

Projektbeschreibung, max. 3 Seiten

(Probleme/Zielsetzungen der zu fördernden Aktivität, Arbeitsprogramm mit Durchführungsplan, mit Projektteam, Zeitplan, Zu erwartende Projektergebnisse, Umsetzung der Ergebnisse)

MOTIVATION

Am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts gelangen einige der faszinierendsten astronomischen Entdeckungen aller Zeiten – darunter der definitive Nachweis von extrasolaren Planeten (oder Exoplaneten) in der Umlaufbahn um nahe Sterne. Überraschenderweise zeigen Exoplaneten eine erstaunlich breite Palette von Eigenschaften, die im Sonnensystem unbekannt sind; dazu gehören Gesteinsplaneten, die mehrere Erdmassen umfassen, oder Gasriesen, die zehnmal so groß wie Jupiter sind. Gleichzeitig stellt diese Vielfalt an Planetensystemen aber auch die Entstehungstheorien in Frage, welche zur Erklärung unseres eigenen Sonnensystems entwickelt worden sind.

Die Planetenentstehung kann im Rahmen zweier etwas komplementärer Szenarien gedeutet werden. Das Scheibeninstabilitätsmodell geht von einer gravitationell instabilen zirkumstellaren Scheibe aus, aus der sich durch gravitationelle Fragmentierung Gasklumpen bilden. Ein solcher Klumpen kontrahiert danach zu einem Planeten, in dessen Zentrum sich durch Akkretion von Staubteilchen aus der Scheibe ein fester Kern bilden kann. Auf der anderen Seite koagulieren im Kern-Akkretionsmodell („core accretion“) kleine Staubpartikel Schritt für Schritt bis zur Bildung eines erdähnlichen Planeten oder eines festen Kerns; letzterer kann unter Umständen weiter Gas aus der Scheibe ansammeln und so zu einem Gasriesen anwachsen.

Sowohl Theorie wie auch Beobachtungen deuten darauf hin, dass der Planetenentstehungsprozess sehr früh, kurz nach der Entstehung eines jungen stellaren Objektes (young stellar object = YSO), anfängt. Ein YSO besteht aus einem zentralen Stern, einer zirkumstellaren Scheibe und der ursprünglichen Gaswolke. Die Eigenschaften der Scheibe sind für die jüngste Phase durch Beobachtung wenig bekannt, weil die Scheibe noch tief in der Hülle eingebettet ist, welche in vielen Wellenlängenbereichen undurchsichtig ist. Das Fehlen von räumlich und spektral hochaufgelösten Beobachtungsdaten war bis vor Kurzem ebenfalls ein Hindernis. Dies ändert sich nun mit dem weltgrößten Millimeter-Interferometer, dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array ALMA, dessen Konstruktion in diesem Jahr vollendet wurde. Es ist deshalb umso wichtiger, Arbeiten der Theoretiker und der Beobachter zusammenzuführen, um die Eigenschaften der planetenbildenden Scheiben genauer verstehen zu können.

Wegen großen numerischen Aufwandes können gegenwärtige Computercodes nicht den ganzen Prozess der Planetenentstehung von der Bildung einer Scheibe bis zum fertigen Planetensystem nachvollziehen. Vielmehr konzentrieren sich solche Codes entweder auf die frühe Phase, um Scheibeneigenschaften zu berechnen, während die Planetenentstehung und -Evolution nur vereinfachend berücksichtigt wird; oder sie beschreiben in einer späteren Phase die Dynamik der schon entstandenen Planeten, ohne die Scheibenbildung einzubeziehen. Im zweiten Fall werden typischerweise vereinfachende Scheibenmodelle als Anfangsbedingungen angenommen. Allerdings hängt die Planetendynamik stark von den physikalischen Eigenschaften der Scheibe ab. Es ist deshalb von größter Wichtigkeit, die Planetenevolution in möglichst realistischen Scheibenmodellen zu berechnen. Wir bekommen jetzt zum ersten Mal die Gelegenheit, den Entstehungsprozess in engem Vergleich mit den fortschrittlichsten Beobachtungen nachzuvollziehen.

Der vorliegende Antrag ist eine Fortsetzung des Projektes OMAA-90öu25, in welchem wir uns auf eine neue GPU-Implementierung der Scheiben-Selbstgravitation konzentrierten. Diese Implementierung war von grosser Wichtigkeit für die selbstkonsistente Modellierung von massereichen protostellaren und protoplanetaren Scheiben. Wir haben die GPU-basierte Selbstgravitationsroutine in beide Codes der beiden Partner implementiert. Unsere Resultate wurden in zwei Artikeln in der referierten Zeitschrift „Astronomy & Astrophysics“ publiziert. Wir planen, unsere Kollaboration fortzusetzen mit dem Ziel, die sehr frühe Phase der Planetenentstehung zu simulieren, während der die Staubdynamik eine Hauptrolle spielt.

ZIELSETZUNGEN DES ANTRAGES

Gemäss der bestakzeptierten Theorie der Planetenentstehung – dem sogenannten “core-accretion“-Szenario – beginnt die Planetenentstehung mit der Koagulation von Mikrometergrossen Staubteilchen. Die Koagulation reagiert empfindlich auf die Gasverteilung in der zirkumstellaren Scheibe, weil sich die Staubteilchen in lokalen Gasanhäufungen ansammeln. Solche Anhäufungen können durch verschiedene Mechanismen erzeugt werden, wie zum Beispiel Wirbel (Vortex, siehe z.B. Regály et al. 2012). Später können diese Staubansammlungen in den Gaskonzentrationen als Keime für die Bildung von protoplanetaren Kernen dienen.

In vor Kurzem gemachten Untersuchungen haben die Projektteilnehmer erfolgreich den FEOsAD-Code auf Stern- und Scheibenentstehung angewendet, und ebenso den GFARGO-Code auf die Modellierung von Planet-Scheiben-Wechselwirkungen. Im vorgeschlagenen Projekt werden wir ein Modul für beide Codes entwickeln, mit welchem wir die Staubakkumulation simulieren können. Das physikalische Modell für die Staubdynamik basiert auf der Berechnung der Reibungskraft, die das Gas auf die Staubteilchen ausübt. Der Staub wird als individuelle masselose Teilchen behandelt (teilchenbasierter N-Körper-Ansatz) oder als Fluid mit geringem Druck (Fluid-basierter Ansatz mit der Boltzmann-Gleichung). Durch Vergleich der mit beiden Methoden berechneten Modelle werden wir den effektivsten Ansatz für die Langzeitsimulationen der Entstehung von Planetenkeimen bestimmen können.

Während des Projektes werden beide Codes modifiziert und verbessert. Erstens wird der GFARGO-Code (der ungarischen Partner) modifiziert durch Einbezug des teilchenbasierten Staubmoduls. Weil GFARGO ein vollständig GPU-basierter Code ist, was Hochleistungsrechnungen mit Graphikprozessoren (GPUs) ermöglicht, wird unsere N-Körper-Staubroutine auch GPU-fähig sein. Im nächsten Schritt wird der österreichische Partner ein Fluid-basiertes Staubmodul für den FEOsAD-Code entwickeln. Als letzten Schritt werden wir die Staubanhäufung in Wirbeln in protoplanetaren Scheiben modellieren (ungarische Partner) sowie in Gasklumpen, die sich durch die Gravitationsinstabilität bilden (österreichische Partner).

Im Vergleich mit dem gegenwärtigen Stand der numerischen Modelle der Planetenentstehung wird unser verbesserter GFARGO-Code der erste sein, der selbstkonsistent die Scheibenselbstgravitation und die Staubdynamik in protoplanetaren Scheiben modelliert. Gleichzeitig wird der numerische FEOsAD-Code zum ersten Mal den Boltzmann-Gleichungsansatz (statt den klassischen Fluidmechanikansatz mit verschwindender kinetischer Temperatur) zur Modellierung der Staubdynamik in protoplanetaren Scheiben anwenden.

ARBEITS- UND ZEITPLAN

Der Österreichische Partner, Dr. Eduard Vorobyov, hat bereits den umfangreichen numerischen Hydrodynamik-Code FEOsAD entwickelt, der selbstkonsistent die Entstehung und Evolution junger stellarer Objekte bis zum Alter von einer Million Jahren simulieren kann. Der Code beinhaltet die hauptsächlichsten physikalischen und thermischen Prozesse, die sich in der Entstehung von Scheiben und Sternen abspielen, unter anderem auch Selbstgravitation in der Scheibe (Vorobyov & Basu 2010, *Astrophysical J.*, 719, 1896); der Code wurde erfolgreich zur Untersuchung von Scheibeneigenschaften angewendet (Vorobyov 2010, *Astrophysical J.*, 723, 1294; Vorobyov 2011, *Astrophysical J.* 729, 146; Vorobyov, Regály, Guedel, M; Lin, D. N. C. 2016, *Astronomy & Astrophysics*, 587, 146). Dank der Unterstützung durch den OMAA-90025-Grant wurde der hydrodynamische FEOsAD-Code erfolgreich durch Einbezug der Effekte der Sternbewegung infolge der Scheibenasymmetrie verbessert (Regály & Vorobyov 2016, *Astronomy & Astrophysics*, in Revision nach positive Report).

The Hungarian partner, Dr. Zolt Regály, have further developed the GFARGO code originally provided by F. Masset (Masset et al. 2000, *Astronomy & Astrophysics Suppl.*, 141, 165) to include several new physical phenomena such as vortex development in disks. This code was successfully applied for studying planet-disk interactions (e.g. Regály et al. 2010, *Astronomy & Astrophysics*, 523, A69; Regály et al. 2011, *Astronomy & Astrophysics*, 528, 93; Regály et al. 2012, *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 419, 1701; Regály et al. 2013, *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 433, 2626;

Regály et al. 2014, *Astrophysical J.*, 785, L31). Dank der Unterstützung durch den OMAA-90öu25-Grant wurde der GFARGO-Code erfolgreich durch den Einbezug des Effektes der Scheibenselbstgravitation verbessert (Vorobyov, Regály, Guedel, M; Lin, D. N. C. 2016, *Astronomy & Astrophysics*, 587, 146)

Um die geplanten Code-Verbesserungen vornehmen zu können und die Projektziele zu erreichen, sind gegenseitige Besuche der Partnerinstitutionen unverzichtbar. Unser detaillierter Plan sieht wie folgt aus:

Monat 1. Vertrautmachen mit den numerischen Algorithmen, um die Reibungskräfte zwischen Gas und Staub zu berechnen. Implementierung einer numerischen Lösung für die Boltzmann-Impulsgleichungen für die Staubkomponente im FEOsAD-Code.

Monate 2-5. Beginn der GPU-Implementierung des teilchenbasierten Staubmodules in den GFARGO-Code und der CPU-Implementierung des Boltzmann-Gleichung-basierten Staubmodules in den FEOsAD-Code. In diesem Stadium sind Besuche von Dr. Vorobyov in Budapest und von Dr. Regály in Wien geplant.

Monate 6-7. Tests der Leistung und der Genauigkeit der beiden Staubmodule. Wir planen, die Simulationen auf dem GPU-Cluster Konkoly-Observatoriums und dem CPU-Cluster der Universität Wien laufen zu lassen. Besuche von Dr. Vorobyov in Budapest und von Dr. Regály in Wien sind für dieses Stadium geplant.

Monate 8-10. Implementierung des effektivsten Staubmodules in den GFARGO-Code. Start des Langzeitsimulationen der Staubakkumulation in Wirbeln mit dem verbesserten GFARGO-Code und der Staubakkumulation in Gasklumpen mit dem FEOsAD-Code. Diskussion der Publikationsstrategie (unser Plan ist es, unsere Resultate in separaten referierten Papers zu publizieren: technische Beschreibung der GPU-basierten Implementierung des Staubmodules mit Beispielanwendungen). Besuche von Dr. Vorobyov in Budapest und Dr. Regály in Wien sind zu dieser Zeit vorgesehen.

Monate 11-12. Vorbereitung der Publikationen auf Grund der Resultate der numerischen Simulationen mit dem GFARGO- und dem FEOsAD-Code. Vorbereitung von Beobachtungsanträgen für Radiointerferometer (z.B. PdBI, SMA, ALMA, und JVLA) basierend auf unseren numerischen Vorhersagen für die Staubakkumulation. Besuche von Dr. Regály in Wien und Dr. Vorobyov in Budapest sind geplant.

ERWARTETE PROJEKTRESULTATE

Mit Vollendung des Projektes erwarten wir folgende Resultate:

1. Es werden zwei numerische Codes, GFARGO und FEOsAD, zur Beschreibung der gegenseitigen Entwicklung der Gas- und Staubkomponenten in zirkumstellaren Scheiben entwickelt. Die Codes werden konzeptuell verschiedene Ansätze verwenden, um die Dynamik der Staubteilchen zu beschreiben: den N-Körper-Ansatz (GFARGO) und den Boltzmann-Ansatz (FEOsAD), was uns zum ersten Mal erlaubt, die Leistungsfähigkeit und Effizienz beider Methoden direkt zu testen.
2. Der Effekt der Gasdynamik auf die Staubakkumulation wird in protoplanetaren und protostellaren Scheiben untersucht. Das erlaubt es uns, die ersten Phasen der Planetenentstehung zu untersuchen.
3. Der verbesserte GFARGO-Code wird das erste GPU-fähige, gekoppelte Hydrodynamik-Staub-Computerprogramm sein, um die anfänglichen Phasen der Planetenentstehung zu simulieren. Diese Entwicklung kann grössere Beiträge machen zu unserem besseren Verständnis der Planetenentstehung.
4. Durch Vergleich unserer numerischen Vorhersagen mit den hochaufgelösten Beobachtungen des Plateau de Bure Interferometers (PdBI) und des Atacama Large Millimeter Array (ALMA) können wir die Theorie der Planetenentstehung verbessern.

Die Resultate des Projektes werden in peer-review-Zeitschriften veröffentlicht und an internationalen Konferenzen vorgetragen. Wir erwarten, dass wir bei Projektabschluss mindestens zwei Papers eingereicht haben werden. Die Projektresultate werden die Grundlage bilden für weitere Anträge für gemeinsame Projektfinanzierung im Rahmen der gemeinsamen österreichisch-ungarischen Forschungsstipendien des FWF (FWF-OTKA) und im Rahmen der Stipendien des European Research Council (ERC).

Ich verpflichte mich im Falle einer Förderung zur Durchführung des Kooperationsprojektes und zur Übermittlung eines wissenschaftlichen Berichtes und einer Abrechnung.

Ich hafter für die Richtigkeit der Angaben.

Ich nehme zur Kenntnis, daß die empfangenen Beträge bei Nichtdurchführung, auch von Programmteilen, zurückzuerstatten sind.

Kötelezettséget vállalok arra, hogy a jóváhagyott projektet végrehajtom.

A projekt lezárultával magyar és német nyelvű beszámolót, valamint a támogatás felhasználásáról pénzügyi jelentést, költségelszámolást készítek, és ezeket eljuttatom az Akció Alapítvány titkárságára. Az adatok valóságát igazolom.

Tudomásul veszem, hogy az átutalt, de igénybe nem vett támogatás, vagy nem a megjelölt célra történt felhasználás összege visszatérítendő!

Beilagen1.: Einseitiges CV eines jeden Projektmitarbeiters

2.: 5 relevante Publikationen der letzten drei Jahre eines jeden Projektmitarbeiters

28.10.2016

28.10.2016

Datum

Datum

Unterschrift des Antragstellers, Stempel

**Unterschrift des Projektpartners in
anderen Land, Stempel**

**Magyar Tudományos Akadémia
Csillagászati és
Földtudományi Kutatóközpont
Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet
1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15-17.**

**INSTITUT FÜR ASTROPHYSIK
Universitäts-Sternwarte
A-1180 Wien, Türkenschanzstraße 17**

Unterschrift des Projektpartners