

■ Wie gut kennen wir unser Sonnensystem?

Zum Schwerpunkt Heliophysik, März 2007

Die fünf Artikel zur Struktur des Sonnensystems präsentieren teils neue Messergebnisse mittels Teleskopen und/oder Raumsonden, teils auch deren Deutungen mittels Computersimulationen, wobei nicht immer klar unterschieden wird zwischen gesichertem Wissen und althergebrachter Tradition:

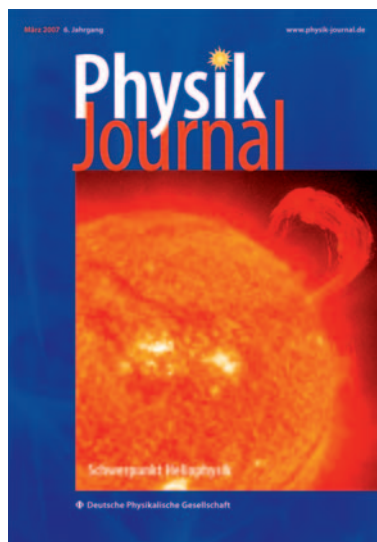
■ 1) So bleibt z. B. die differentielle Oberflächenrotation der Sonne unverstanden, bei der die Äquatorzone mit $P = 25$ d superrotiert gegenüber der (mittleren) Carrington-Periode von $P = 27,3$ d, während die Polkappen mit $P = 36$ d subrotieren. Unerwähnt bleibt auch, dass dieses Muster während der 22,2-jährigen Hale-Periode schwingt, unterschiedlich in den beiden Hemisphären, wobei alle gemessenen magnetischen Multipolmomente mitschwingen [1, 2]. Hierfür ist der Hinweis auf den vermeintlichen turbulenten Dynamo-Mechanismus von Steenbeck und Krause (mit seinen unzulässigen Vereinfachungen) vielleicht eher hinderlich; es werden geordnete Drehmomente benötigt [3].

■ 2) Wie entstehen relativistische Teilchenpopulationen? Die Abwesenheit der vorhergesagten anomalen Komponente der kosmischen Strahlung am Innenrand der Heliosphäre hat gelehrt, dass Fermis Idee der stochastischen in-situ-Beschleunigung an Stoßfronten vielleicht unanwendbar ist, z. B. weil unverträglich mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik [2]. Das scheinbare Beispiel der koronalen Massenauswürfe (CME) mag vielmehr durch kurzzeitige elektrostatische Plasmaaufladung zu erklären sein, analog dem Labor-experiment von Bingham [4].

■ 3) Was haben wir über die anomalen Plasmaleitfähigkeiten nahe Magnetfeld-Rekonnexionen dazugelernt, gegenüber dem Buch von Hannes Alfvén [5]? In dessen Abschnitt II.6 werden diese mit elektrischen Doppelschichten er-

klärt, die sich an Stellen kritischer Stromdichten transient ausbilden.

■ 4) Hat unsere Heliosphäre wirklich die (nicht-kompakte) Gestalt der Abbildungen auf den Seiten 34 und 62? Eine solche ungefähre Paraboloidgestalt ist zwar für eine Überschallbewegung durch das



ISM zu erwarten, nicht jedoch für eine Unterschallbewegung durch (relativistisches) Paarplasma, bei der sich eine (kompakte) Ellipsoidgestalt einstellen würde [2]. Im Hinblick auf die überraschenden Messergebnisse der Voyager-Mission sollten wohl beide Möglichkeiten in Betracht gezogen werden.

Wolfgang Kundt, Hans Baumann,
Gernot Thuma, Udo Wernick

- [1] H. Volland, *A & A* **259**, 663 (1992)
- [2] W. Kundt, *Astrophysics, A New Approach*, Springer, Heidelberg (2005)
- [3] W. Kundt, in: *The Cosmic Dynamo*, hrsg. von F. Krause et al., Proceedings of the 157th Symposium of the International Astronomical Union (IAU), Kluwer, Dordrecht (1993), S. 77
- [4] R. Bingham, *Nature* **445**, 721 (2007)
- [5] H. Alfvén, *Cosmic Plasma*, Reidel, Dordrecht (1981)

Erwiderung von Klaus Scherer et al.

■ Zu 1): Insbesondere in den letzten Jahren gab es große Fortschritte im Verständnis des inneren Aufbaus und der Rotation wie auch der Atmosphäre der Sonne. Im einleitenden Artikel konnten, schon aus Platzgründen, natürlich nicht alle Aspekte abgedeckt werden. Aus diesem Grund haben wir von einer detaillierten Diskussion der differentiellen Rotation abgesehen, und nicht etwa weil wir fundamentale Probleme unter den Teppich kehren wollten. Neuere Arbeiten zur differentiellen Rotation der Sonne [1] zeigen, dass man sicher nicht mehr sagen kann, dies Problem sei unverstanden. Daher ist bei genauerer Betrachtung die Kritik zu offenen Fragen der differentiellen Rotation der Sonne gegenstandslos. Natürlich gibt es offene Fragen, – jedoch nicht in dem Ausmaß, wie im Leserbrief dargestellt.

■ Zu 2): Die Voyagersonden haben im Dezember 2004 den Terminationsschock der Heliosphäre durchquert. Im Gegensatz zu den Vorhersagen wurde nicht das für eine Schockbeschleunigung erwartete Potenzgesetz in der Energieverteilung gemessen. Die Messungen zeigen ein Potenzgesetz im Phasenraum mit Spektralindex 5 für Nukleonen im Energiebereich bis zu einigen 100 keV [2]. Die Messergebnisse sind weiterhin mit der stochastischen Beschleunigung vereinbar, wenn man entweder ortsabhängige Beschleunigungseffizienz oder aber zusätzliche Prozesse, wie adiabatische Beschleunigung im Heliosheath, annimmt [3, 4]. Es werden aber auch alternative Beschleunigungsprozesse diskutiert, wie in den Artikeln angedeutet. Die von Herrn Kundt vorgeschlagene elektrostatische Beschleunigung erfolgt in einem dichten stoßdominierten Plasma, bei denen die Elektronen durch einen Beam auf die doppelte Beamenergie beschleunigt werden. Im Gegensatz dazu werden im stoßfreien interplanetaren Raum nicht Elektronen, sondern Nukleonen beschleunigt. Wird die

Prof. Dr. Wolfgang Kundt, Institut für Astronomie, Universität Bonn, Hans Baumann; Dr. Gernot Thuma, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln; Dipl.-Phys. Udo Wernick

Plasmaaufladungsbeschleunigung im Flüssigkeitsmodell betrachtet, so verstößt diese genau wie die Fermi-Beschleunigung gegen den zweiten Hauptsatz. Dies bedeutet aber nur, dass die Betrachtung im Flüssigkeitsmodell nicht angebracht ist. Eine entsprechende Hybridbeschreibung für die Heliosphäre wurde in [5] vorgeschlagen.

■ Zu 3): Das Konzept elektrischer Doppelschichten war auch schon vor Hannes Alfvén im Gespräch der Plasmaphysiker, er selbst hat es nie auf magnetische Rekonnexion angewandt, deren Möglichkeit er abstritt. Das physikalische Verständnis anomaler Transportphänomene war in seinen aktiven Jahren sehr rudimentär. Als anomalen Widerstand bezeichnet man z. B. den elektrischen Widerstand von Plasmen, in denen Teilchenstöße zu selten sind, um Ströme merklich zu reduzieren. In dieser für Weltraumplasmen typischen Situation dominiert die Streuung von Teilchen an turbulenten elektromagnetischen Feldern. In der Zeit von Alfvén entstanden gerade erste, quasi-lineare Theorien zur Beschreibung schwacher Turbulenz in Kernfusionsplasmen. Die Ausbildung von Strukturen, wie elektrostatische Doppelschichten in Folge starker Turbulenzanregung, konnte man damit noch nicht erfassen. Dies galt auch für die ersten Generationen von Teilchensimulationen. Gegenwärtig ist man erstmals in der Lage, Einsichten in die tatsächliche Stärke des anomalen Widerstands bei Rekonnexion zu erlangen. Dies trifft auch auf die Rolle von Doppelschichten zu, aber auch auf andere Konsequenzen starker Turbulenz wie die Erzeugung starker elektrischer Felder, lokaler Lochbildungen und Verdichtungen, der anomalen Plasma-Heizung und Teilchenbeschleunigung. Zu Detailergebnissen können wir Herrn Kundt in der Kürze dieser Antwort leider nur auf die Literatur verweisen.

■ Zu 4): Bezüglich der Struktur der Heliosphäre ist die abgeleitete Schockstärke kein überraschendes Ergebnis. Wie oben diskutiert, gibt es vielfältige Erklärungsmöglich-

keiten, die mit der traditionellen Vorstellung unserer Heliosphäre in Einklang stehen. Die Frage sollte eher sein, welche Evidenz es für ein lokales interstellares Medium gibt, das aus einem relativistischen Paarplasma besteht. Es scheint doch eher so, dass die bisherigen Beobachtungen verschiedener Raumsonden keine Notwendigkeit für die Beschreibung durch ein modifiziertes Plasma erfordern.

- [1] *M. Rempel*, *Astrophys. J.* **647**, 662 (2006)
- [2] *L. A. Fisk, G. Gloeckler* und *T. H. Zurbuchen*, *ApJ* **644**, 631 (2006)
- [3] *D. J. McComas* und *N. A. Schwadron*, *GeoRL* **33**, 4102 (2006)
- [4] *S. E. S. Ferreira, M. S. Potgieter* und *K. Scherer*, erscheint in *JGR*
- [5] *K. Scherer* und *S. E. S. Ferreira*, *ASTRA* **1**, 17 (2005)

■ Von Quantenmäusen und Quantenmenschen

Zu: „Physik lässt einen nicht einfach los“, Interview mit Julian Voss-Andreae, Mai 2007, S. 24

Der Quantenmann hat mir gut gefallen. Wie das häufig der Fall ist, haben andere zur selben Zeit, manchmal auch früher, die gleiche Idee: Auf der Kunstaussstellung ART 2004 in Frankfurt waren

Skulpturen der britischen Künstlerin Marilène Oliver (www.marilene.co.uk) zu sehen, bei denen MRI-Scheiben (Nuclear Magnetic Resonance Imaging) von Personen lebensgroß auf Glasplatten übereinander gestapelt waren. Das gibt dann im Endeffekt auch „Quantenmänner“ und auch „Quantenfrauen“.

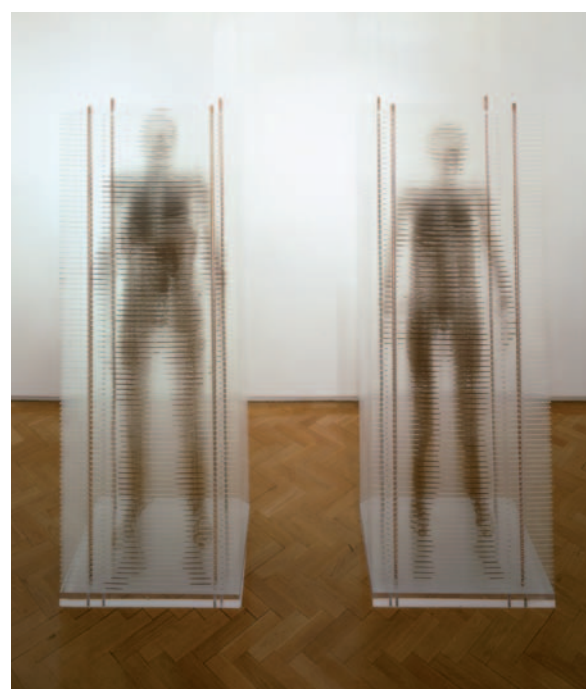
Schließlich benutzen wir diese Technik einer scheibenweisen Darstellung für die Tumorthherapie schon lange. Dazu schreiben wir mit dem Raster-Verfahren das Zielvolumen mit Ionenstrahlen in Stapel von Kernspurdetektoren, die in einem Wassertank als Gewebesimulation liegen, und entwickeln sie dann. Als exotisches Beispiel finden Sie anbei die „Quantenmaus“, die Abbildung einer Stoffpuppe aus der Sendung mit der Maus. Die Quantenmaus war das Geburtstagsgeschenk meiner Gruppe zum 65. Geburtstag und ist genauso mit einem CT geplant wie eine Tumorthherapie und dann genauso bestrahlt. Sie dient jetzt als pädagogisch wertvolles Vorzeigobjekt, da man damit die Auflösung der Tumorthherapie zeigen kann.

Gerhard Kraft

Prof. Dr. Gerhard Kraft, Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt



Die „Quantenmaus“ und die Skulpturen „Mum and Dad“ (2003) der britischen Künstlerin Marilène Oliver erinnern an den „Quantenmann“ von Julian Voss-Andreae.



Courtesy Herrmann Wagner Gallery and the artist