

Projektszám: 95ou13	HUF EUR
Pályázó neve: Regály Zsolt	Intézménye: MTA CSFK CSI
Projektpartner neve: Eduard Vorobyov	Intézménye: Institute of Astronomy, University of Vienna
Pályázat címe: Bolygók keletkezésének és fejlődésének önkonzisztens modellje	

A projekt jellege: (kérjük bejelölni)

- Workshop, konferencia
- Publikáció, tananyag
- Kutatási együttműködés
- Oktatási program

Beszámoló/Eredmények

Jelen projekt a korábbi 90ou25 pályázatunk folytatása, melyben az akkréciós korongok saját gravitációs hatásának GPU implementációjára fókuszáltunk. Ennek alapvető fontossága van a masszív protosztelláris és protoplanetáris korongok modellezésében. Korábbi eredményeinket két referált cikkben publikáltuk az Astronomy & Astrophysics című lapban.

A bolygókeletkezés elfogadott elmélete szerint – magakrécíós hipotézis – a bolygók kialakulása a mikrométeres porrészecskék összetapadásával kezdődik. Ezen koagulációs folyamat érzékeny a csillagkörüli korong gázának eloszlására, ugyanis a porrészecskék a helyi sűrűsödésekben összecsomósodhatnak. Ilyen lokális sűrűsödések számos folyamat hatására létrejöhetnek, mint például örvényekben (lásd Regály és mtsa 2012). A későbbiekben ezek a helyi porsűrűsödések protoplanetáris bolygómagok kezdeményei lehetnek.

A por dinamikai viselkedésének modellje a gáz porrészecskékre ható közegellenállási erejének kiszámításán alapul. A por egyedi tömegnélküli részecskékként (részecskéközelítés) vagy nyomásmentes folyadékként (folyadékközelítés) kezelhető. Jelen projekt keretében mind két közelítést implementáltuk numerikus modelljeinkben (FEoSAD és GFARGO), lehetővé téve a por dinamikai viselkedésének és csomósodásának modellezését protoplanetáris korongokban.

Az Osztrák partner kifejlesztett egy módszert, melynek segítségével hatékonyan ki lehet számolni a gáz és a por között ható közegellenállási erőt valamint a por visszahatsát a gázra (Stoyanovskaya, Vorobyov, Snytnikov 2018). A módszert sztenderd tesztekkel (Sod sokk és porhullám) sikeresen ellenőriztük. A protosztelláris és protoplanetáris korongok gáz- és poranyaga közötti közegellenállás hatását ezen modell segítségével végezzük.

Első lépésként a GFARGO kódban a Magyar partner által lett kifejlesztve a részecskéközelítési modul. Az Osztrák partner egy olyan folyadékközelítéses modult fejlesztett a FEoSAD kódhoz, amellyel modellezhetővé vált a por dinamikai viselkedése és a porrészecskék növekedése is (Vorobyov mtsa 2018). Ezt a későbbiekben a GFARGO kódhoz is implementálta a Magyar partner. Továbbfejlesztett kódjaink az első olyan eszközök, melyek segítségével a protoplanetáris korongok saját gravitációs tere és a pordinamika egyszerre modellezhető.

A folyadékközelítést használva a GFARGO kód segítségével megvizsgáltuk a korongokba ágyazott kistömegű bolygók dinamikáját (I. típusú migráció). Benitez-Llambay és mtsa (2018) vizsgálataival egybehangzóan az találtuk, hogy a protoplanetáris korong tömegének csupán 1%-t kitevő por képes befolyásolni a bolygók I. típusú migrációját. Tökéletesítendő a fizikai modellt, vizsgálatainkban lehetővé tettük a bolygók porakkrécióját. Azt találtuk, hogy a bolygók migrációjának akár az irányát is megváltoztathatja a por: erős porakkréció esetén a bolygók kifelé migrálhatnak. Eredményeinknek fontos hatása lehet a bolygók keletkezési folyamatainak elméletére, ugyanis erős porakkréciót feltételezve a bolygók gyors befelé irányuló, I. típusú migrációját követő csillagáltali elnyelése elkerülhetővé válik.

Publikációs jegyzék:

Publikáció:

Regály, Zs.; Juhász, A.; Sándor, Zs.; Dullemond, C. P., 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 419, Issue 2, pp. 1701, „Possible planet-forming regions on submillimetre images“

Regály, Zs.; Vorobyov, E., 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 471, Issue 2, p.2204, „Vortex stretching in self-gravitating protoplanetary discs“

Regály, Zs.; Vorobyov, E., 2017, Astronomy & Astrophysics, Volume 601, id.A24, „The circumstellar disk response to the motion of the host star“

Stoyanovskaya, O. P.; Vorobyov, E. I.; Snytnikov, V. N., 2018, Astronomy Reports, Volume 62, Issue 7, pp.455, „Analysis of Numerical Algorithms for Computing Rapid Momentum Transfers between the Gas and Dust in Simulations of Circumstellar Disks“

Vorobyov, Eduard I.; Akimkin, Vitaly; Stoyanovskaya, Olga; Pavlyuchenkov, Yaroslav; Liu, Haiyu Baobab, 2018, Astronomy & Astrophysics, Volume 614, id.A9, „Early evolution of viscous and self-gravitating circumstellar disks with a dust component“

Regály Zs.; Vorobyov, E. I., 2019, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, in prep., „Migration of dust accreting low-mass planet“

Projektnummer: 95ou13	HUF EUR
Antragsteller: Regály Zsolt	Institut: MTA CSFK CSI
Projektpartner: Eduard Vorobyov	Institut: : Institute of Astronomy, University of Vienna
Titel: Selbstkonsistente Modellierung der Entstehung und Evolution von Planeten	

Art der Förderung:

- Workshop, Konferenz
- Publikation, Lehrmaterial
- Forschungsprojekt
- Unterrichtsprojekt

Bericht

Dieses Projekt war eine Fortsetzung des Projekts OMAA-90ou25, in dem wir uns auf eine neue GPU-Implementierung der Scheibengravitation konzentrierten. Diese Implementierung war fuer die selbstkonsistente Modellierung massiver protostellarer und protoplanetarer Scheiben von entscheidender Bedeutung. Unsere bisherigen Ergebnisse wurden in zwei Artikeln in der Fachzeitschrift „Astronomy & Astrophysics“ veroeffentlicht.

Gemäß der am weitesten akzeptierten Theorie der Planetenbildung - dem Kernakkrezionsszenario - beginnt die Planetenbildung mit der Koagulation von Staubteilchen in Mikrometergroesse. Der Koagulationsprozess ist empfindlich für die Verteilung von Gas in einer zirkumstellaren Scheibe, da sich Staubpartikel in den lokalen Gasverstaerkungen ansammeln. Solche Erhöhungen können durch verschiedene Mechanismen in zirkumstellaren Scheiben wie Wirbel erzeugt werden (siehe beispielsweise Regaly et al. 2012). Später kann die Staubsammlung in diesen Gasverstaerkungen als Samen für die Bildung von protoplanetaren festen Kernen dienen.

Das physikalische Modell für die Staubdynamik basiert auf der Berechnung der Zugkraft, die von der Gasscheibe auf die Staubpartikel ausgeübt wird. Staub kann als einzelne massenlose Partikel (partikelbasierter N-Körper-Ansatz) oder als Niederdruckfluid (fluidbasierter Ansatz) gehandhabt werden. In diesem Projekt haben wir diese beiden Methoden erfolgreich mit unseren numerischen Codes (FEoSAD und GFARGO) entwickelt, mit denen wir die Staubdynamik und -akkumulation in protoplanetaren Scheiben modellieren können.

Die österreichischen Partner haben eine effiziente Methode zur Berechnung der Zugkraft zwischen Gas und Staub entwickelt, einschließlich der Ruckreaktion von Gas auf Staub (Stoyanovskaya, Vorobyov, Snytnikov 2018). Diese Methode wurde gegen die Standard-Testprobleme, einschließlich der Sod-Schockrohre und der Dusty-Welle, getestet und zeigte ausgezeichnete Ergebnisse. Diese Methode bildet die Grundlage für die Berechnung der Zugkraft zwischen Gas und Staub in protostellaren und protoplanetaren Scheiben durch die österreichischen und ungarischen Partner.

Als erster Schritt wurde der GFARGO-Code (ungarischer Partner) um die Staubmodule auf Partikelbasis erweitert. Der österreichische Partner entwickelte ein auf Staub basierendes Staubmodul für FEoSAD-Code, welches Staubdynamik und -wachstum modellieren kann (Vorobyov u.a. 2018). Das Staubmodul wurde vom ungarischen Partner auch im GFARGO-Modul implementiert. Unsere verbesserten Codes sind das erste Werkzeug, mit dem wir die Selbstgravitation der Scheibe und die Staubdynamik in protoplanetaren Scheiben selbstkonsistent modellieren können.

Wir erforschten die Auswirkung von Staubpartikeln auf die Dynamik (Typ I-Migration) von Planeten mit geringer Masse, die in eine protoplanetare Scheibe eingebettet sind, mit unserem neu entwickelten, netzbasierten Staubmodul im GFARGO-Code. In Übereinstimmung mit Benitez-Llambay et al. 2018 fanden wir heraus, dass der Staubgehalt der protoplanetaren Scheibe die Typ-I-Migration von Planeten mit geringer Masse verändern kann, jedoch ist nur 1% der Masse der protoplanetaren Scheibe in Staub. Als Verbesserung des Modells könnte auch der Planet mit geringer Masse Staub akkretieren. Wir haben herausgefunden, dass die Migration von Planeten mit geringer Masse sogar ihre Richtung ändern kann, d.h. Planeten können bei starkem Staubakkretion nach außen wandern. Unser Forschungsergebnis kann große Auswirkungen auf den Prozess der Planetenentstehung haben, da Planeten aufgrund der schnellen Einwanderung des Typs I durch starke Staubsammlung eine Sternabsorbition vermeiden können.

Publikationsliste:

Publikationsverzeichnis:

Regály, Zs.; Juhász, A.; Sándor, Zs.; Dullemond, C. P., 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 419, Issue 2, pp. 1701, „Possible planet-forming regions on submillimetre images“

Regály, Zs.; Vorobyov, E., 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 471, Issue 2, p.2204, „Vortex stretching in self-gravitating protoplanetary discs“

Regály, Zs.; Vorobyov, E., 2017, Astronomy & Astrophysics, Volume 601, id.A24, „The circumstellar disk response to the motion of the host star“

Stoyanovskaya, O. P.; Vorobyov, E. I.; Snytnikov, V. N., 2018, Astronomy Reports, Volume 62, Issue 7, pp.455, „Analysis of Numerical Algorithms for Computing Rapid Momentum Transfers between the Gas and Dust in Simulations of Circumstellar Disks“

Vorobyov, Eduard I.; Akimkin, Vitaly; Stoyanovskaya, Olga; Pavlyuchenkov, Yaroslav; Liu, Haiyu Baobab, 2018, Astronomy & Astrophysics, Volume 614, id.A9, „Early evolution of viscous and self-gravitating circumstellar disks with a dust component“

Regály Zs.; Vorobyov, E. I., 2019, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, in prep., „Migration of dust accreting low-mass planet“

Abschlußbericht

Weitere Fragen zu den Ergebnissen:

1. Nutzung und Verbreitung der Ergebnisse:

Welchen konkreten Nutzen konnten Sie und Ihr Kooperationspartner aus dem Projekt gewinnen. Bitte denken Sie insbesondere an Publikationen, Experimente, gemeinsame Seminare, Sommerschools und/oder an eine anderweitige Umsetzung in die Praxis.

Wir konnten effiziente numerische Methoden entwickeln, um die Staubbynamik in protoplanetaren Scheiben zu modellieren, die zum Verständnis der Planetenbildung in unseren und extrasolaren Systemen erforderlich sind.

2. Durchführung:

Welche konkrete Änderungen gegenüber der Planung ergaben sich hinsichtlich Inhalte und Mitarbeit/Anzahl der Teilnehmer während des Projektverlaufes?

Kleinere Änderungen, bei denen nicht alle geplanten Besuche durchgeführt wurden.

3. Bewertung:

Bitte führen Sie besonders positive, aber auch negative Beobachtungen und Erfahrungen an. Ev. langfristige Auswirkungen Ihres Projektes?

Ein positiver Aspekt des Projekts ist, dass es ein Minimum an Administration erfordert.

Ein negativer Aspekt ist, dass die Anwendung nur Reise- und Übernachtungsgebühren unterstützt, keine IT-Investitionen oder Konferenzgebühren.

4. Perspektiven:

Hat sich eine Fortführung der Kooperation ergeben?

- a. Welche geplante Fortführung gibt es?
- b. Welche konkrete Fortführung gibt es?

Dieses Projekt war eine Fortsetzung von OMAA 90öu13. Unsere erfolgreiche Zusammenarbeit wird auch in Zukunft fortgesetzt.

5. Verbesserungsvorschläge:

Nenne Sie uns, Bitte, Verbesserungsvorschläge, wie Sie Ihre Arbeit oder wie wir unseren Service besser gestalten könnten?

Es wäre gut, einen Antrag auf Unterstützung der Forschung einer größeren Gruppe und einiger IT-Investitionen zu stellen.

Datum:



Antragsteller (Unterschrift)

Projektpartner (Unterschrift)