

**AKTION Österreich-Ungarn  
Wissenschafts- und Erziehungskooperation  
Projektantrag**

(Beim Ausfüllen des Formulars ist das Merkblatt 2013 zu beachten!)

Stand Jänner 2014

<b>Einreichstelle für Österreich und Ungarn:</b> Geschäftsstelle der Aktion Österreich-Ungarn H-1088 Budapest, Bródy Sándor u. 16 <b>Tel/Fax:</b> +36 1 266-74-74, <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:omaa@omaa.hu">omaa@omaa.hu</a>	
<b>Projektnummer:</b> (nicht vom Antragsteller auszufüllen)	
<b>Projekttitel:</b> Selbstkonsistente Modellierung der Entstehung und Evolution von Planeten	
<b>Antragsteller</b> Name/Funktion: Inst./Universität/Hochsch.	Dr. Zsolt Regály/senior researcher Konkoly Observatory, Research Center for Astronomy and Earth Sciences, Hungarian Academy of Sciences
<b>Adresse des Antragstellers</b> (Institut/Univ.) H-1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15-17.	
/Postleitzahl/H-1121      /Ort/ Budapest      /Straße, Nr./ Konkoly T. M. 15-17	
Tel/Fax: +36 1 391 9347 <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:regaly@konkoly.hu">regaly@konkoly.hu</a>	
<b>Anderer Projektpartner im Land des Antragstellers:</b> Name/ Inst./Univ/Hochschule: Adresse:	Dr. Ágnes Kóspál Konkoly Observatory, Research Center for Astronomy and Earth Sciences, Hungarian Academy of Sciences  H-1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 15-17.
<b>Projektpartner im Ausland:</b> Name/Funktion: Dr. Eduard Vorobyov, Johannes Kepler senior postdoctoral fellow Institut o. Universität/Hochschule: Institut für Astrophysik, Universität Wien <b>Adresse:</b> Tuerkenschanzstrasse 17, 1180, Wien	
/Postleitzahl/ 1180      /Ort/ Wien      /Straße, Nr./ Tuerkenschanzstr 17	
Tel/Fax: +4314277 53815 <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:eduard.vorobiev@univie.ac.at">eduard.vorobiev@univie.ac.at</a>	
<b>Projektpartner in der Slowakei und/oder in der Tschechischen Republik:</b> Name/Funktion: Institut o. Universität/Hochschule: <b>Adresse:</b>	
/Postleitzahl/      /Ort/      /Straße, Nr./	
Tel/Fax: <b>E-Mail:</b>	
<b>Beantragte Förderung:</b> insgesamt:      3000 <b>EUR</b> und      574400 <b>HUF</b>	
<b>Projektdauer:</b>	1 Jahr
<b>Datum der Einreichung:</b>	2014-10-30
<b>Von der AÖU früher genehmigte/s Projekt/e:</b> <b>ProjektNr:</b>	nein

**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.

## ZIELSETZUNGEN DES ANTRAGES

Das Hauptzweck der hier beantragten Arbeiten besteht in der Untersuchung der Evolution von Planeten in selbstgravitierenden Scheiben, welche für die frühe Phase von YSOs

typisch sind; wir setzen uns zum Hauptziel, den weiten Bereich beobachteter extrasolarer Planeten zu erklären. In neueren Untersuchungen haben die Projektbeteiligten den „YSO-Evol“-Code erfolgreich auf die Stern- und Scheibenentstehung angewendet, und ebenso den GFARGO-Code zur Modellierung von Planeten-Scheiben-Wechselwirkungen.

Im vorgeschlagenen Projekt werden die österreichischen Partner physikalisch realistische Scheibenmodelle beisteuern, welche danach von den ungarischen Partnern zur Untersuchung der Planetenentstehung und -Evolution verwendet werden.

Beide Codes werden im Rahmen des Projektes erweitert und verbessert. Erstens wird der GFARGO-Code der ungarischen Partner so erweitert, dass er den Effekt der Selbstgravitation auf der Basis des von den österreichischen Partnern entwickelten und im YSO-Evol-Code angewendeten Algorithmus beinhaltet. Da GFARGO vollständig GPU-basiert ist und Hochleistungs-Computing auf Graphikkarten (GPUs) erlaubt, wird auch unsere neue Realisierung des Selbstgravitations-Moduls für GPUs geschrieben. Im nächsten Schritt werden wir die GPU-Realisierung des Selbstgravitations-Moduls in den YSO-Evol-Code einfügen. Damit werden wir die Rechenleistung massiv erhöhen, weil die GPUs im Vergleich zu herkömmlichen CPUs um zehnfach schnellere Berechnungen ermöglichen. Als letzten Schritt im Projekt planen wir, unsere numerischen Vorhersagen mit hochaufgelösten Beobachtungen zu vergleichen. Wir besitzen bereits Daten vom Plateau de Bure-Millimeter-Interferometer (PdBI) und haben ebenso einen akzeptierten Beobachtungsantrag für ALMA, für den die Beobachtungen zur Zeit im Gang sind.

## ARBEITS- UND ZEITPLAN

Der Österreichische Partner, Dr. Eduard Vorobyov, hat bereits den umfangreichen numerischen Hydrodynamik-Code YSO-Evol 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).

Der ungarische Partner, Dr. Zsolt Regály, hat den GFARGO-Code weiterentwickelt, der ursprünglich von F. Masset bereitgestellt wurde (Masset et al. 2000, *Astronomy & Astrophysics Suppl.*, 141, 165); neu beschreibt der Code mehrere neue physikalische Phänomene wie z.B. die Entwicklung von Wirbeln in der Scheibe. Dieser Code wurde bereits erfolgreich auf Planeten-Scheiben-Wechselwirkungen angewendet (z.B. 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). Der zweite ungarische Partner, Dr. Ágnes Kóspál, wird Beobachtungen beisteuern, welche die Anfangsbedingungen für den YSO-Evol-Code einschränken werden; sie werden ebenso dazu verwendet, um die Resultate der Modellrechnungen zu testen (z.B. Kóspál 2011, *Astronomy & Astrophysics* 535, A125; Kóspál et al. 2013, *Astrophysical J.*, 776, 77).

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.** Einarbeitung der ungarischen Partner in den Algorithmus für die Berechnung der Scheiben-Selbstgravitation, basierend auf der Lösung des Poisson-Integrals. Diskussion über mögliche GPU-Umsetzung des Algorithmus. Planung eines Besuchs von Dr. Regály in Wien.

**Monate 2-4.** Beginn der GPU-Umsetzung der Selbstgravitation im YSO-Evol- und im GFARGO-Code. Das Selbstgravitationsmodul planen wir in der CUDA-Sprache zu

schreiben. Hier planen wir Besuche von Dr. Vorobyov in Budapest und Dr. Regály in Wien ein.

**Monate 5-6.** Tests des Selbstgravitationsmoduls in beiden Codes. Die Simulationen planen wir, auf den GPU-Clusters des Konkoly-Observatoriums und der Universität Wien auszuführen. Beantragung weiterer finanzieller Unterstützung für NVIDIA GPU-Karten. Hier planen wir einen Besuch von Dr. Vorobyov in Budapest.

**Monate 7-8.** Beginn der numerischen Simulationen der Scheibenentstehung und -evolution mit dem erweiterten YSO-Evol-Code. Suche nach Scheibenkonfigurationen, in denen vorzugsweise Planeten entstehen. Besuch von Dr. Kóspál und Dr. Regály in Wien.

**Monate 9-10.** Beginn der numerischen Simulationen der Planetenevolution mit dem erweiterten GFARGO-Code auf Grund der Input-Parameter (Scheibenkonfiguration) aus dem YSO-Evol-Code. Diskussion des Vorgehens in Bezug auf Publikationen (wir planen, unsere Resultate in verschiedenen peer-review-Papers zu veröffentlichen: technische Beschreibung der GPU-basierten Selbstgravitation mit Fallbeispielen). Zu dieser Zeit planen wir einen Besuch von Dr. Vorobyov in Budapest.

**Monate 11-12.** Vorbereitung von Publikationen auf der Basis der Resultate der numerischen Simulationen mit den GPU-basierten YSO-Evol- und GFARGO-Codes. Vorbereitung von Beobachtungsanträgen für Radio-Interferometer (z.B. PdBI, SMA oder ALMA) auf Grund der Vorhersagen unserer numerischen Simulationen. Besuche von Dr. Kóspál und Dr. Regály in Wien und von Dr. Vorobyov in Budapest.

#### ERWARTETE PROJEKTRESULTATE

Mit Vollendung des Projektes erwarten wir folgende Resultate:

1. GPU-beschleunigte Hydrodynamik-Codes werden fertig entwickelt sein für die selbstkonsistente Berechnung der Entstehung und Evolution von Sternen, Scheiben und Planeten. Dies wird uns erlauben, die Rechenleistung stark zu erhöhen und für spätere Untersuchungen mehr physikalische Prozesse mit einzubeziehen.
2. Wir werden die Effekte, welche die anfänglichen Scheibenkonfiguration und die Selbstgravitation, vor allem die in der frühen Scheibenphase übliche Anwesenheit von Spiralstrukturen, auf die Evolution von Planeten haben, im Detail untersucht haben. Dies wird uns erlauben, Planetenentstehung, Migration und Überleben der Planeten in realistischen Scheibenumgebungen zu untersuchen.
3. Wir werden die möglichen Beziehungen zwischen der beobachteten Bandbreite von extrasolaren Planeten und YSO-Eigenschaften wie Scheiben- und Sternmasse untersucht haben.
4. Indem wir unsere numerischen Vorhersagen mit den hochaufgelösten Beobachtungen des Plateau de Bure-Interferometers (PdBI) und ALMA vergleichen werden, werden wir eine verbesserte Theorie der Planetenentstehung vorlegen können.

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).

<b>Kostenaufstellung:</b>			
<b>I. In EUR beantragte Kosten (siehe Merkblatt)</b>			
<b>Aufenthaltskosten</b> für	<b>Dauer</b> (Tage, Monat)	<b>Personen:</b> Prof., Stud.	<b>EUR</b> <b>insgesamt</b>
1. Zsolt Regály	20 Tage	Dr.	1800
2. Ágnes Kóspál	10 Tage	Dr.	900
3.			
<b>Reisekosten</b>	<b>Reiseziel</b>	<b>Personen:</b> Prof., Stud.	
1. Zsolt Regály	Uni. Wien	Dr.	200
2. Ágnes Kóspál	Uni. Wien	Dr.	100
3.			
<b>Sonstige Kosten</b> ( <i>Publikationskosten, Materialkosten</i> )			
<b>Von der AÖU beantragte Gesamtkosten:</b>			<b>3000 EUR</b>
<b>Eigenmittel:</b>			<b>0 EUR</b>
<b>Anderweitige Förderung in Österreich :</b> verlangt: wo? wofür? zuerkannt?	<u>nein</u>		
<b>II. In HUF beantragte Kosten</b>			
<b>Aufenthaltskosten</b> für	<b>Dauer</b> (Tage, Monat)	<b>Personen:</b> Prof., Stud.	<b>in HUF</b> <b>insgesamt</b>
1. Eduard Vorobyov	20 Tage	Dr.	500000
2.			
<b>Reisekosten</b>	<b>Reiseziel</b>	<b>Personen:</b> Prof., Stud.	
1. Eduard Vorobyov	Budapest	Dr.	74400
2.			
3.			
<b>Sonstige Kosten</b> ( <i>Publikationskosten, Materialkosten, Verwaltungskosten</i> )			
<b>Von der AÖU beantragte Gesamtkosten:</b>			<b>574400 HUF</b>
<b>Eigenmittel:</b>			<b>0 HUF</b>
<b>Anderweitige Förderung in Ungarn:</b> verlangt: wo? wofür? zuerkannt?	<u>nein</u>		

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

**Ich hafte 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**

---

**Datum**

---

**Datum**

---

**Unterschrift des Antragstellers, Stempel**

---

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

---

**Unterschrift des Projektpartners**