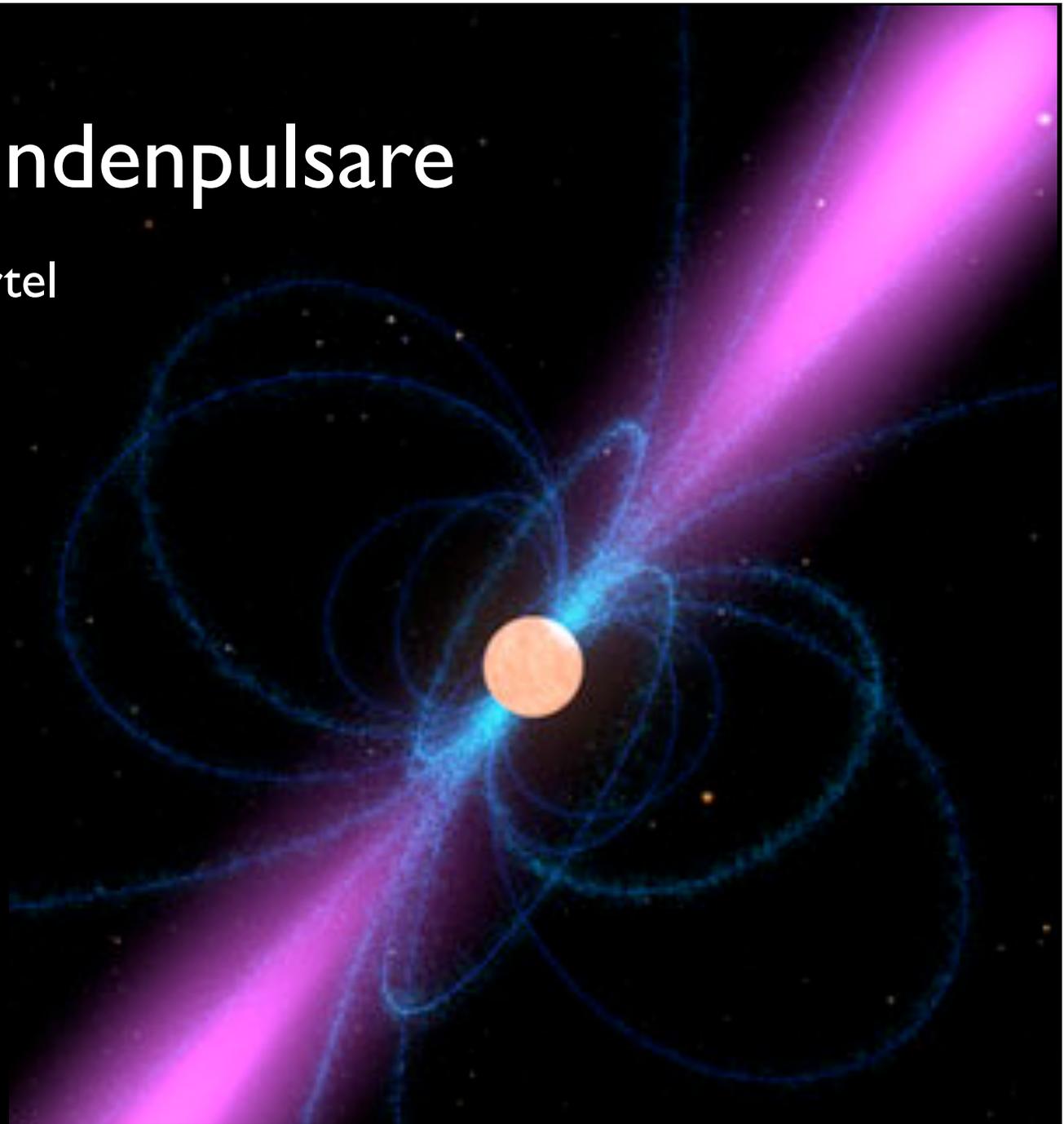
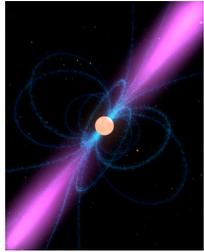


Millisekundenpulsare

Dominik Hertel



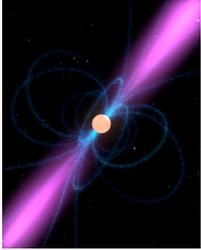


Gliederung

- Grundlagen
- Millisekundenpulsare in unserer Galaxie
- Die Entwicklung von Millisekundenpulsaren
- Physik mit Millisekundenpulsaren

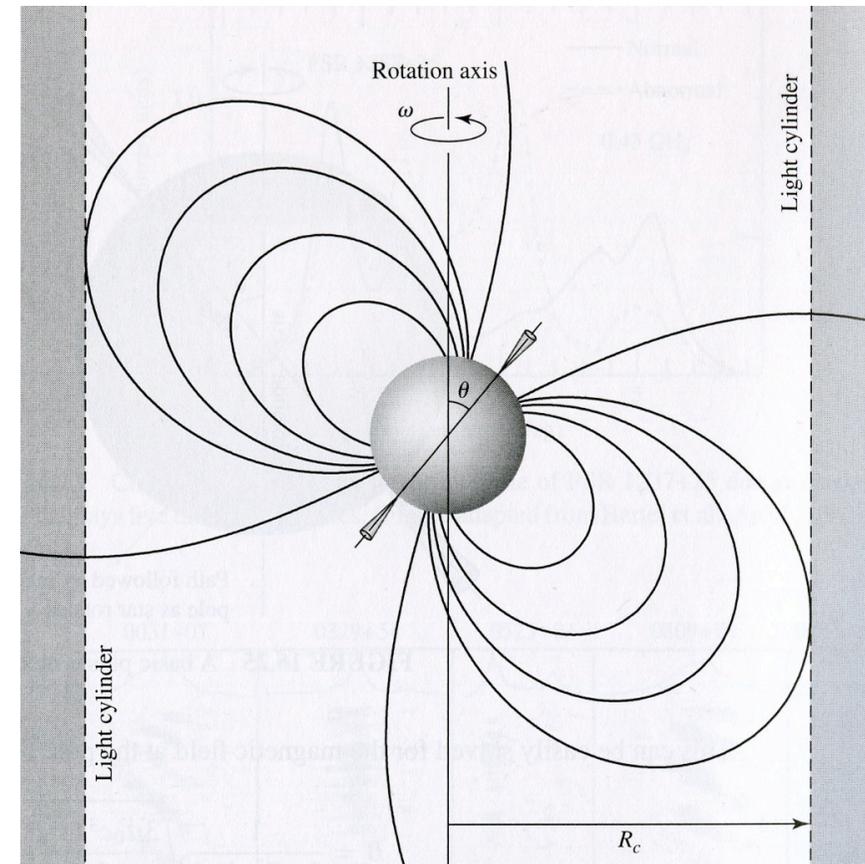
Bei Fragen, Fehlern, Anmerkungen: Mail an
dominik.hertel@physik.stud.uni-erlangen.de

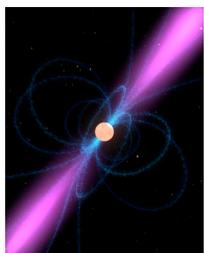
Grundlagen



Pulsare

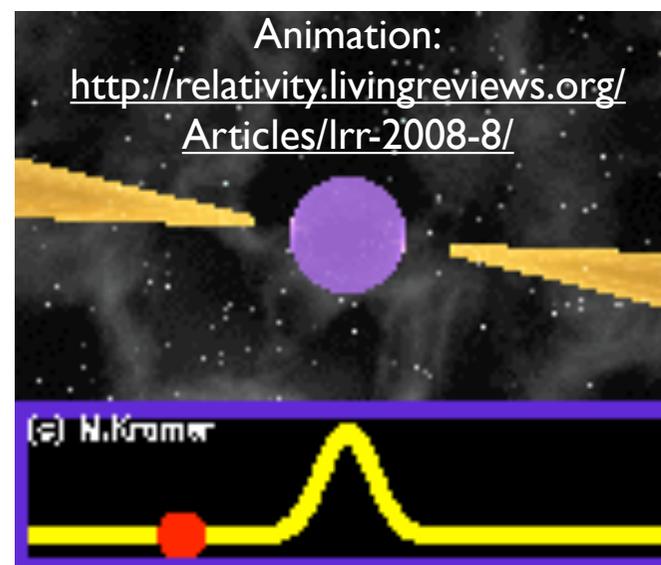
- Pulsare sind schnell rotierende Neutronensterne
- Entlang der Magnetfeldlinien werden geladene Teilchen beschleunigt



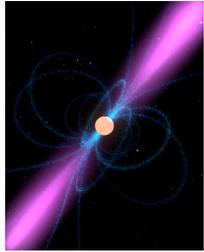


Das Leuchtturm-Modell

- Die Synchrotron-Strahlung wird relativistisch gebeamt wodurch zwei Strahlungskegel entstehen
- Magnetfeldachse ist gegenüber der Rotationsachse geneigt.
- Streift ein Kegel die Erde wird ein Puls gemessen.



[2] Michael Kramer



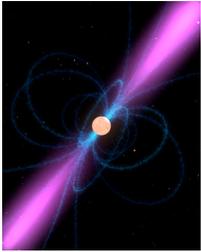
Das Magnetfeld eines Pulsars

- B-Felder normaler Pulsare haben typischerweise Werte von ca. 10^{12} G.
- Nimmt man an, dass Pulsare nur über die Dipolstrahlung Energie verlieren, kann man aus der Umlaufzeit (P) und aus der Änderung der Umlaufzeit (\dot{P}) auf das B-Feld schließen.

$$B = \frac{1}{2\pi R^3 \sin \theta} \sqrt{\frac{3\mu_0 c^3 I P \dot{P}}{2\pi}}$$

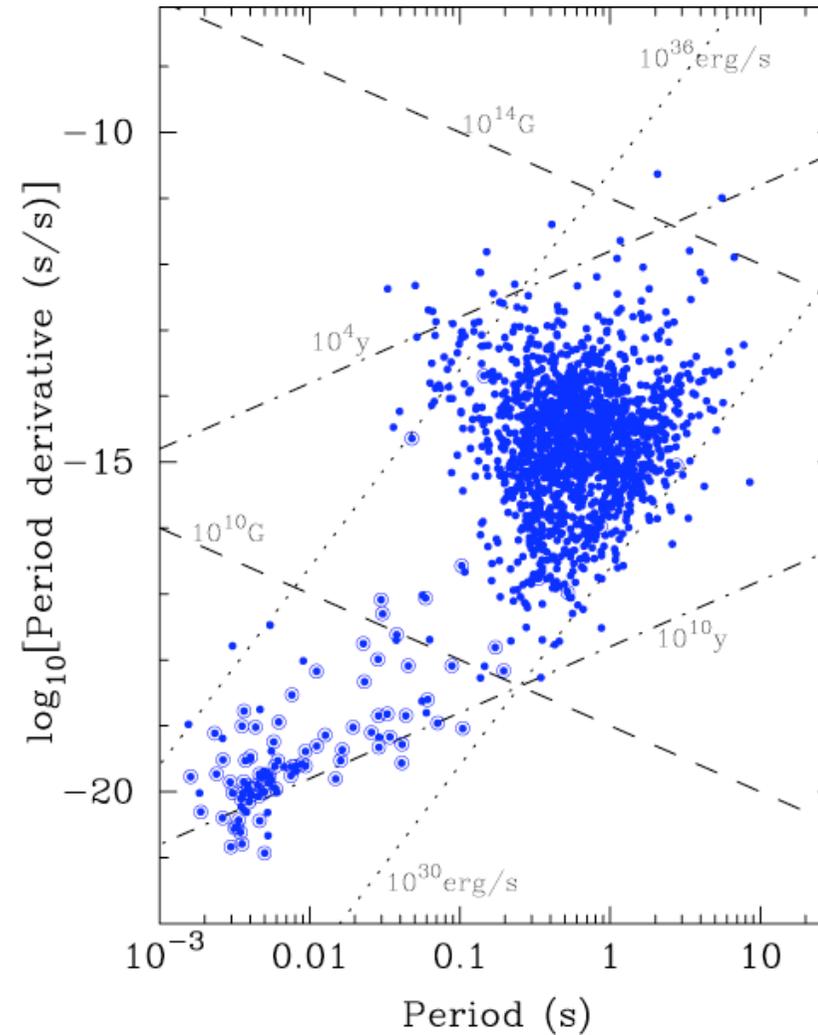
[9]

Millisekundenpulsare in unserer Galaxie

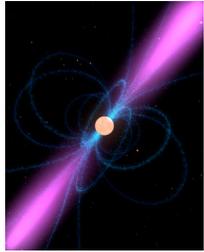


Millisekundenpulsare

- MSP sind eigenständige Population
- $1,4 \text{ ms} \approx P \approx 30 \text{ ms}$

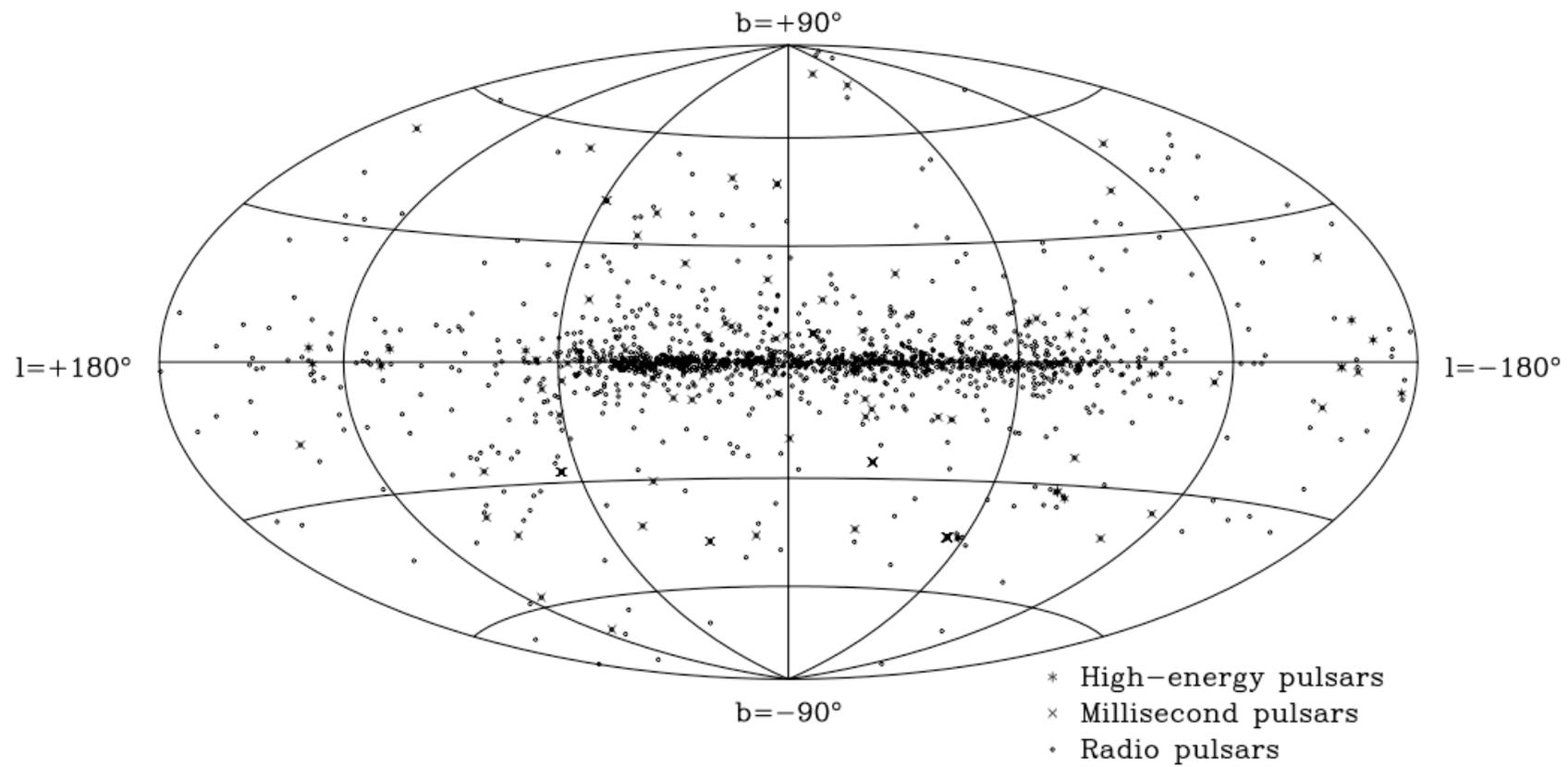


[2]



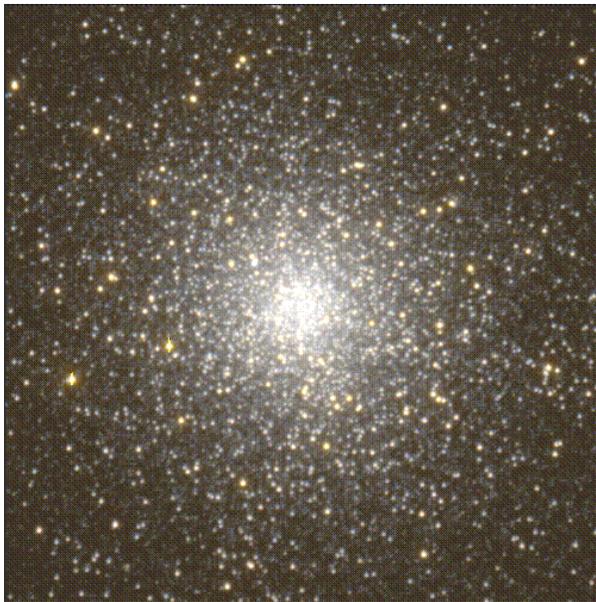
Surveys

- All-sky surveys
- galaktische Scheibe
- globular clusters
- gezielte Suche in anderen Regionen



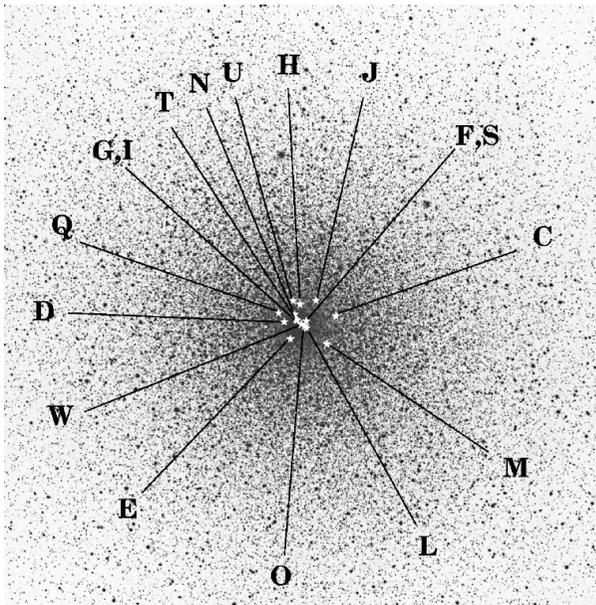
[6]

Pulsar-Verteilung in unserer Galaxie

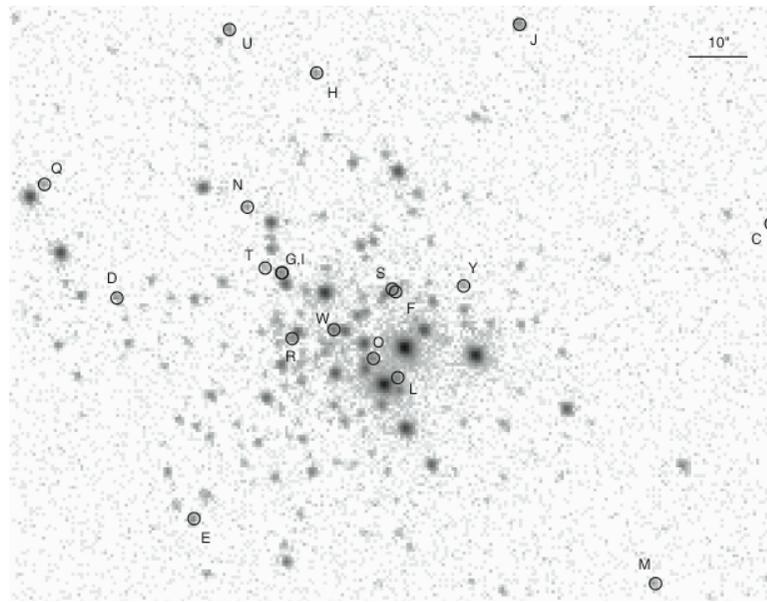


[14]

Kugelsternhaufen 47 Tucanae 23 MSP



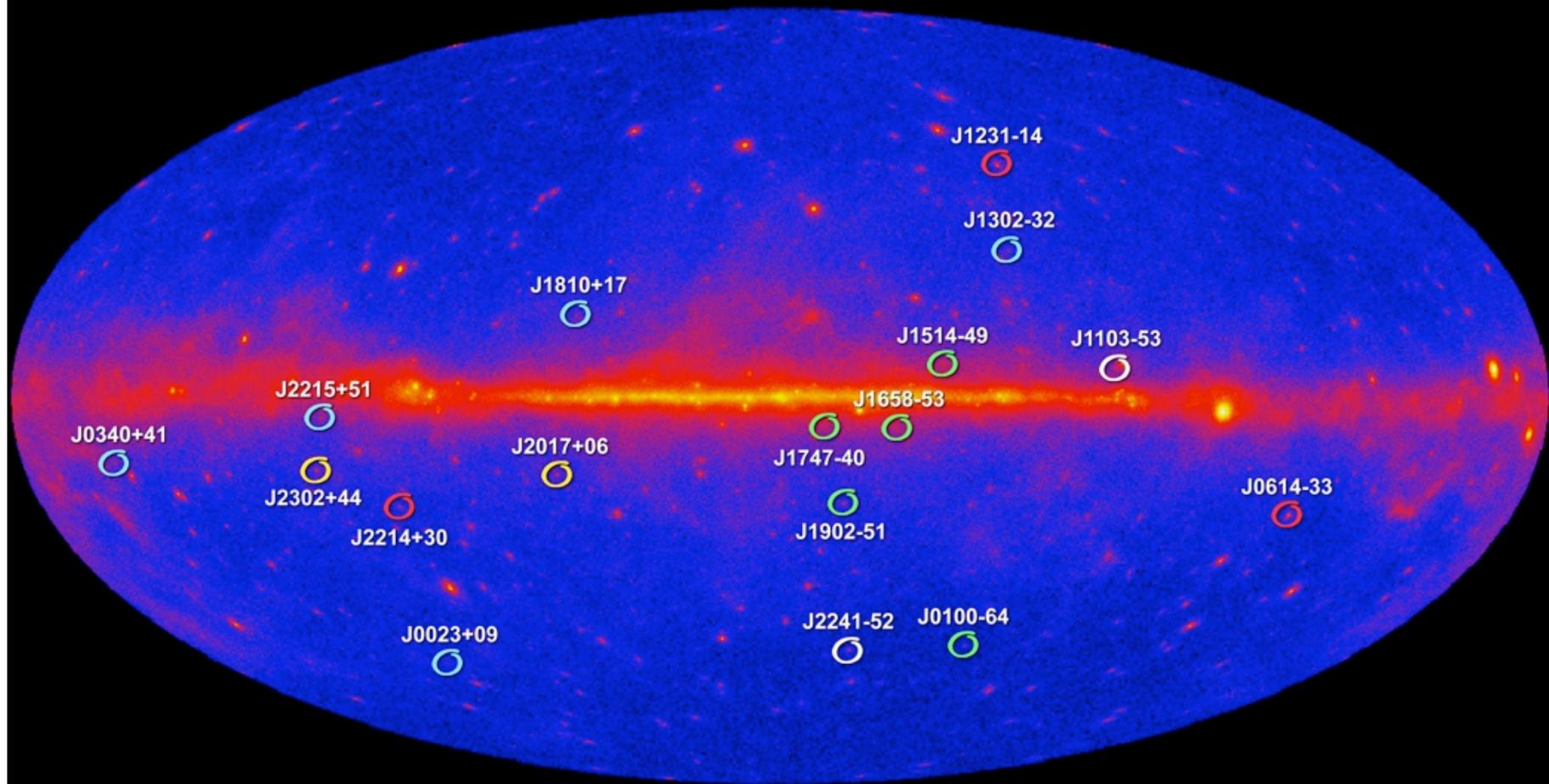
[11]



[13]

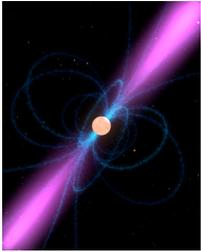
Animation:
<http://www.jb.man.ac.uk/~pulsar/Education/Sounds/>

New Millisecond Radio Pulsars Found in Fermi LAT Unidentified Sources



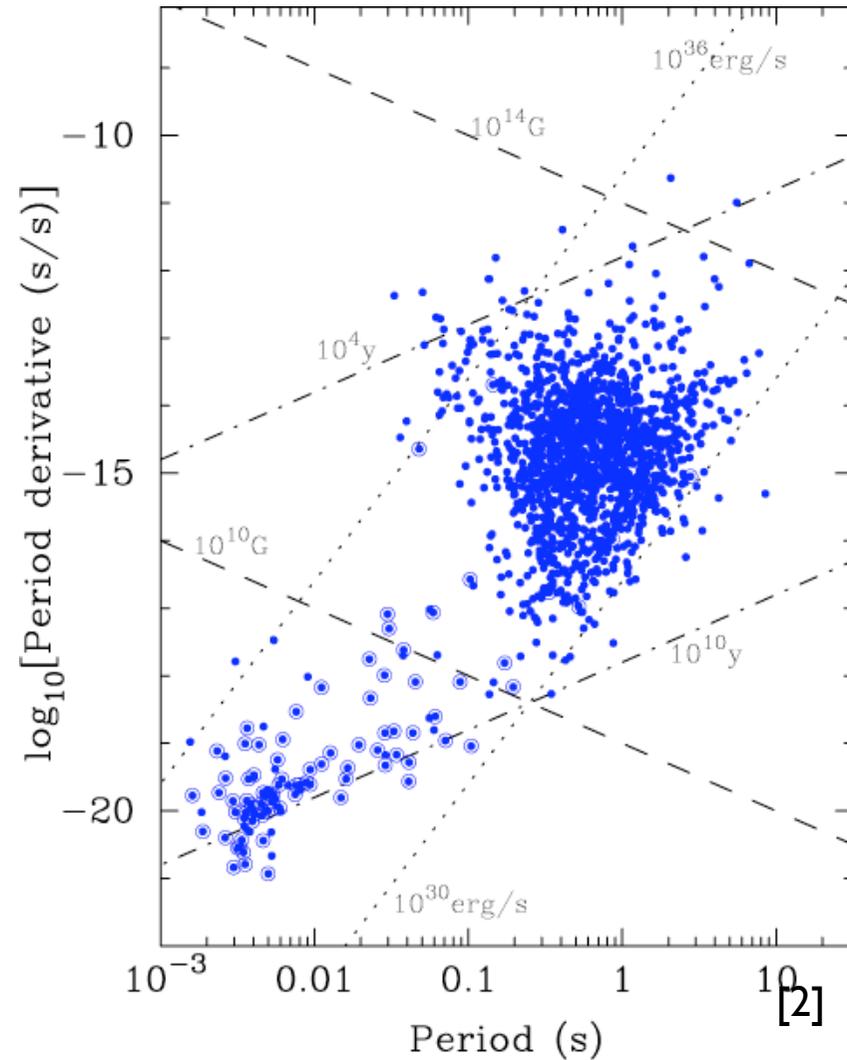
- Led by Fernando Camilo (Columbia Univ.) using Australia's CSIRO Parkes Observatory
- Led by Mallory Roberts (Eureka Scientific/GMU/NRL) using the NRAO's Green Bank Telescope
- Led by Scott Ransom (NRAO) using the Green Bank Telescope
- Led by Ismael Cognard (CNRS) using France's Nançay Radio Telescope
- Led by Mike Keith (ATNF) using Parkes Observatory



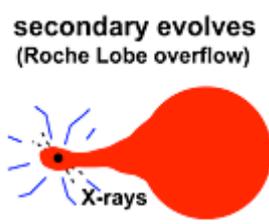
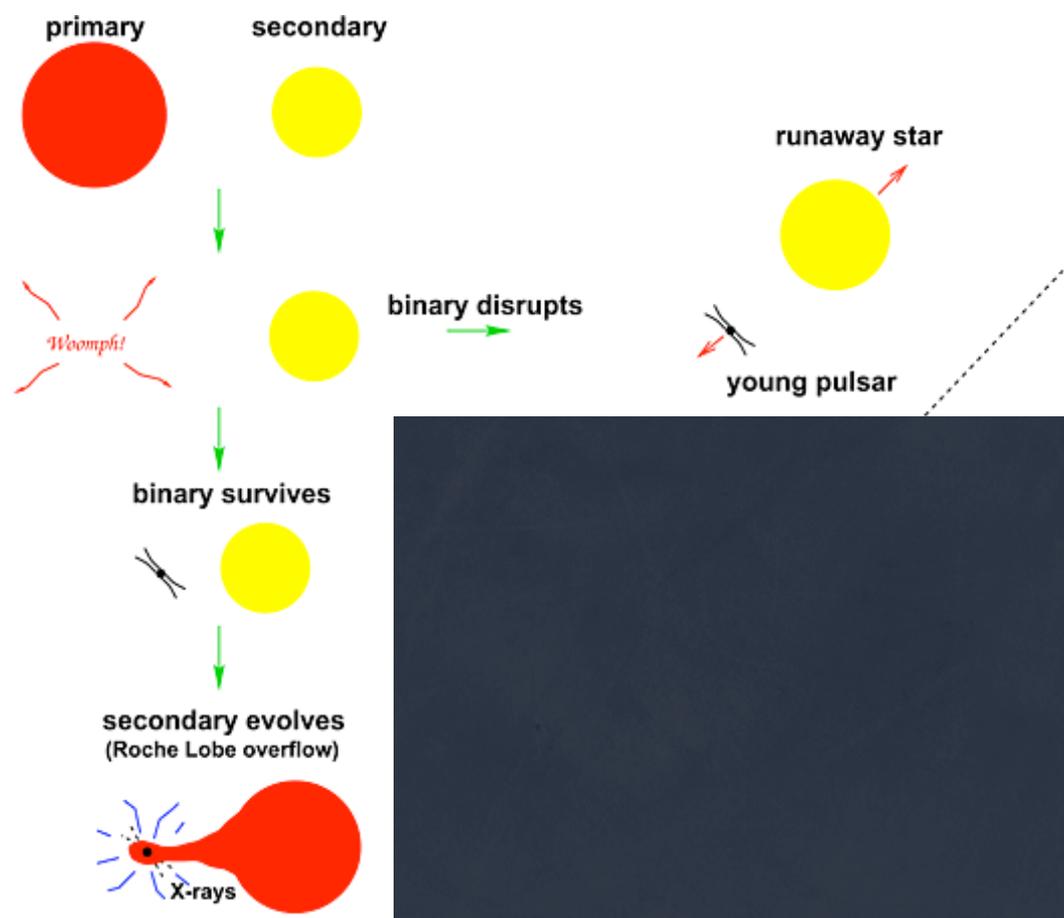


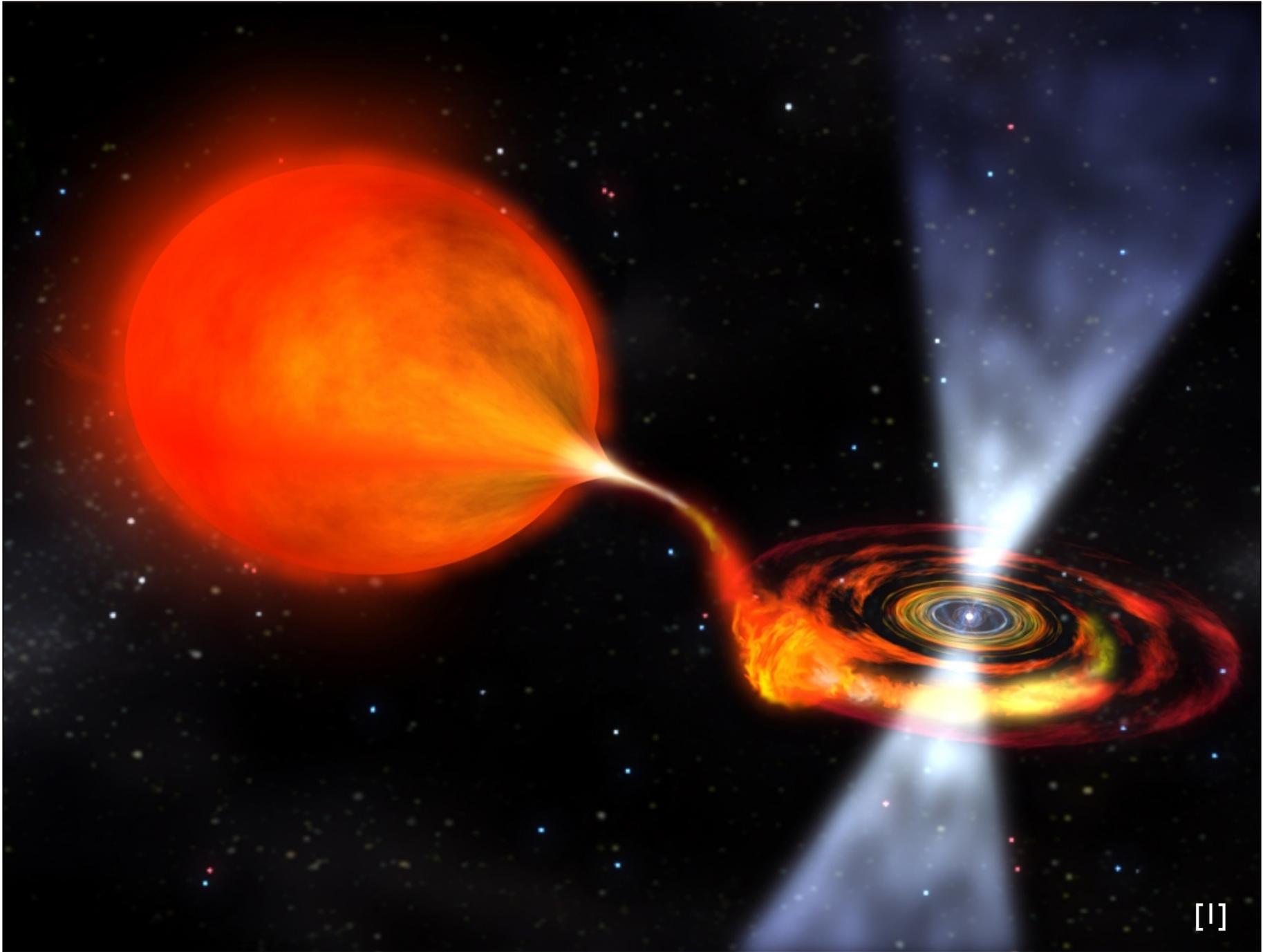
Millisekundenpulsare

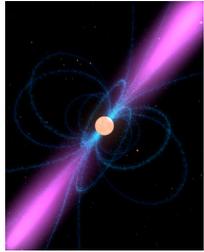
- $\dot{P} \approx 10^{-19} \text{ s/s}$
- $B \approx 10^8 \text{ G}$
- 170 Objekte bekannt
- MSP sind recycled.



Entwicklung von Millisekundenpulsaren

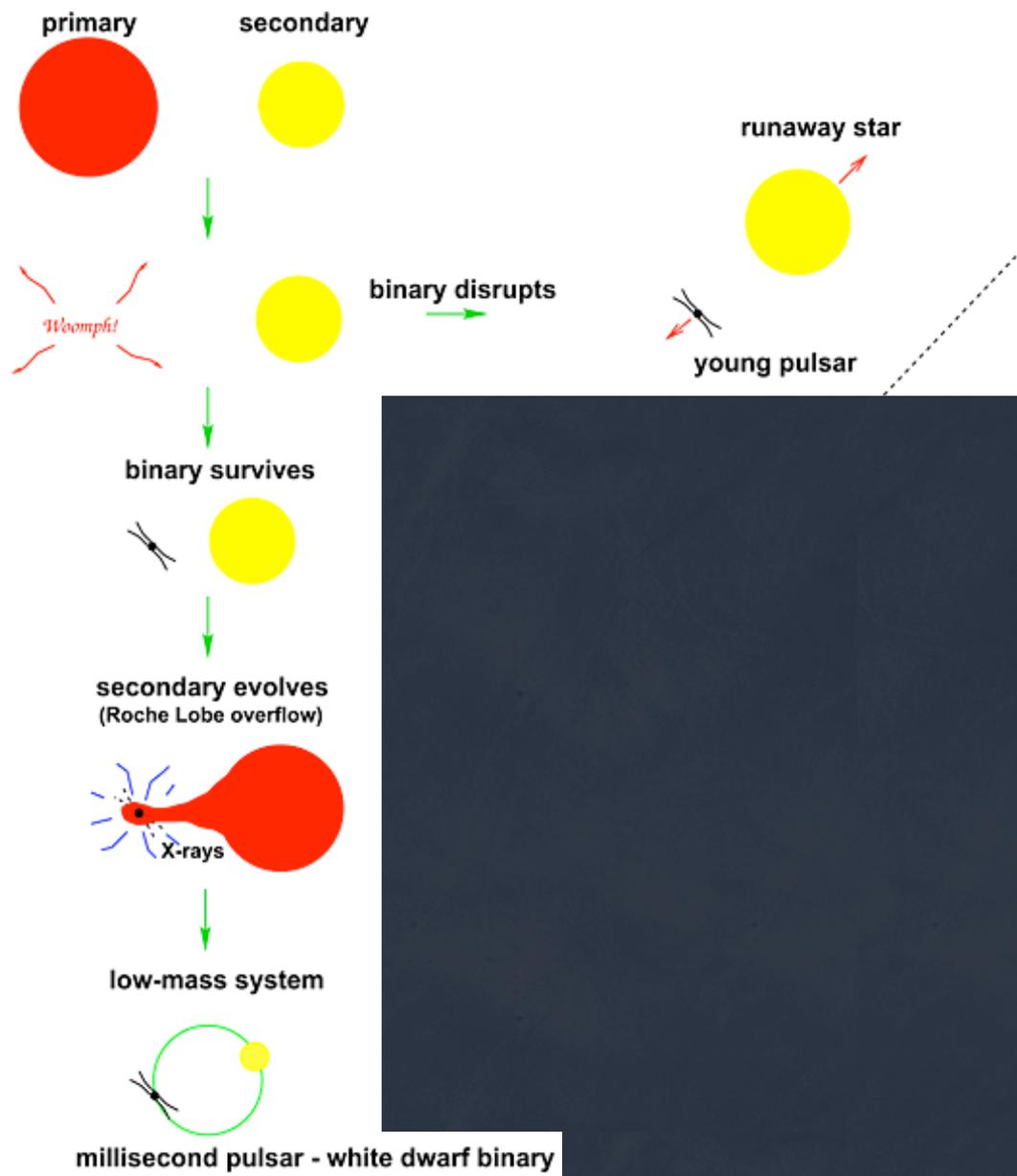


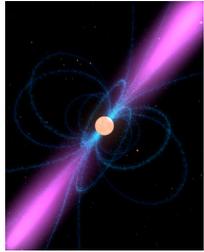




Vom Pulsar zum Millisekundenpulsar

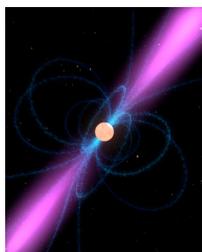
- Durch Akkretion fließt das Material auf den Pulsar.
- Dabei wird Drehimpuls übertragen.
- Der Pulsar wird beschleunigt („recycled“).
- Es entsteht ein Millisekundenpulsar.



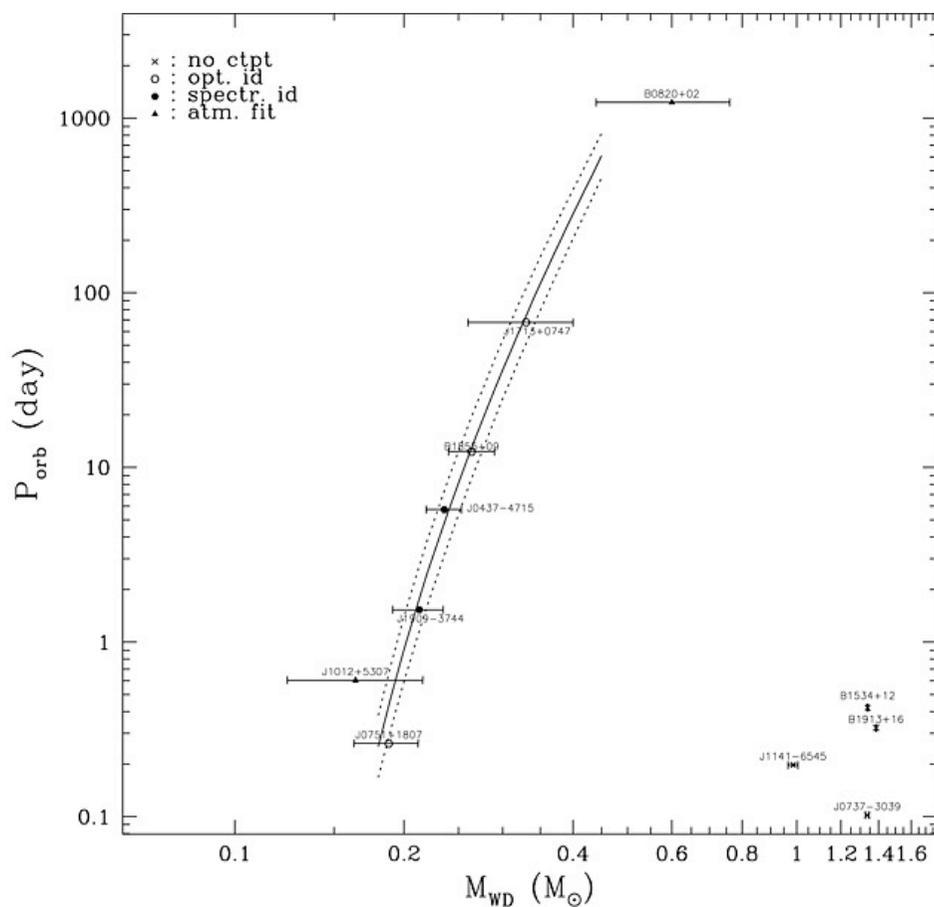


low-mass binary

- Der Sekundärstern in einem Imb überträgt über einen langen Zeitraum Materie auf den Neutronenstern.
- Am Ende steht ein weißer Zwerg der einen sehr schnell rotierenden MSP umkreist.
- 105 Systeme bekannt.

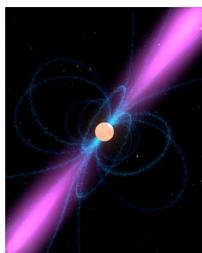


low-mass binary Korrelationen I

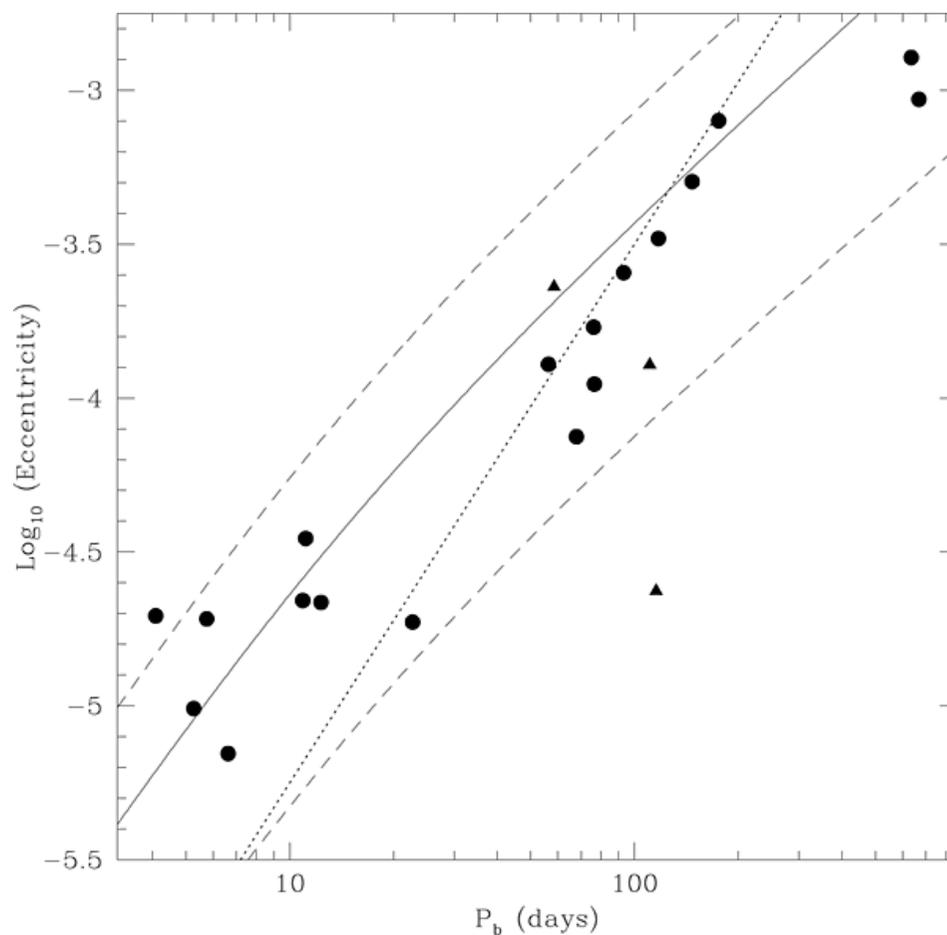


Korrelation von
Umlaufzeit und Masse
des Begleiters

[2] Marten van Kerkwijk

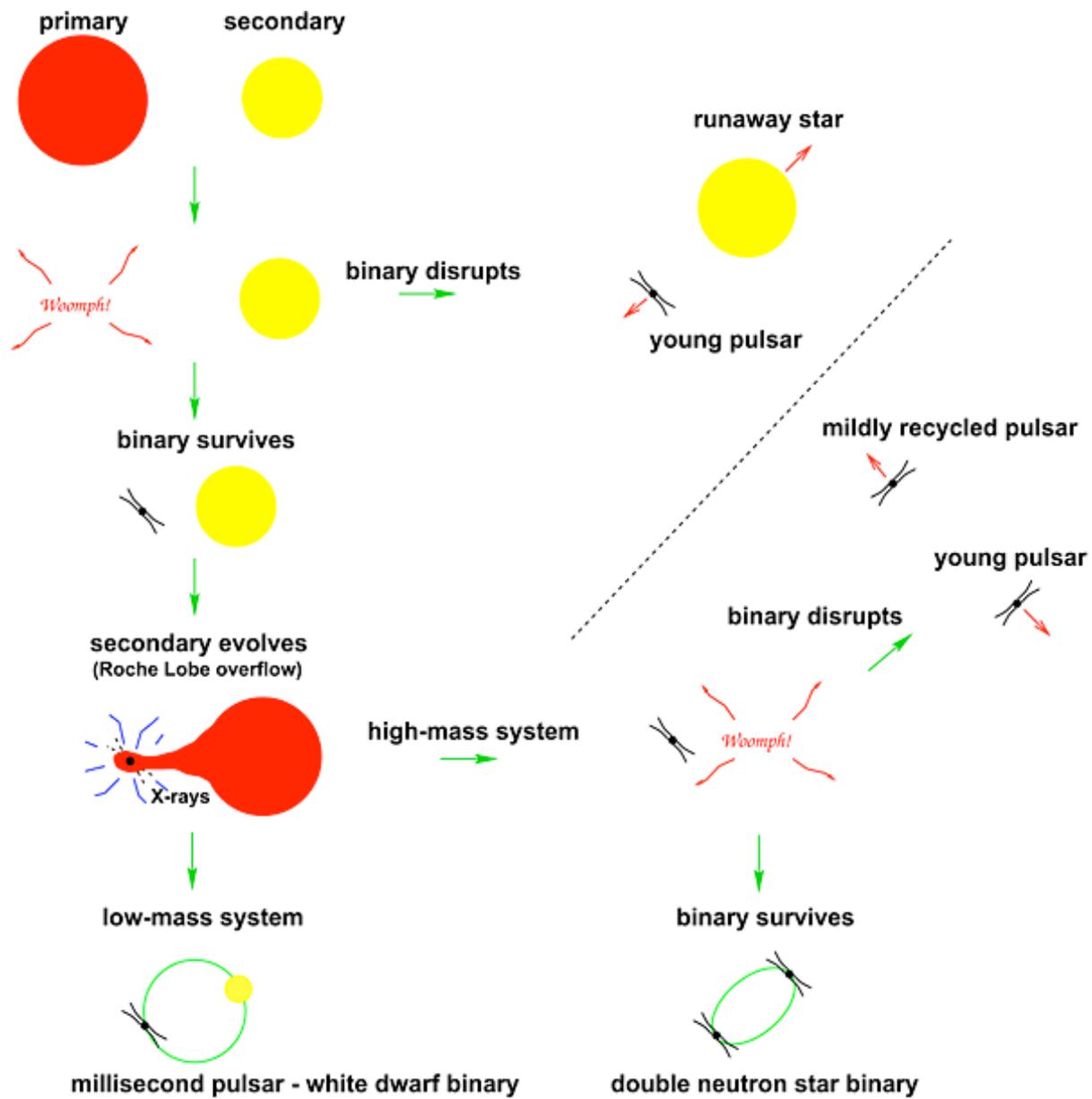


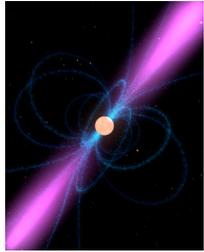
low-mass binary Korrelationen II



Korrelation von
Umlaufzeit und
Exzentrizität

[2] Ingrid Stairs



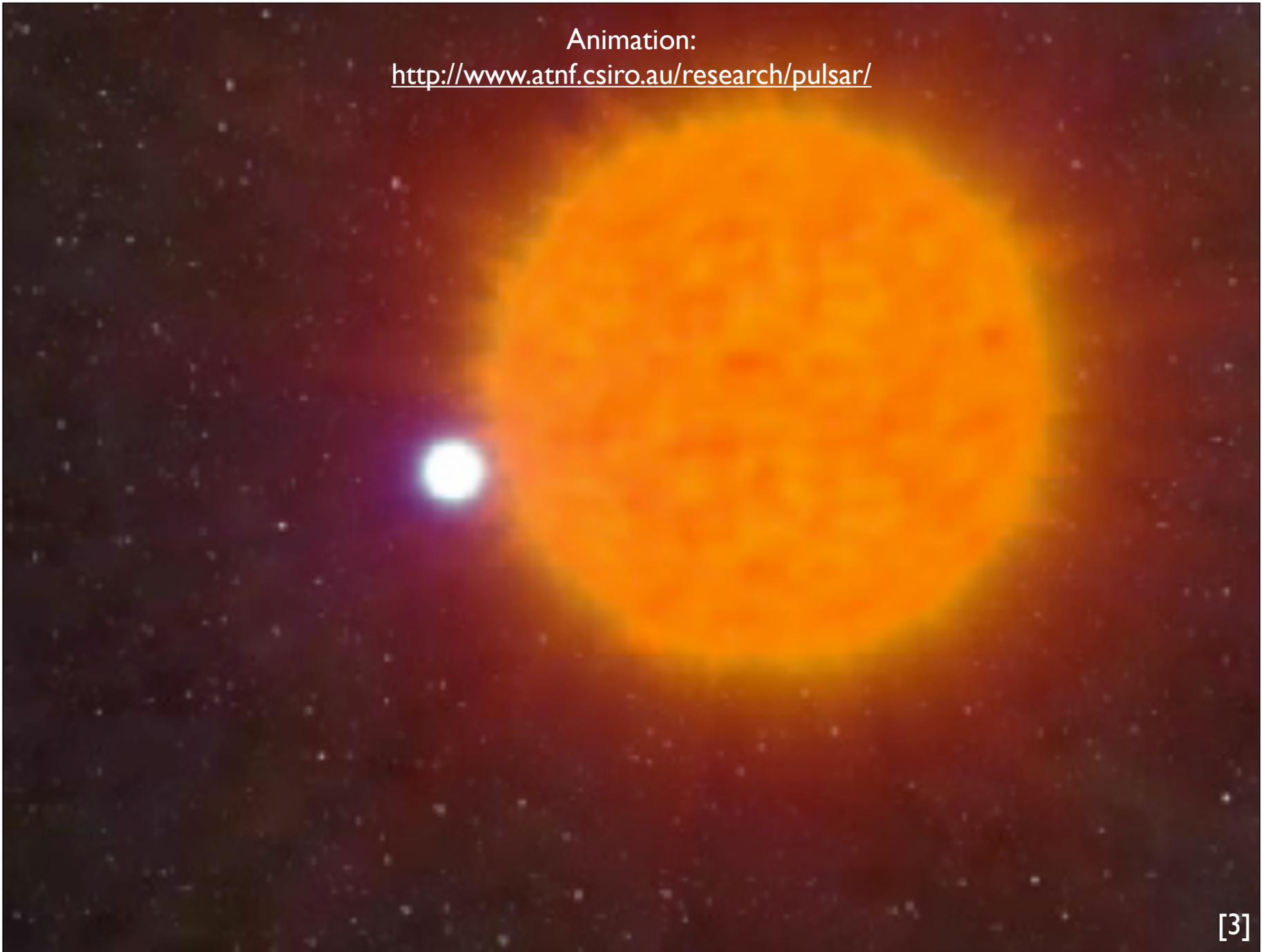


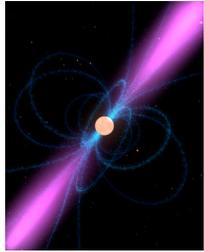
high-mass binary

- Überlebt das Doppelsternsystem die Supernova des Sekundärsterns entsteht ein Doppel-Neutronenstern-System.
- Aktuell sind neun solche Systeme bekannt. Mit J0737-3039 wurden erstmals beide Neutronensterne als Pulsare identifiziert.

Animation:

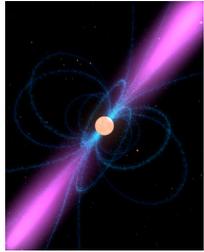
<http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/>





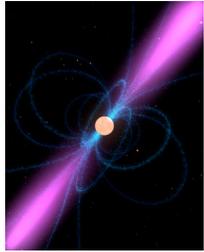
intermediate mass binaries I

- Doppelsternsysteme bestehend aus einem Pulsar und einem weißen Zwerg
- Die Masse des weißen Zwergs ist größer als bei Imb ($\geq 0,5 M_{\odot}$)
- Entstehung noch unklar



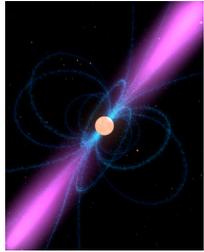
intermediate mass binaries II

- Pulsar rotiert langsamer als bei Imb (9-200 ms)
- Die Umlaufbahn des weißen Zwergs ist exzentrischer als bei Imb
- Die Beziehungen zwischen Umlaufzeit und Masse, bzw. zwischen Umlaufzeit und Exzentrizität gelten nicht.



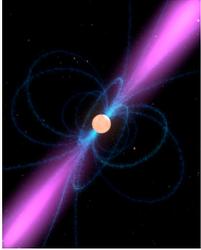
Weitere Pulsare

- Isolierte Pulsare im ms-Bereich
- PSR J1903+0327



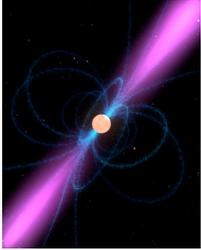
Population

- Modellvorhersagen:
 - Geburtsrate normaler Pulsare: ca. $1/60a$
 - Geburtsrate MSP: ca. $1/345000a$
 - ca. 160.000 aktive normale Pulsare
 - und ca. 40.000 Millisekundenpulsare in unserer Galaxie

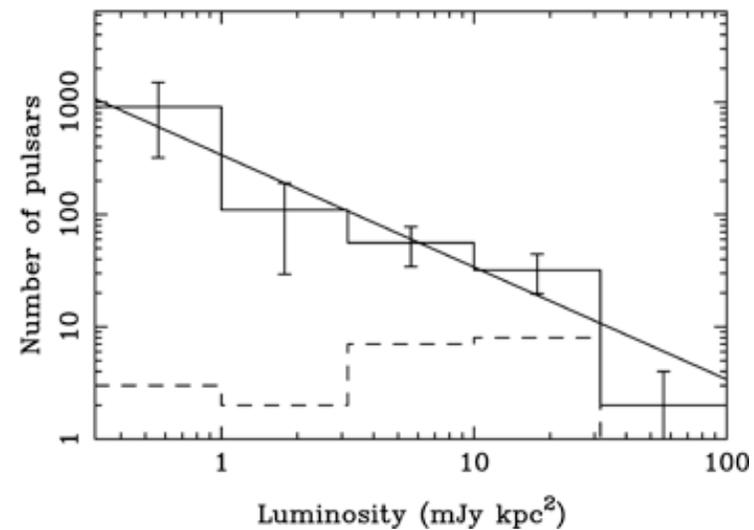
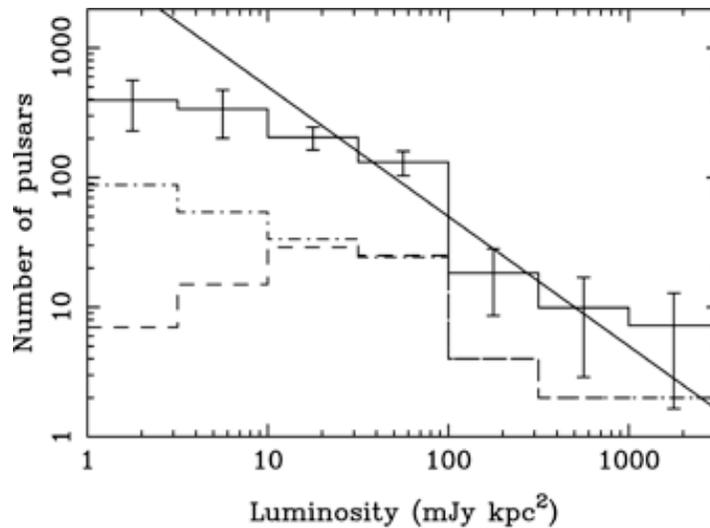


Selektionseffekte

- inverse-square-law -> hellere und nähere Objekte bevorzugt
- Streuung -> Problematisch bei entfernten Objekten in der galaktischen Scheibe
- Dopplerverbreiterung -> Problematisch bei kleinen Umlaufzeiten



Leuchtkraftverteilung



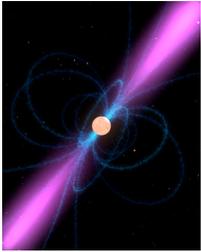
[2]

normale Pulsare

Millisekundenpulsare

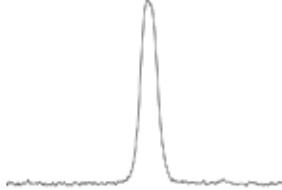
durchgezogenes Histogramm: die erwartete Leuchtkraftverteilung
gestricheltes Histogramm: beobachtete Leuchtkraftverteilung
durchgezogene Linie: Potenzgesetz mit Steigung -1

Physikalische Anwendungen

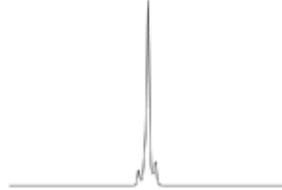


Pulsar Timing I

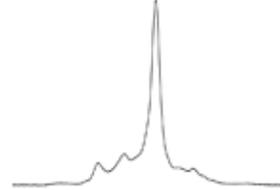
(a) B0031-07



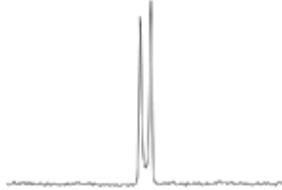
(b) B0329+54



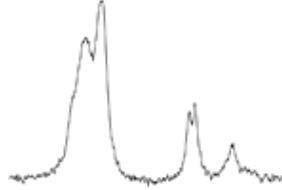
(c) J0437-4715



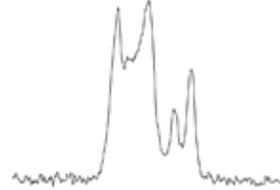
(d) B0525+21



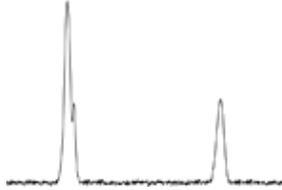
(e) J1012+5307



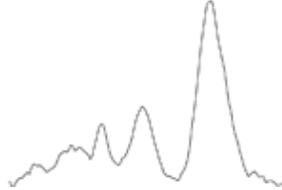
(f) B1831-04



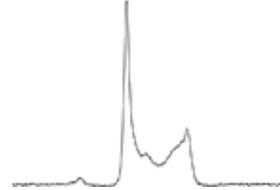
(g) B1937+21



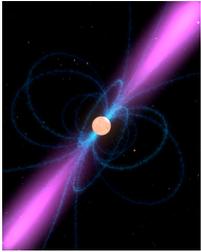
(h) J2124-3358



(i) J2145-0750



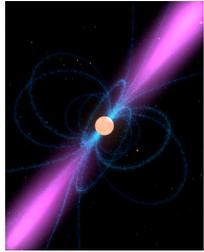
- Aus dem gemessenen Signal eines Pulsars wird ein mittleres Puls-Profil gebildet.
- Timing-Modell: Vorhersage der Ankunftszeiten der Pulse



Pulsar Timing II

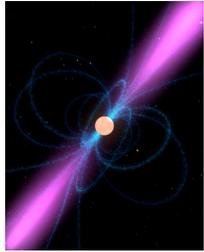
- Fehler zwischen vorhergesagter Ankunftszeit und tatsächlicher Ankunftszeit werden über Jahre gesammelt und offenbaren systematische Fehler im Timing-Modell.
- Durch das schrittweise Verbessern des Modells können extrem genaue Messungen durchgeführt werden.
- Bsp.: Umlaufzeit des PSR B1937+21
 $P = 1,5578064688197945 \pm 0,000000000000000004 \text{ ms}$

[2]



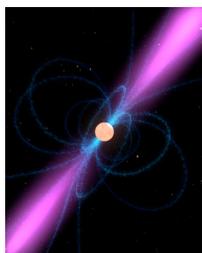
Physik mit MSP

- Kalorimetrie
- Massen und Zustandsgleichungen von Neutronensternen
- Allgemeine Relativitätstheorie



Test der ART I

- Das Verhalten eines hmb wird von der ART anders beschrieben als durch reine Kepler-Mechanik
- Durch das genaue Timing kann das Verhalten der hmb sehr genau gemessen werden.
- Dadurch können Gravitationstheorien überprüft werden.



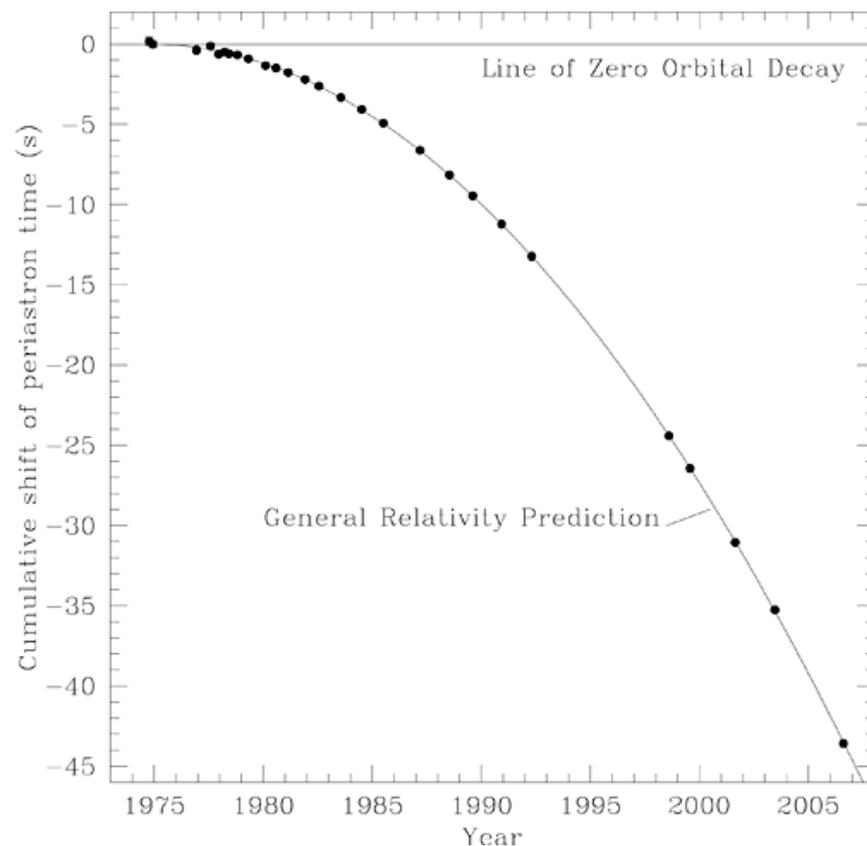
Test der ART II

- 1974: Hulse & Taylor messen bei PSR B1513+16 die Abnahme der Umlaufbahn durch Gravitationswellen.

⊗ Die Messung entspricht mit einer Genauigkeit von 0,2 % der Vorhersage der ART.

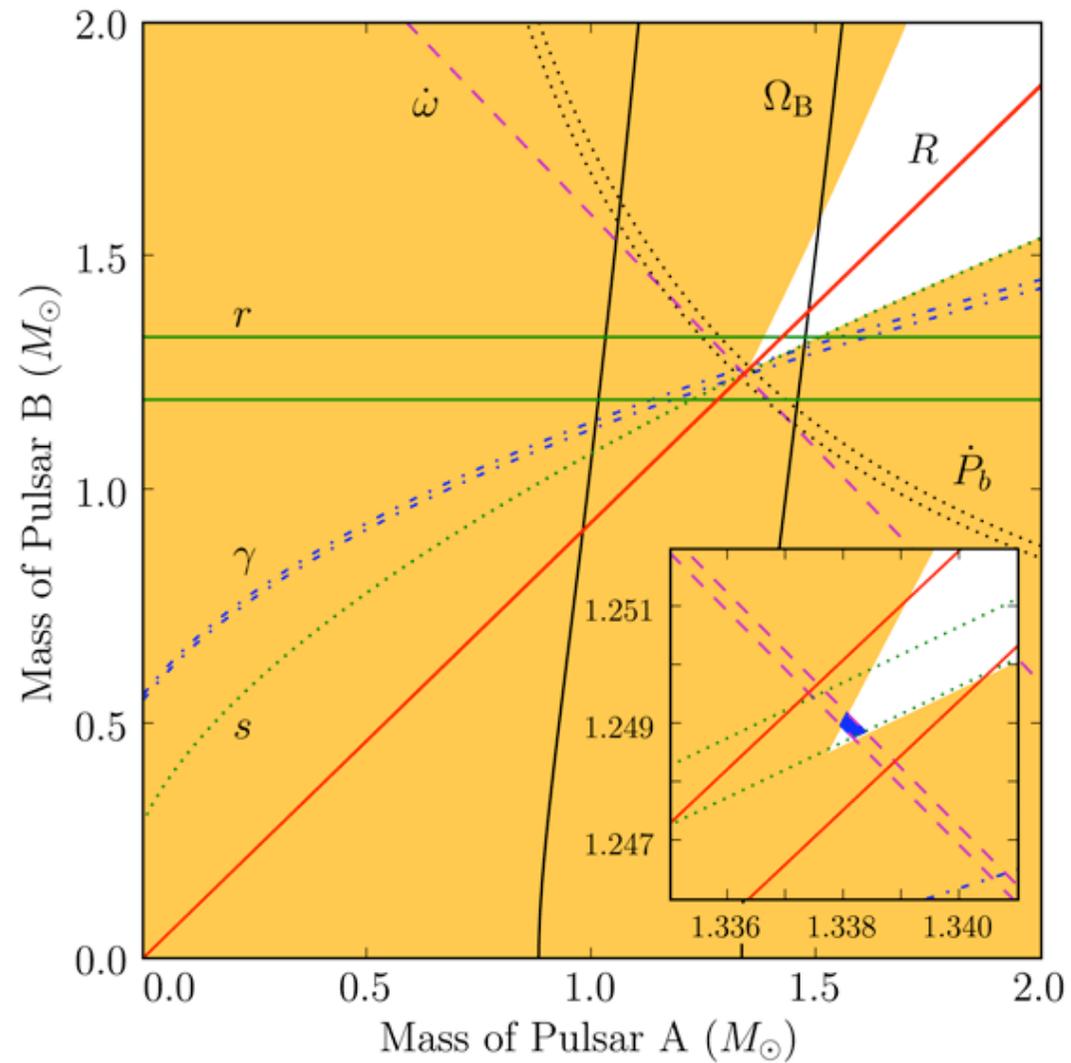
⊗ -> Erster indirekter Nachweis von Gravitationswellen.

⊗ 1993: Nobelpreis

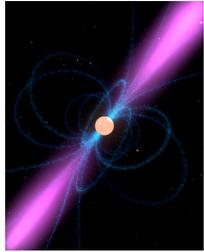


[2] Joel Weisberg

Massenbestimmung
im System PSR
J0737-3039 durch
Messung
Postkeplerscher-
Parameter

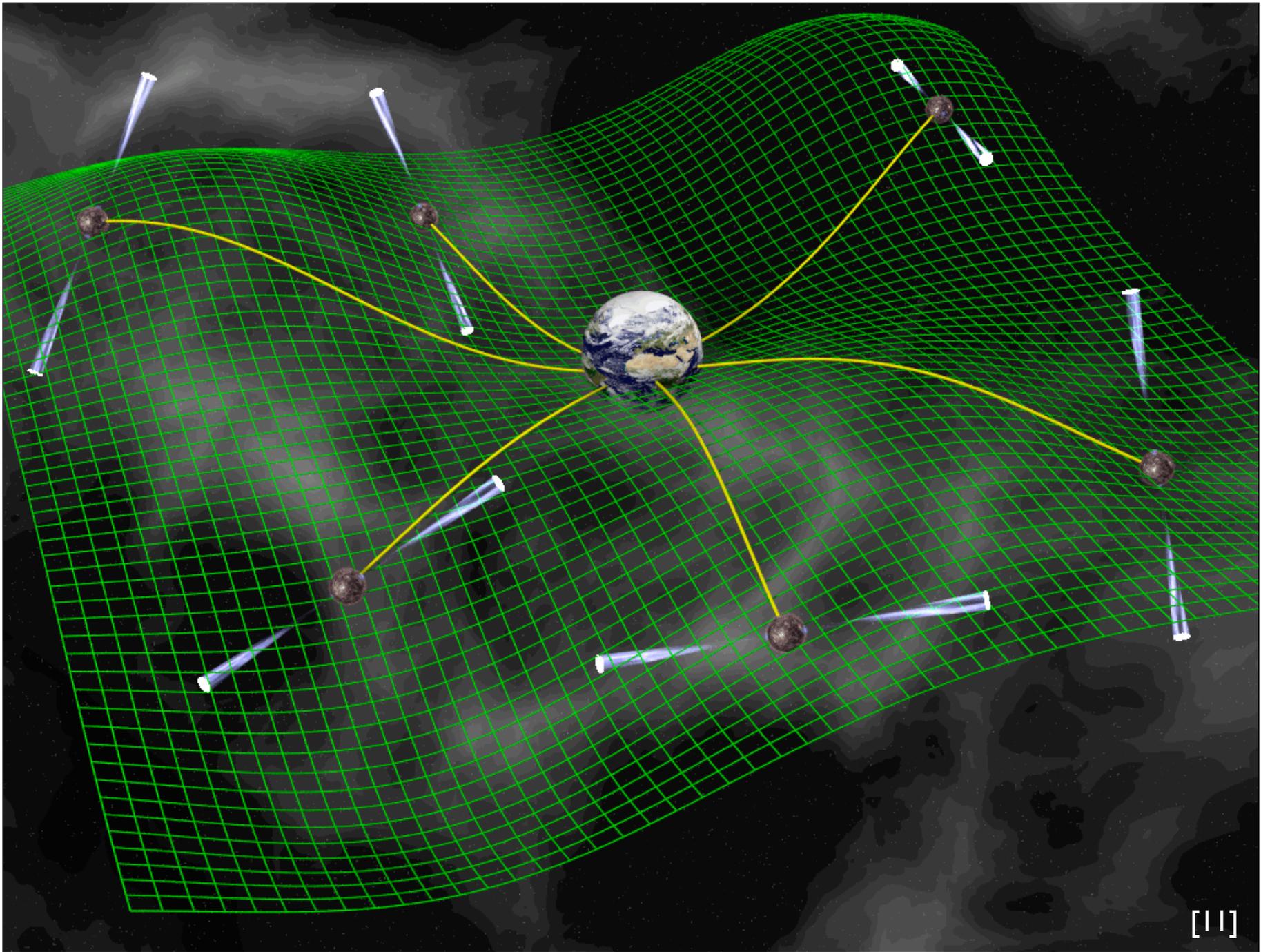


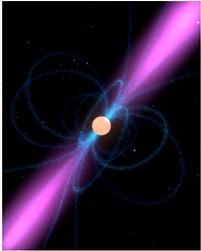
[2] René Breton



Ausblick

- X-Ray/Radio MSP
- Pulsar/Schwarzes Loch - Doppelsystem
- Sub-Millisekunden-Pulsar
- „MSP-GPS“





Quellen

- [1] ESA - www.esa.int
- [2] Duncon R. Lorimer, 2008, „Binary and Millisecond Pulsars“
<http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2008-8/>
- [3] John Rowe Animation/Australia Telescope National Facility, CSIRO
<http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/>
- [4] NASA - www.nasa.gov
- [5] NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration
- [6] The Australia Telescope National Facility Pulsar Catalogue
<http://www.iop.org/EJ/abstract/1538-3881/129/4/1993/>
- [7] Pressemitteilung
<http://www.nrao.edu/pr/2010/mspulsars/>
- [8] Australia Telescope National Facility Pulsar Catalogue
<http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>
- [9] Carrol, Ostlie, 2007, „An Introduction to Modern Astrophysics
- [10] Audio-Files:
<http://www.ib.man.ac.uk/~pulsar/Education/Sounds/>
- [11] Max-Planck-Institut für Radioastronomie
<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/div/fundamental/research.html> und
<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/pfreire/47Tuc/>
- [12] E.S.Phinney, S.R. Kulkarni, 1994, „Binary and Millisecond Pulsars“
<http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1994ARA%26A..32..591P>
- [13] Grindlay, Bogdanov, „Millisecond Pulsars in Globular Clusters and the Field“
- [14] University of Washington
http://www.astro.washington.edu/courses/labs/clearinghouse/labs/Clusterhr/color_mag.html

Bei Fragen, Fehlern, Anmerkungen: Mail an dominik.hertel@physik.stud.uni-erlangen.de

**Vielen Dank für eure
Aufmerksamkeit!**