

Pioneer Anomalie entschlüsselt

Geheimnisvolle Positionsabweichungen der Raumsonden Pioneer 10 und 11 nach jahrelanger Forschung aufgeklärt / Forscherteam der Universität Bremen beteiligt

Seit 1979 registriert die NASA eine winzige Abbremsung der Pioneer-Sonden, die im Laufe der Jahrzehnte zu einer Abweichung von der berechneten Flugbahn von mehr als 650.000 km geführt hat. Das faszinierende Phänomen beschäftigte Forschungsgruppen aus aller Welt, deren Lösungsansätze z.B. die Anziehungskraft dunkler Materie einbezogen oder sogar eine Modifizierung des Gravitationsgesetzes.

Seit März 2011 ist es nun nachgewiesen, dass Wärmestrahlung – also elektromagnetische Wellen – für die Abbremsung der beiden Sonden verantwortlich ist. Dabei wurden sowohl die Auswirkungen der direkten Wärmeabstrahlung als auch deren Reflektion an verschiedenen Bauteilen der Sonde mit einbezogen. Eine wichtige Rolle in der Gesamtberechnung spielt dabei die Wärmeabgabe der Atombatterien, die die Zerfallswärme des Plutoniums zum Teil in Elektrizität umwandeln und den Rest in den Weltraum abstrahlen. Zusätzlich gibt der Satellit die von den elektrischen Verbrauchern erzeugte Abwärme ab. Wenn diese Hitzeabstrahlung nicht absolut gleichmäßig in alle Richtungen erfolgt, führt dies bereits zu einem wahrnehmbaren Einfluss auf die Flugbahn.

Bis dieses Ergebnis vorgelegt werden konnte trafen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den USA, Kanada, Frankreich, Norwegen, Italien, Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland zum jährlichen Workshop in Bern. Darunter auch das Team von Professor Claus Lämmerzahl vom Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) an der Universität Bremen.

Das Bremer Team beschäftigt sich seit vier Jahren intensiv mit einer ausführlichen Thermalanalyse der Sonden. Anhand eines detaillierten mathematischen Modells des Satelliten in Kombination mit dem von der NASA bereitgestellten Datenmaterial berechnet ZARM-Mitarbeiter Benny Rievers die Oberflächentemperaturen zu jedem Zeitpunkt der Mission und anschließend die resultierenden Rückstoßkräfte. Dazu war es notwendig, einen speziell angepassten Raytracer (mathematisches Verfahren zur Verfolgung von (Licht-) Strahlen in 3D) zu entwickeln. Basierend auf den Temperaturdaten vom Satelliten unter Berücksichtigung der Reflektionseigenschaften des Oberflächenmaterials, ist der Raytracer in der Lage, die entstehenden Kräfte hochgenau zu berechnen.

Thermale Rückstoßkräfte sind Grund der Anomalie

Bereits 2009 konnte Rievers bestätigen, dass die Thermalstrahlung einen erheblichen Anteil an den Positionsabweichungen der Sonden hat. Im Jahr darauf lieferte eine verbesserte Version des Raytracers und eine detailliertere Modellierung des Satelliten mit einer Genauigkeit von 20 % den Nachweis dafür, dass thermale Rückstoßkräfte Grund der Anomalie sind. Um die Berechnungen weiter zu präzisieren, wurden nun auch der detaillierte Innenaufbau des Satelliten und der Wirkungsgrad der elektrischen Konverter mit einbezogen.

Am 27. März 2011 veröffentlichte ein portugiesisches Team um Frederico Francisco eine Arbeit, in der die obigen Ergebnisse für den letzten Teil der Pioneer-Missionen bestätigt wurden. Sie stützten sich dabei auf ein virtuelles dreidimensionales Computermodell der Satelliten. Jetzt ist eine Arbeit von Benny Rievers und Claus Lämmerzahl in den Annalen der Physik publiziert worden, in der mit ihrem verfeinerten Computermodell der Pioneer-Sonden unter Einbeziehung der Temperaturdaten die gemessene anomale Beschleunigung der komplette Mission vom Start bis heute erklärt werden

konnte. Mit dieser Erklärung ist es nun mit größter Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen, dass dieser anomale Effekt Ergebnis einer „neuen Physik“ ist.

Darüber hinaus sind Rievers Berechnungen auf jedes andere Raumfahrzeug übertragbar. So wurde dieses Verfahren auch auf die sogenannte Flyby-Anomalie der Rosetta-Sonde (ein unerklärtes Anwachsen der Geschwindigkeit um 3,9 Millimeter pro Sekunde der Rosetta-Sonde beim Vorbeiflug an der Erde) angewendet. Er konnte nachweisen, dass diese Anomalie nicht auf die Auswirkungen von Thermalstrahlung zurück zu führen ist. Damit bleibt die „Flyby-Anomalie“ der Rosetta-Sonde, weiterhin ungeklärt – und damit letztendlich auch die Frage, ob fundamentale Gesetze der Physik möglicherweise doch noch einmal überdacht werden müssen.

Achtung Redaktionen: In der Uni-Pressestelle können Sie unter E-Mail presse@uni-bremen.de ein digitales Foto der Raumsonde Pioneer anfordern.

Weitere Informationen:

Universität Bremen

Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM)

Benny Rievers

Tel.: 0421 / 218 4803

E-Mail Benny.rievers@zarm.uni-bremen.de

Prof. Dr. Claus Lämmerzahl

Tel.: 0421 / 218 8687

E-Mail claus.laemmerzahl@zarm.uni-bremen.de

Detailinformationen zur wissenschaftlichen Methodik:

Um die thermalen Rückstoßkräfte zu berechnen, müssen zunächst die Gleichgewichtstemperaturen bestimmt werden. Hierzu wird das Raumfahrzeug mittels Finiten Elementen modelliert, wobei Rievers sich - aufgrund der späteren Verwendung des Oberflächenmodells für die Kraftberechnung - auf Hexaeder (für Volumenelemente) und Rechtecke (für Oberflächen) beschränkt. Um die Temperaturen für eine bestimmte Konfiguration (z.B. Zeitpunkt der Mission) zu berechnen, müssen die aktuelle Umgebung und die zu diesem Zeitpunkt gültigen Messdaten als Randbedingungen definiert werden. Nun werden noch Materialeigenschaften zugewiesen, eine steady-state-Analyse durchgeführt und das Oberflächenmodell sowie die Oberflächentemperaturen exportiert. Mit diesen Informationen wird der Raytracer gefüttert, der die resultierende Kraft berechnet. Die Berechnung ist sehr komplex, da unterschiedliche Oberflächen Strahlung austauschen können und hierfür geometrische Sichtfaktoren zwischen allen Modelloberflächen bestimmt werden müssen. Es wurde die 8-Stützstellen Gauss-Integration für vier Dimensionen verwendet, was eine hohe Genauigkeit ermöglicht, jedoch auch eine lange Rechenzeit zur Folge hat.

Die Berechnung der geometrischen Sichtfaktoren für das Pioneer-Modell dauert z.B. auf einem gewöhnlichen 4-Kern Prozessor ungefähr zwei Tage (bei ca. 17.000 Oberflächenelementen und 1.000.000 Strahlen pro Element). Glücklicherweise lässt sich diese Information weiterverwenden für andere Missionszeitpunkte, da sich die Geometrie des Satelliten über die Mission nicht ändert.

So hat man schließlich die Rückstoßkraft für einen Zeitpunkt bestimmt. Für die Berechnung weiterer Konfigurationen, muss man wieder in die FE-Modellierung gehen, die Randbedingungen anpassen, das System erneut lösen, erneut exportieren, erneut in den Raytracer stecken usw. Diese Prozedur wurde vollautomatisiert, so dass es nun möglich ist, die Trajektorie und die gewünschte zeitliche Auflösung anzugeben, die Rechnung zu starten und nach einiger Zeit die Ergebnisse automatisch zu erhalten. Hierfür wurde die ANSYS parametric design language verwendet, so dass die Modellierung als Code erfolgt und nicht in einer grafischen Oberfläche.

Die Ergebnisse wurden veröffentlicht unter:

<http://arxiv.org/abs/1104.3985>

Ann. Phys. (Berlin) 523 (2011) [6] (DOI: 10.1002/andp.201100081) (11 pp.) ab 27. Mai 2011

High precision thermal modeling of complex systems with application to the flyby and Pioneer anomaly

Benny Rievers and Claus Lämmerzahl