

Zsuwanie się gruntu, albo materiału skalnego jest na Ziemi powszechne. Szczególnymi rodzajami sływów są lawiny śnieżne, czy błotne. W warunkach słabego pola grawitacyjnego, jak na powierzchni komet zsuwanie się materiału było uważane za mało prawdopodobne, albo niemożliwe. Jednak w ostatnich latach misje kosmiczne pozwoliły zidentyfikować możliwe osuwiska na powierzchniach małych komet 9P/Tempel 1 i 67P/Churyumov-Gerasimenko o efektywnych średnicach kilku kilometrów [5,7], jak również na powierzchniach asteroidów Ceres i Vesta [3,4]. W przypadku komety 9P/Tempel 1 możliwość pływnięcia powierzchniowych warstw materiału została wykazana przy pomocy symulacji komputerowych [1] dopiero 4 lata po stwierdzeniu istnienia struktury o wyglądzie sugerującym powstanie w wyniku sływu.

Na małych ciałach kosmicznych, gdzie istnienie jakiegokolwiek cieczy na powierzchni jest niemożliwe, mechanizmy sływu materiału muszą być inne niż na Ziemi. Ziarnisty materiał może zacząć płynąć kiedy zostanie nasycony cieczą, co miewa miejsce na Ziemi, ale także kiedy wypływ gazu z głębszych warstw spowoduje powstanie mieszaniny gazu i stałych ziaren. Inicjalizacja sływu może nastąpić w wyniku wstrząsów sejsmicznych, ale także w wyniku uderzeń meteoroidów. Na powierzchnię Ziemi dociera mało meteoroidów, ale w przypadku komet i innych ciał kosmicznych pozbawionych atmosfery (Księżyc), albo posiadających bardzo rzadką atmosferę (Mars) jest inaczej. Tak więc istnieją pewne analogie pomiędzy procesami sływu na Ziemi i na małych ciałach kosmicznych, ale przy analizie procesów odpowiedzialnych za powstanie niestabilności i inicjalizację sływu, jak również osadzania płynącego materiału należy uwzględnić dramatyczne różnice warunków fizycznych.

Symulacje komputerowe opisane w [1] dotyczą wielkoskalowego sływu warstwy o grubości dziesiątków metrów, upłynnionej na skutek gwałtownego wydzielania gazowego tlenku węgla podczas silnie egzotermicznej krystalizacji amorficznego lodu wodnego. Niestety, obecność lodu amorficznego we wnętrzach jąder komet jest niepewne. Tak więc istnieje konieczność zarówno badania innych przyczyn powstawania niestabilności, jak również procesów małoskalowych.

W planowanym projekcie zamierzamy przeprowadzić badania warunków koniecznych do suchego sływu ziarnistego materiału po nachylonych powierzchniach komet i asteroidów. Głównym problemem jest źródło energii potrzebnej do wzrostu ciśnienia gazu pod warstwą materiału. Powierzchnie jąder komet są pokryte warstwą pyłu, piasku i grubszych frakcji materiału, tradycyjnie nazywanego płaszczem pyłowym. Głębiej znajduje się mieszanina ziaren materiału nielotnego, lodu wodnego i innych związków chemicznych o różnej lotności. Materiał ten może być ogrzewany na skutek absorpcji promieniowania słonecznego, jak również w wyniku wydzielania ciepła na większej głębokości. Może to być spowodowane oddziaływaniami pływowymi, jak również rozpadem pierwiastków promieniotwórczych. Oba procesy mogą być istotne tylko w wnętrzach dużych asteroidów, księżyców i wielkich komet. Na małej komecie możliwe jest ogrzewanie powierzchni i wydzielanie ciepła we wnętrzu w wyniku przemian fazowych (krystalizacja lodu amorficznego). Wydzielane ciepło może powodować sublimację lodu wodnego, silnie zależną od obecności w lodzie domieszek [2]. Jeżeli sublimacja jest wystarczająco intensywna może nastąpić upłynnienie płaszcz pyłowego.

Planujemy pomiary laboratoryjne, w próżni i pod normalnym ciśnieniem, oraz symulacje komputerowe.

(1) Eksperymenty prowadzone w komorze próżniowej mogą pokazać: jak obecność związków chemicznych w lodzie wodnym wpływa na szybkość wydzielania gazu podczas sublimacji, oraz jak granulacja materiału przykrywającego lód i nachylenie powierzchni wpływają na zsuwanie się materiału i odkrywanie lodu. Planujemy badanie 2 sytuacji:

- ziarnisty nielotny materiał (pył, piasek) z lodem, na materiale nielotnym, oraz
- ziarnisty nielotny materiał na lodzie, albo materiale zawierającym lód.

Planujemy też eksperymenty w warunkach normalnych w większej skali.

(2) Symulacje komputerowe mogą wskazać miejsca na powierzchni analizowanego ciała kosmicznego, gdzie sublimacja ma szansę spowodować sływ materiału, oraz zasięg sływu. Mogą być analizowane także konsekwencje odkrycia lodu dla przebiegu procesów geologicznych.

Pomiary laboratoryjne, oraz symulacje komputerowe zamierzamy wykonać przy użyciu posiadanego sprzętu.

[1] Belton M. J.S., Melosh J. (2009). *Icarus* 200 (2009) 280-291. *MNRAS* 469, 73-83. [2] Kossacki et al. (2017). *Icarus* 294, 227-233. [3] Krohn et al. (2014). *Icarus* 244, 120-132. [4] Nathues et al. (2017). 154:84 (13pp). [5] Veverka J., et al., (2013). *Icarus* 222, 424-435, [6] A'Hearn et al. (2005). *Science* 310, 258-264, [7] Basilevsky A., et al. (2017) *PSS* 137, 1-19.