsar von ihm nicht mehr akkretieren und somit auch keine Röntgenstrahlung mehr emittieren. Aus ihm ist also ein 'Millisekunden-Radiopulsar' geworden.

# Doppel-Pulsar

Bisher wurde nur ein Pulsar gefunden, der einen anderen Pulsar als Partner hat. Auf der elliptischen Umlaufbahn kommen sie sich langsam näher.

Der Energieverlust ist durch die Ausbreitung von Gravitationswellen zu erklären, die bereits von der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins vorhergesagt wurden. Die Existenz dieser Wellen wurde bereits von Russell Hulse and Joseph Taylor an zwei Neutronensternen nachgewiesen.

# Pulsar – schwarzes Loch

**Man hat noch kein Sternsystem gefunden, in dem sich ein Pulsar und ein schwarzes Loch befindet. Jedoch wollen Astronomen unbedingt so eine Konstellation finden, weil man dann mehr über schwarze Löcher herausfinden könnte.**

