Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 54 (1996)
Heft: 273

Artikel: Die Planeten des Pulsars PSR B1257+12 : simple Koinzidenz?
Autor: Cramer, N.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898113

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Planeten des Pulsars PSR B1257+12

Simple Koinzidenz?

N.CRAMER

Vorwort

Im ORION 269 (August 1995) ist ein Aufsatz in frz.Sprache über den Pulsar PSR B1257+12, dem damals noch einzigen bekannten Stern mit einem echten Planetensystem, erschienen. Im ORION 272 (Februar 1996) haben wir sodann über die von zwei Astronomen am Observatoire de Genève gemachte Entdeckung eines Planeten und möglicherweise sogar eines ganzen Planetensystems beim Stern 51 Pegasi berichtet. Diese kurze, zweisprachige Mitteilung bezog sich wiederholt auf den Aufsatz über den Pulsar, und einige deutschsprachige Leser (darunter der Übersetzer) haben den Wunsch geäussert, der Artikel über den Pulsar möge übersetzt werden. Nun liegt die Bearbeitung vor, acht Monate nach ihrem ersten Erscheinen, aber das Thema hat nichts von seiner Aktualität verloren. N. CRAMER

Der Millisekunden-Pulsar PSR B1257+12 wurde im Februar 1990 von A. WOLSZCZAN mit dem 305 m Radioteleskop von Arecibo bei der systematischen Suche nach solchen Objekten in hohen galaktischen Breitengraden entdeckt.

Entgegen unseren Erwartungen sind diese extrem schnellen Pulsare keine jungen Neutronensterne. Ursache für die hohe Rotationsgeschwindigkeit ist sehr wahrscheinlich die Wechselwirkung mit seinem Begleitstern nach dessen Entstehung.

Die Anwesenheit von Pulsaren in Binärsystemen wirft eine Reihe von Fragen auf. Die Supernova-Explosion vom Typ II eines hinreichend massiven Sterns ($M_{ini}>8M_\odot$), dessen Eisenkern bei der Implosion zur Bildung eines Neutronensterns (und möglicherweise in gewissen Fällen zu der eines schwarzen Lochs) führt, muss sich i.a. als nicht ganz symmetrischer Vorgang abspielen. Die isolierten Pulsare bewegen sich tatsächlich mit einer mittleren Geschwindigkeit von 400 km/s durch den Raum, und verschiedene andere Indizien weisen ebenfalls darauf hin, dass die Pulsare bei ihrer Entstehung einen kinetischen Impuls erhalten, der ihnen eine Geschwindigkeit zwischen 100 und 600 km/s erteilt. Wenn ein Partner eines Binärsystems eine derart gewaltige Beschleunigung erfährt, die mit dem Auswurf von mindestens der halben Masse des explodierenden Sterns verbunden ist, so ist dieses Ereignis a priori nicht sehr günstig für den Fortbestand der dynamischen Verbindung des Paares. Alles hängt jedoch von der Richtung des Impulses ab, den der Überrest der Supernova erfährt, und unter gewissen Umständen (z.B. Impulsrichtung im Gegensinn der Umlaufbahn) könnte dieser Effekt sogar zur *Stabilisierung* des resultierenden Systems beitragen.

Ein solches Szenario entspricht dem sog. *regenerierten Pulsar-Modell*, das sich wie folgt abspielt: Anfänglich besteht ein Doppelsystem, dessen Komponenten nur wenig getrennt sind. Die Hauptkomponente, deren Masse zu Beginn über der kritischen Masse einer Supernova ($\approx 8M_\odot$) liegt, hat einen Begleiter von geringerer Masse ($M \leq 1\ M_\odot$). Die Entwicklung des erstern und die Aufblähung seiner Hülle verursachen einen dynamisch instabilen Massentransfer zu seinem Begleiter hin. Die Reibung des Begleiters an dieser Hülle vermindert seinen Drehimpuls und demzufolge beginnt er sich der Hauptkomponente auf einer Spiralbahn zu nähern. Das Resultat ist die Bildung eines kompakten binären Systems, das sich einerseits aus dem produzierten Heliumkern der Hauptkomponente und anderseits aus dem masseärmeren Begleiter zusammensetzt. Nach erfolgter Supernova-Explosion wird der letztere (vorausgesetzt, das System überlebt dynamisch) den restlichen Neutronenstern zum Partner haben. Im Laufe der weiteren Evolution des masseärmeren Sterns findet nun in umgekehrter Richtung ein umfangreicher Materietransfer zum Pulsar hin statt und führt dort zur Ausbildung einer Akkretionsscheibe. Gleichzeitig beschleunigt die Übertragung von Drehimpuls die Rotationsgeschwindigkeit des Neutronensterns, bis seine Periode nahe bei einer Millisekunde liegt. Wegen der starken Korpuskularstrahlung, die vom Pulsar ausgeht, und wegen der Nähe des Begleiters kann letzterer sogar nach und nach «evaporiert» und von der Akkretionsscheibe geschluckt werden, ein Vorgang, der zu einem isolierten Millisekunden-Pulsar führt.

Es wurden noch andere Mechanismen für die Entstehung eines Neutronensterns aus einem Doppelsternsystem vorgeschlagen, *so der durch Akkretion ausgelöste Zusammensturz*. Der Vorläufer wäre ein weisser Zwerg, der auf Kosten seines Begleiters auf dem Weg über eine Akkretionsscheibe Materie schluckt. Sobald er dann die Chandrasekhar-Grenze erreicht hat, stürzt er in sich zusammen und endet in einem Neutronenstern. Der Ch.-Grenzwert hängt von der chemischen Zusammensetzung ab und wird in Anzahl Sonnenmassen ausgedrückt mit

$$M_{ch} = 5.75(Z/A)^2 M_\odot,$$

wo Z die Kernladungszahl (Anzahl Protonen) und A das Atomgewicht (Anzahl Protonen und Neutronen des Kerns) bedeuten. Für einen weissen Zwerg, der die Endphase in der Evolution eines Sterns von der initialen Masse M_{ini} weniger als $8M_\odot$ darstellt und hauptsächlich aus Kohlenstoff und wenig Sauerstoff besteht, beträgt diese Grenzmasse $1.44M_\odot$. Die Beschleunigung der Rotation findet auf die gleiche Weise statt, wie sie auch dem obigen Modell zugrunde liegt. Dieses Szenario «Stille Supernova» hat den Vorzug, keinen kinetischen Impuls zu fordern und ein wesentlicher Teil des Massenverlustes könnte mit der Änderung der Bindungsenergie in Zusammenhang gebracht werden. Ausgedrückt als Bruchteile von Sonnenmassen beträgt diese Änderung der Energie ungefähr (ZELDOVICH und NOVIKOV, 1971)

$$\Delta M \cong (3GM_{wd}/5R_{ns}c^2) \cong 0.2M_\odot$$

wo M_{wd} die Masse des weissen Zwerges ($\cong 1.5M_\odot$)und R_{ns} den Radius des Neutronensterns (≈ 7 km) bedeutet. Dieser Transfermechanismus von Materie aus der Hülle des Begleiters ist der gleiche, wie er postuliert wird für die variablen Eruptionsveränderlichen, wo die Schicht Wasserstoff, die sich nach und nach durch Akkretion auf dem weissen Zwerg ansammelt, vereinzelt gewaltige oberflächliche thermonukleare Explosionen erzeugt. Auf diese Weise wird meist auch die Explosion einer Supernova vom Typ I erklärt. Feste Rückstände wären nachher nicht vorhanden und das binäre System würde sich auflösen. Ungewiss ist u.U. noch, ob dieser Kollaps, der von einer Reihe

von Kernreaktionen begleitet wird, nur auf eine unkomplizierte Implosion mit späterer Bildung eines Millisekunden-Pulsars beschränkt bleibt. Noch mit einer anderen Schwierigkeit ist der Forscher bei diesem Modell konfrontiert, nämlich mit dem Fehlen von Doppelpulsaren mit nur geringer Raumgeschwindigkeit, wie dieses Szenario es vorsehen würde. Wie auch immer PSR B1257+12, dieser Pulsar mit einer Periode von 6.2 Millisekunden, entstanden sein mag, er hat keinen Begleitstern (oder keinen mehr), ist aber interessant, weil er das einzige *Planetensystem* besitzt, das ausser dem unsrigen bekannt ist.

Im Jahr 1992 wurden von A. WOLSZCZAN und D.A. FRAIL anhand der Analyse der Zeitverschiebungen beim Empfang der Impulse vom Pulsar zwei Planeten entdeckt. Die extreme Konstanz der Eigenfrequenz eines Pulsars erlaubt nämlich, Veränderungen in seiner Radialgeschwindigkeit, die sich durch Phasenverschiebung der eintreffenden Impulse zu erkennen geben, äusserst genau zu messen. Die Genauigkeit ist fast 2000 mal höher als diejenige der besten, heute zu Verfügung stehenden, spektroskopischen Verfahren. Diese Variationen der registrierten Periode sind sehr klein. Sie erreichen im vorliegenden Fall ±15 Picosekunden, was Radialgeschwindigkeiten von ±0.7 m/s und maximalen Ortsverschiebungen von ±900 km auf der Visierlinie entspricht (zum Vergleich: Jupiter bewegt die Sonne mit 10 m/s über rund 900'000 km).

In ihrer Analyse zeigen die Autoren, dass sich die Frequenzvariationen des Pulsars PSR B1257+12 komplex verhalten, was optimal mit der Existenz zweier Planeten vereinbar ist. Ihre Massen sollen jeweils $3.4(M_\oplus/\sin i)$ und $2.8(M_\oplus/\sin i)$, ihre Distanzen vom Pulsar 0.36 und 0.47 AE und ihre Umlaufperioden 66.6 und 98.2 Tage betragen. $M_\oplus$ ist die Masse der Erde, i der Winkel, den die Orbitalachse mit der Visierlinie bildet. Diese Werte basieren auf der berechtigten Annahme, dass die Masse des Pulsars 1.4 $M_\odot$ betrage: Es handelt sich um einen Wert nahe der Chandrasekhar-Masse. Nach Modellrechnungen liegt der Bereich der Stabilität für Neutronensterne zwischen 1.4 und 1.5 $M_\odot$. Die wenigen Neutronensternmassen, die bisher in Doppelsternsystemen gemessen werden konnten, sind ebenfalls von dieser Grössenordnung.

Die Autoren verzeichnen jedoch eine zusätzliche, die Messungenauigkeit übersteigende Periodenvariation und schliessen daraus auf die mögliche Existenz eines, wenn nicht sogar zweier weiterer, weniger massiver Planeten. Sie bemerken auch die fast perfekte Orbitalresonanz von 3/2 der beiden zuerst entdeckten Planeten. Der innere Planet durchläuft 2.95 (≈3) mal seine Bahn, während der äussere 2 Umkreisungen macht. 1994 nahm WOLSZCZAN seine Arbeit wieder auf und zeigte, dass diese leichte Unvollkommenheit der Verknüpfung der Planetenbahnen auf eine obere Grenze der Planetenmassen schliessen lässt. Das setzt allerdings voraus, dass die Bahnen nicht stark von der Visierlinie abweichen, denn $\sin i$ muss nahe bei 1 liegen. Bei einer erneuten Analyse der Empfangszeiten der Impulse fand er tatsächlich den dritten Planeten, der weniger massiv als die beiden andern ist; seine Masse beträgt $M = 0.015(M_\oplus/\sin i)$, seine Distanz vom Pulsar 0.19 AE. Mit Recht darf man annehmen, dass dieses Objekt die Orbitalebene seiner beiden massiveren Begleiter teilt.

Ein derart exotisches Objekt wie einen Pulsar mit einem Planetensystem mit mindestens drei Körpern von respektabler Grösse und fast kreisförmigen Umlaufbahnen zu finden, ist recht überraschend. Noch erstaunlicher ist nach T. MAZEH und I. GOLDMAN (1995) die Ähnlichkeit der Masstäbe dieses Systems mit denen unseres innern Sonnensystems. Unter der Annahme, dass $\sin i = 1$ sei, wie das WOLSZCZAN vorschlägt, und dass man die Distanz des 3. Planeten (in unserem Fall die Erde) zum Zentralstern als Einheit nimmt, entsteht das Diagramm Fig.1, wo

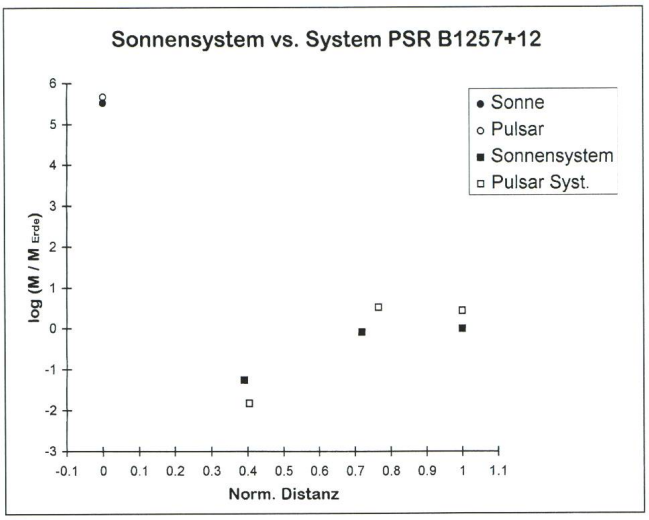

Fig. 1: Vergleich der Massen und normierten Distanzen der drei ersten Planeten der beiden Systeme (nach T. MAZEH und I. GOLDMAN). Die beiden Masstäbe der Distanzen sind normiert auf die Einheit (1AE) für den dritten Planeten (die Erde in unserem Fall), wobei der vom Pulsar um den Faktor 2.13 erweitert ist. Die Massen, ausgedrückt in Erdmassen, erfuhren keine Erweiterung. Diese Darstellung illustriert die bemerkenswerte Übereinstimmung des «bidimensionalen» Charakters dieser beiden Planetensysteme.

die Logarithmen der Planetenmassen (Einheit = 1 $M_\oplus$) als Funktion der normierten Distanzen (Einheit = 1AE) aufgezeichnet sind. Die weitgehende Übereinstimmung der beiden Planetensysteme ist frappant. Ein logarithmischer Masstab tendiert natürlich immer zur Abschwächung der Streuung. Doch hier bilden die sich entsprechenden Massen sehr deutliche Gruppen und dies in jedem Fall über eine Skala von 7 Grössenordnungen. Die Ähnlichkeit ist noch auffallender auf der linearen Skala der Distanzwerte. Die Übereinstimmung ist jedoch auf diese drei inneren Planeten beschränkt. Der Pulsar hat nichts Ebenbürtiges zu unserem äusseren Sonnensystem mit seinen Riesenplaneten aufzuweisen.

Die Erklärung, weshalb wir unverhofft eine Anzahl Planeten in Begleitung eines Pulsars entdecken, bevor wir sie bei den «gewöhnlichen» Sternen, vergleichbar unserer Sonne, finden, liegt bei der ausserordentlich hohen Genauigkeit, mit der wir die Veränderungen ihrer Radialgeschwindigkeit messen können. Die Präzision bei Messungen an Pulsaren beruht auf Zeitmessungen, einer Technik, die wir heute meisterhaft beherrschen. Die Regelmässigkeit der Frequenz, mit der die Impulse vom Stern ausgesandt werden, erlaubt uns gewissermassen eine «Interferometrie» seines Signals mit unsern Uhren vorzunehmen. Bei der klassischen Bestimmung der Radialgeschwindigkeit wird der Dopplereffekt mehr «mechanisch» als Verschiebung von Spektrallinien gemessen, womit eine so hohe Präzision schwer zu erreichen ist. Man denkt unwillkürlich an das Problem, das sich im 17. und 18. Jh. bei der Messung der astronomischen Einheit stellte und das Halley 1677 auf die Idee brachte, die Triangulation mit der Methode des Venusdurchgangs vorzunehmen (s. ORION 225, April 1988), denn es war schon damals einfacher, eine Zeitdifferenz mit hoher Genauigkeit zu messen, als eine Differenz von zwei Winkeln. Bei einem «gewöhnlichen» Stern wird die präzise Messung der Ortsveränderung seines Gravitationszentrums noch erschwert durch die grossmasstäblichen Bewegungen seiner Atmosphäre, wo das Licht emittiert wird, das wir mit unsern Instrumenten wahrneh-

men (Pulsationen, Flecken, Supergranulation, etc.). Aber an dem Tag, an dem es möglich sein wird, die Variationen der Radialgeschwindigkeit von normalen Sternen mit der Genauigkeit von m/s zu messen, werden wir höchstwahrscheinlich eine grosse Zahl planetarischer Systeme entdecken, insbesondere dort, wo ihre Entstehung viel natürlicher scheint als in der feindlichen Umgebung eines Pulsars in voller Aktivität.

Die Planeten von Pulsar PSR B1257+12 sind bestimmt erst nach der Geburt des Neutronensterns aufgetreten, wahrscheinlich in Verbindung mit der Akkretionsscheibe, die von den Resten seines Begleiters gespiesen wurde. Die Planeten unseres Sonnensystems haben sich ebenfalls in den letzten Phasen der Evolution der solaren Akkretionsscheibe (protoplanetare Scheibe) gebildet. Die Umstände sind jedoch in den beiden Fällen sehr verschieden. Der Pulsar hat möglicherweise mit seiner Strahlung den Begleiter zerstört und man fragt sich zu Recht, wie in einer derartigen Umgebung überhaupt Planeten entstehen konnten. Wir haben uns aber anhand dieser kurzen Darstellung überzeugen können, dass diese beiden einzigen bis heute bekannten Planetensysteme in zweifacher Hinsicht auffallend übereinstimmen. Man stellt sich deshalb gemeinsam mit T. MAZEH und I. GOLDMAN die naheliegende Frage, ob allenfalls der Planetenbildung ein allgemeingültiges Gesetz zugrunde liegt. Oder stehen wir lediglich vor einer simplen Koinzidenz?

(Übersetzung: Dr. H.R. Müller)

Literatur:

MAZEH, T., GOLDMAN, I., 1995, Publ. Astron. Soc. Pacific, **107**, 250.
WOLSZCZAN, A.,1990, IAU Circ. No. 5073.
WOLSZCZAN, A., Frail, D.A.,1992, Nature, **355**, 145
WOLSZCZAN, A.,1994, Science, **264**, 538
ZELDOVICH, Y.B., NOVIKOV, I.D., 1971, Relativistic Astrophysics. Vol.1. Univ. Chicago Press.

Die Sonne und ihre Beobachtung

Die Sonne ist im Moment nicht sehr aktiv, trotzdem erscheinen immer wieder Phänomene, welche sich lohnen, diese zu beobachten. Gerade für den Anfänger, welcher sich eingehender mit der Bestimmung und Klassifizierung von Sonnenflecken beschäftigen möchte, ist diese Zeit sehr ideal. Die Erscheinung von Sonnenflecken, Protuberanzen usw. verändern sich in rascher Folge und stellen ein lebendiges Bild der Sonne dar.
Im Kurs soll zuerst gezeigt werden, mit welchen einfachen Mitteln die Sonne beobachtet werden kann. (Augenbeobachtungen durch verschiedene Filtergläser und Feldstecher). Im weiteren Verlauf des Kurses soll aber auch vermittelt werden, wie bei der Beobachtung der Sonne in systematischer Art und Weise vorgegangen werden soll. Dabei werden auch die geeigneten Instrumente und Geräte gezeigt. Andererseits soll auch auf die Sonne selbst, d.h. auf den physikalischen Aufbau, die solare Energieerzeugung und auf die mannigfaltigen Erscheinungen eingegangen werden. Der Kurs umfasst also praktische und auch theoretische Teile, die sich jedoch kurzweilig abwechseln. Zum Kurs wird eine ausführliche Dokumentation abgegeben.

Aus dem Themenkreis

1. Praktischer Teil

- Die Beobachtung der Sonne mit einfachsten Mitteln (Blosses Auge, Feldstecher)
- Die Bestimmung der Sonnenfleckenrelativzahl, Fleckenklassifizierung mit Übungen, richtige Protokollierung
- Das geeignete Instrumentarium zur Beobachtung der Sonne im Fernrohr (Sonnenfilter, verschiedene Optiken usw.)
- Positionsbestimmung von Sonnenflecken
- Zeichnen von Sonnenflecken ab Fernrohr a) freihand; b) ab Projektion
- Sonnenphotographie, die geeigneten Filme, die Entwicklung des Filmmaterials, Anfertigen von Kopien
- Die Beobachtung von Protuberanzen am Sonnenrand mit einem Protuberanzenansatz

2. Theoretischer Teil

- Die Sonne als Fixstern, die Zustandsgrössen der Sonne, Aufbau der Sonne.
- Die Energieerzeugung der Sonne
- Sonnenfinsternisse
- Die Phänomene der Sonne im weissen Licht (Sonnenflekken, Fackeln, Randverdunkelung)
- Die aktive Sonne und dessen Erscheinungen: 11 jähriger Zyklus, Eruptionen, Korona. Die Beobachtung der Sonne in der H-alpha-Linie des Wasserstoffes
- Moderne Sonnenforschung
- Sonne und Erde; Beeinflussung der Erde durch die Sonne und ihre Phänomene (Beeinflussung des geomagnetischen Feldes, der Ionosphäre, Polarlichterscheinungen)
- Die Entwicklung der Sonne - Ein Lebenslauf

Zeitpunkt:
Montag, 29. April; 09.30 Uhr bis und mit Freitag, 3. Mai 1996 (Anreise Sonntag, 28. April; - Rückreise Samstag, 4. Mai 1996)
Kurszeit:
Jeweils vormittags 09.30 Uhr bis ca. 12.00 Uhr, (der Nachmittag ist frei) sowie am Abend von 20.00 Uhr bis ca. 21.30 Uhr. Anschliessend bei klarer Witterung Beobachtungen in der Sternwarte.
Kurskosten: Fr. 150.– inkl. Kursmaterial
Unterkunft:
Das Ferienhaus, welches zur Sternwarte gehört, bietet 2 Ferienwohnungen mit separatem Bad/WC und Küche an. Im weitern stehen 6 Einzel/Doppelzimmer mit gemeinsamer Küche, Bad/WC zur Verfügung. In jedem Zimmer fliessendes, kaltes und warmes Wasser.
Im Dorf sind weitere gute Unterkunftsmöglichkeiten vorhanden. (Hotel Villa Carona usw.) Fussmarsch zur Calina ca. 5 Minuten.

Kursanmeldung und weitere Auskünfte:
HANS BODMER, Schlottenbüelstrasse 9b,
CH-8625 Gossau/ZH -Tel. 01/936 18 30 abends.

Es hat noch einige Plätze frei!