

Projektszám: <b>95öu10</b>	HUF 1 451 000 EUR 400
Pályázó neve: <b>Süli Áron</b>	Intézménye: <b>ELTE FFI Csill. Tsz.</b>
Projektpartner neve: <b>Thomas Maindl</b>	Intézménye: <b>Institute of Astronomy, University of Vienna</b>
Pályázat címe: <b>Planetáris embriók ütközése során keletkező törmelék szerepe a víz Földre történő szállításában</b>	

**A projekt jellege: (kérjük bejelölni)**

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

**Beszámoló/Eredmények**

A projekt fő célja a bolygócsírák között bekövetkező ütközésből származó törmelékek további sorsának követése, különös tekintettel arra, hogy mely égitestekbe csapódhatnak be és víztartalmuk alapján milyen mértékben járulnak hozzá annak vízkészletéhez. Ehhez szükség van a Naprendszer bolygóinak és a törmelék mozgásegyenleteinek numerikus integrálására illetve a lehetséges ütközések detektálására. Az ütközések modellezését Smooth Particle Hydrodynamics (SPH) program segítségével végeztük.

A modellezéshez a tervek szerint először 10 000 Ceres méretű (~500 km sugarú) testeket helyeztünk el egy síkban egy gyűrűben a Nap körül 1.5 és 3 CsE között. A testek Naptól mért távolságának eloszlását a Naprendszer kezdeti felületi sűrűségét leíró függvény alapján számítottuk. Ennek alapján a testek száma a Naptól távolodva hatványfüggvény szerint csökkent. A pályák lapultságát Rayleigh eloszlásból határoztuk meg, a többi pályaelem egyenletes eloszlást követett. A térbeli eset vizsgálata a 2D-os vizsgálatok után következik.

A síkbekli vizsgálatok során először az ütközési paraméterek lehetséges értékeire és azok eloszlásfüggvényeire voltunk kíváncsiak. A testek szimulációját a CUDA technológiát alkalmazó *N*-test integrátorral végeztük. A vizsgálatokról és eredményekről beszámoltam a *9th Humboldt Colloquium on Celestial Mechanics* című és a *Planet Formation and Evolution 2017* című konferenciákon. Az előbbin előadás, az utóbbin poszter formájában.

A következő lépésben megterveztük, kialakítottuk majd leprogramoztuk az *N*-test szimulátor és az SPH kódok közötti interfészeket, alkalmassá téve a programokat arra, hogy a kimeneti és bementi adatokat egymással meg tudják osztani. Ennek tesztelése sikerrel zárult.

Az SPH teszt futások vizsgálata során kiderült, hogy a pontos számításokhoz szükség van arra, hogy a kezdeti feltételek tartalmazzák az összes égitestet (ne csak az ütközőket) amihez a koordinátarendszert is transzformálni kell. A két test ütközését tehát az összes többi test gravitációs hatása mellett kell szimulálni. Az ütközést követően a keletkező törmelékről el kell dönten, hogy melyek alkotnak egy testet. Ezek hely- és sebességvektora lesz a továbbiakban az *N*-test szimuláció kezdőfeltételei. Ennek technikai kivitelezéséhez egy meglehetősen bonyolult algoritmust kellett kidolgozni és implementálni, mely sok időt vett igénybe.

A fent részletezett feladatokkal párhuzamosan elindítottuk a térbeli *N*-test szimulációkat, hogy valódi fizikai ütközéseket kapjunk és azokkal, mint kezdőfeltételekkel elindítsuk az SPH szimulációkat. A síkbeli vizsgálatokkal szemben kiderült, hogy 3D-ban, *N* = 10 000 test esetén ütközések csak nagyon ritán, 1 - 3 hónapnyi GPU idő alatt következnek be. A futások még nem fejeződtek be az eredmények deldolgozása még folyamatban van.

Publikációs jegyzék:

Publikáció:

1. Süli, Á., Regály, Zs., „*Statistics of collisional parameters computed from 2D simulations*”, submitted to MNRAS for publication

Konferencia:

1. The influence of realistic SPH collision models on n-body planet formation has been showcased by T. I. Maindl in his contributions to the European Planetary Science Congress (EPSC) 2017 in Riga, Latvia (Poster) and the AAS/Division of Planetary Sciences Meeting (DPS) 49 in Provo, UT, USA (interactive ePoster).
2. The statistical distribution of the collisional parameters were presented by Áron Süli at the Planet formation and Evolution Conference Series held in Jena in September 2017.
3. Christoph Burger presented his results about water transport- and loss in collision events at the European Planetary Science Congress in September 2017 in Riga, and at a workshop entitled Water During Planet Formation and Evolution in February 2018 in Zürich.

Projektnummer: <b>95öu10</b>	HUF 1 451 000 EUR 400
Antragsteller: <b>Áron Süli</b>	Institut: <b>ELTE FFI Csill. Tsz.</b>
Projektpartner: <b>Thomas Maindl</b>	Institut: <b>Institut für Astrophysik, Universität Wien</b>
Titel: <b>Die Rolle von Kollisionstrümmern von planetaren Embryos für den Wassertransport auf die Erde</b>	

**Art der Förderung:**

- Workshop, Konferenz
- Publikation, Lehrmaterial
- **Forschungszusammenarbeit**
- Unterrichtsprojekt

**Bericht**

Das Projektziel ist die Verfolgung der Evolution von Kollisionstrümmern von planetaren Embryos, mit besonderem Fokus darauf mit welchen Himmelskörpern sie später kollidieren können und in welchem Ausmaß sie zu deren Wassergehalt beitragen. Zu diesem Zweck ist es notwendig die Bewegungsgleichungen der Planeten im Sonnensystem sowie jene der Trümmer numerisch zu lösen, und die möglichen Kollisionen zu detektieren. Wir modellieren diese Kollisionen mittels Smooth Particle Hydrodynamics (SPH).

Gemäß unseren Plänen enthalten die Modelle zunächst 10.000 Objekte von der Größe von Ceres (Radius ~500 km) in einem Ring zwischen 1,5 und 3 Astronomischen Einheiten (AE) um die Sonne, alle in einer Ebene. Die Verteilung der Sonnenabstände dieser Körper folgt der anfänglichen Oberflächendichte im Sonnensystem. Die Anzahl der Körper nimmt nach einem Potenzgesetz mit dem Abstand ab. Die Bahnneigungen folgen einer Rayleighverteilung, die übrigen Bahnelemente sind gleichverteilt. Nach der Untersuchung des ebenen (2D) Falls folgt die Analyse des räumlichen (3D) Falls.

Im 2D Fall waren wir zuerst an den möglichen Werten der Kollisionsparameter und an deren Verteilungsfunktionen interessiert. Diese Simulationen führten wir mit einem N-Körper Integrator unter Verwendung der CUDA Technologie durch. Von diesen Untersuchungen und den Ergebnissen berichtete ich bei den Konferenzen *9th Humboldt Colloquium on Celestial Mechanics* und der *Planet Formation and Evolution 2017*. Bei ersterer Konferenz hielt ich einen Vortrag, bei letzterer zeigte ich ein Poster.

Im nächsten Schritt planten und programmierten wir das Interface zwischen dem N-Körper Simulator und dem SPH Code, womit wir die Programme in die Lage versetzten die Ein- und Ausgabedaten miteinander zu teilen. Das Testen der Programme war erfolgreich.

Im Lauf der SPH Testrechnungen stellte sich heraus, dass es für eine genaue Berechnung notwendig ist die Anfangsbedingungen aller Körper (und nicht nur jene der kollidierenden) zu behalten, wofür das Koordinatensystem ebenfalls transformiert werden muss. Das bedeutet, dass die Kollision der beiden Körper unter Berücksichtigung der gravitativen Kräfte aller anderen Himmelskörper simuliert werden muss. Nach dem Zusammenstoß muss für alle Fragmente analysiert werden, welche davon zusammen gehören. Deren Orts- und Geschwindigkeitsvektoren werden im Anschluß zu den neuen Anfangsbedingungen im N-Körper Simulator. Für die technische Ausführung war die Ausarbeitung eines komplexen Algorithmus notwendig, dessen Implementierung viel Zeit beansprucht hat.

Parallel zu den oben beschriebenen Aufgaben begannen wir auch die 3D N-Körper Simulationen, damit wir realistische physikalische Kollisionen erhalten und mit diesen neuen Anfangsbedingungen weitere SPH Simulationen durchführen. Im Gegensatz zu den 2D Untersuchungen stellte sich heraus, dass im 3D Fall für  $N = 10.000$  Körper es nur selten zu Zusammenstößen kommt, im Durchschnitt nur einmal pro 1-3 Monate GPU Simulationszeit.

Publikationsliste:

1. Süli, Á., Regály, Zs., „*Statistics of collisional parameters computed from 2D simulations*“, eingereicht zur Publikation bei MNRAS

Konferenzbeiträge:

1. T. I. Maindl verdeutlichte den Einfluss von realistischen SPH-Kollisionsmodellen auf N-Körper-basierte Planetenentstehung im Rahmen seiner Beiträge zum European Planetary Science Congress (EPSC) 2017 in Riga, Latvia (Poster) und zum the AAS/Division of Planetary Sciences Meeting (DPS) 49 in Provo, UT, USA (interaktives ePoster).
2. Die statistische Verteilung von Kollisionsparametern wurde von Áron Süli auf der Planet formation and Evolution Conference Series im September 2017 in Jena präsentiert.
3. Christoph Burger präsentierte seine Ergebnisse zu Wassertransport- und Verlust bei Kollisionsereignissen auf dem European Planetary Science Congress im September 2017 in Riga, und bei einem Workshop zum Thema Water During Planet Formation and Evolution im Februar 2018 in Zürich.

## **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.

*Im Zuge des Projektes konnten wir wertvolle Erfahrungen bezüglich des Zusammenwirkens von N-body Simulationen (große räumliche und zeitliche Skalen) und den einzelnen SPH Kollisionssimulationen (relativ kleine räumliche und zeitliche Skalen) gewinnen, und die entsprechenden Softwaretools dazu weiterentwickeln.*

*Damit verbundene Ergebnisse wurden zur Publikation bei MNRAS eingereicht, und auch auf mehreren Konferenzen und Workshops in Deutschland, Lettland, der Schweiz und den USA präsentiert.*

*Darüber hinaus war der 3-wöchige Forschungsaufenthalt von Christoph Burger in Budapest hilfreich für die Projekt- und auch die persönliche Zusammenarbeit.*

#### **2. Durchführung:**

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

*In dieser Richtung haben sich keine Änderungen ergeben.*

#### **3. Bewertung:**

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

*Die gesammelten Erfahrungen und weiterentwickelten Software-tools werden uns auch bei unserer zukünftigen Arbeit sehr von Nutzen sein.*

#### **4. Perspektiven:**

Hat sich eine Fortführung der Kooperation ergeben?

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

*Die Kooperation zwischen unseren Gruppen in Wien und Budapest besteht seit vielen Jahren und wird auch in Zukunft weiter aktiv vorangetrieben werden.*

#### **5. Verbesserungsvorschläge:**

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

*Wir sind sehr zufrieden mit der Unterstützung durch OMAA.*

Datum: 2018.11.23.

---

Antragsteller (Unterschrift)

---

Projektpartner (Unterschrift)