



ELTE TTK FIZIKA DOKTORI ISKOLA
RÉSZECSKEFIZIKA ÉS CSILLAGÁSZAT PROGRAM

Féléves beszámoló - 1. félév

PÁL Bernadett



2018. január 8.

1. Bevezetés

BSc-s szakdolgozatomban korábbi és tervezett jövőbeli marsszonda leszállóhelyeket vizsgáltam arra vonatkozóan, hogy átlagosan milyen időszakokban valószínű folyékony H₂O megjelenése. Ehhez különböző sók, Mg(ClO₄)₂, Ca(ClO₄)₂ és CaCl₂ viselkedését vizsgáltam, melyek erősen higroszkópos jellegükből fakadóan képesek megváltoztatni a H₂O fagyási hőmérsékletét és jóval alacsonyabb szintre csökkenteni azt. Azokban az időszakokban, mikor a légköri páratartalom és a hőmérséklet adott a kicsapódáshoz, elfolyósodás (*deliquescence*) következhet be, melynek során ideiglenesen cseppfolyós H₂O jelenik meg a szemcsék felületén. A szakdolgozatom eredményei alapján látszott, hogy a legtöbb helyen nem a nappal, hanem az éjszaka eleje és vége alkalmas a cseppfolyós fázis megjelenéséhez. Ilyenkor a légkörből a vízpára egy része a marstalajra kondenzálódik és ott megfagy, vékony jégréteget képezve. A perklorátok azonban erősen abszorbensek, sósvizes anyagcsomókat (*brine*) képeznek a felszínen, és az az alatti körülbelül 5 centiméteres rétegben, mely vékony, cseppfolyós halmozállapotú bevonatot alkot. Ezen munka folytatásaképpen a doktori kutatási tervem első lépéseként globális térképet szeretnék készíteni. Ennek segítségével megvizsgálható lenne, mely helyeken várható elfolyósodás, milyen időpontokban, napszakokban, illetve felfedezhető-e trendek az ideális körülmények előfordulásában. Ehhez kezdetnek a relatív nedvességtartalmat kellett meghatároznom bolygószerre.

2. Az aktuális félév eredményei

2.1. Globális térkép

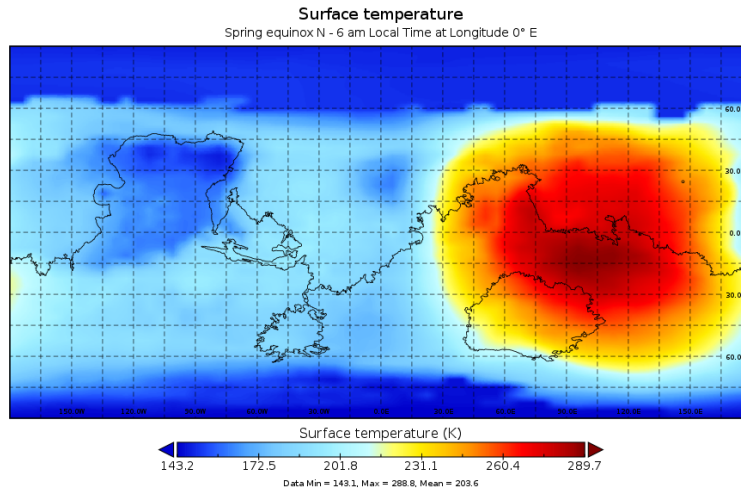
Félév elején a Mars Climate Database (MCD) teljes verziójával foglalkoztam. Az MCD egy légköri statisztikai adatbázis, melyet a marsi atmoszféra Global Climate Model (GCM) szimulációi alapján készítettek (Millour et al., 2015; Forget et al., 1999). A légkör relatív nedvességtartalmának kiszámításához a következő képletet használtam:

$$Q_{sat} = \frac{100}{P} \cdot 10^{2.07023 - 0.00320991 \cdot T - 2484.896/T + 3.56654 \cdot \lg(T)} \quad (1)$$

ahol P a légnyomás (Pa), T a hőmérséklet (K). A kapott értékkel a vízpára keveredési arányát (mol/mol) elosztva megkapható a relatív nedvességtartalom. A vízpára keveredési arányát is az MCD-ből vettem. A teljes MCD modellhez scripteket írtam, melyek segítségével teljes évre tudtam modellezni adott meridionális sávokat, tetszőleges felbontással. Ez időigényes folyamat volt, de megfelelően működött, mely onnan is látszik, hogy a modell online elérhető verziójával közel megegyező ábrákat kaptam.

Október 8-13-áig Párizsban voltam a Universite Paris Laboratoire de Meteorologie Dynamique kutatólaborjában, Dr. Francois Forget vendégkutatójaként. Erre a TD1308-as COST Action (Origins and evolution of life on Earth and in the Universe) pályázatán nyertem támogatást. Itt szűk egy hétig dolgoztam a kutatólaborban, sok hasznos ismeretségre tettem szert, valamint a PhD kutatásom is jelentősen haladt előre. Az első nap kiderült, hogy a globális térkép előállításához nem alkalmas az MCD, mert az a GCM modell számításai alapján 12 átlagos napot készít 1 marsi évre. Mikor teljes évet próbáltam vele szimulálni, akkor valójában ezt a 12 átlagos napot interpoláltam, ahelyett, hogy az eredeti adatokkal dolgoztam volna. Ezért Francois-tól megkaptam a GCM adatait, NetCDF formátumban. Ez számomra ismeretlen adatfájl típus volt, ezért egy ottani kutatóval együtt dolgozva megtanultam bánni ezekkel a fájlokkal, beolvasni őket, módosítani, újat készíteni. Ehhez C, illetve C++ nyelven programoztam. A

NetCDF formátum egyik legnagyobb előnye volt számomra, hogy mennyi adatot képes eltárolni. Tulajdonképpen mini adatbázisoknak tekinthetők, benne a teljes Marsfelszínre számított hőmérséklet, légnyomás és rengeteg további értékkel. A NASA fejlesztette Panoply ¹ programot is Francois ajánlotta, amivel pár kattintással kiváló térképeket lehet készíteni a NetCDF adatfájlokból, egy példa látható az 1. ábrán.



1. ábra. A NetCDF adatfájlban egy teljes év összes adata el van tárolva, itt látható ebből egy „pillanatfelvétel”. Az ábrán 0° E hosszúságon reggel 6 óra van helyi időben, a rácsoknak megfelelően ettől az ábrán jobbra később, balra korábbi időpontok értelmezhetőek helyi időben. A felszíni hőmérséklet alakulásából jól látható, a bolygón épp hol van nappal.

2.2. Relatív nedvességtartalom

Párizsi látogatásom során Francois javaslatára, mivel a GCM nem tud a marsi felszín felett kb. 4 méternél lejjebb számolni vízpára keveredési arányt, 3 esetet állítottunk fel a légkör telítettségének megvizsgálására közvetlen a marstalaj felett:

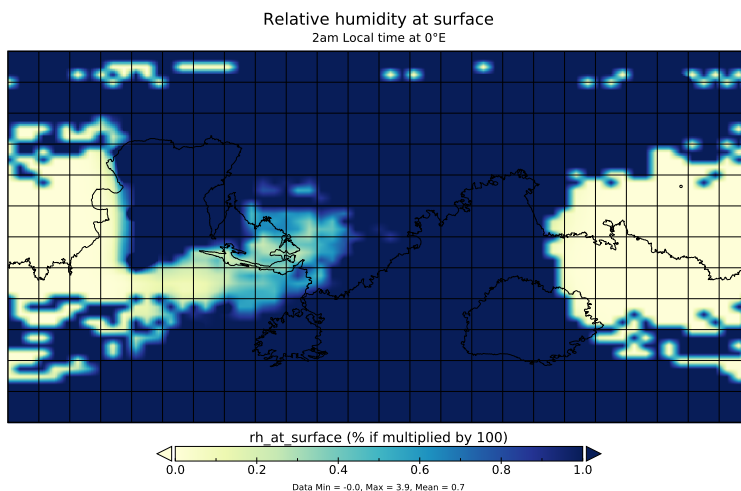
1. $Q_1 > Q_{\text{sat}}(T_{\text{surf}}) \rightarrow Q_0 = Q_{\text{sat}}(T_{\text{surf}})$
2. $H_2O \text{ ice on surface} > 0 \rightarrow Q_0 = Q_{\text{sat}}(T_{\text{surf}})$
3. ha sem 1 sem 2 nem igaz $\rightarrow Q_0 = Q_1$

tehát, ha az első magasságon, ahol már van GCM adat (Q_1 , ez legtöbb esetben kb. 4 méterrel a felszín felett) a vízpára keveredési arány magasabb, mint a felszíni hőmérséklettel számított szaturációs vízpára keveredési arány (Q_{sat}), vagyis ha az első légrétegen telített a légkör, akkor feltételezzük, hogy a felszínen is telített. Második esetben feltesszük, hogy ha vízjég található a felszínen, akkor ott „automatikusan” telítettnek vesszük a légkört. Harmadik esetben, azaz, ha az első magasságon nincs telítés, illetve vízjég sincs a felszínen, akkor feltesszük, hogy a felszín és az első magassági szint közt homogéne elkeveredett a vízpára. Ebben az esetben az első magasságon számított vízpára keveredési arány értéket érvényesnek

¹<https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>

vehetjük a felszínre is. Miután Q_0 -t meghatároztuk, a felszíni relatív nedvességtartalom a 1. egyenlet segítségével számítható:

$$RH = \frac{Q}{Q_{\text{sat}}} \quad (2)$$

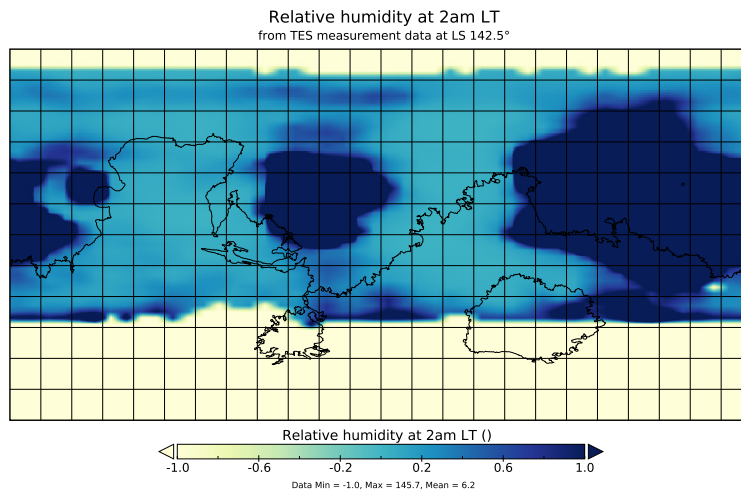


2. ábra. Relatív nedvességtartalom 0°E hosszúságon hajnali 2 órakor, északi tavaszi napéjegyenlőségkor, a talajon számított hőmérséklet és légnyomás adatokkal, a fenti szempontok szerint vizsgálva, a túltelíttség figyelmen kívül hagyásával. Itt az látható, hogy a nappali területeket leszámítva gyakorlatilag mindenhol telített a légkör a marstalaj felett közvetlenül.

2.3. TES mérési adatok

A GCM fájllokból számított relatív nedvességtartalom térképek meglepően nagy területeken mutatnak telített, illetve túltelített légkört, ezért ellenőrzésképpen szerettem volna mérési adatokkal összevetni az eredményeinket. Ehhez Michael D. Smith² segítségét kértem a Mars Global Surveyor szonda hőemissziós spektrométerének (MGS TES) adatainak hozzáférésehez. Először kértem tőle jobb felbontású adatokat, melyek 5° Ls-enként, 3° szélességenként és 7.5° hosszúságonként tartalmaznak mérési adatokat a relatív nedvességtartalom számításához. Az Ls itt a *solar longitude* rövidítése, mely segítségével megadható, hogy a bolygó hol található a Nap körüli pályáján. Az MGS TES közel poláris, kötött pályán kering, így mindig közel azonos helyi időkből figyel meg, a nappali oldalon mindenhol kb. délután 2, az éjszakain mindenhol kb. hajnali 2-kor. A TES mérési adataiból is NetCDF adatfájlt készítettem, ennek a problémának a megoldásához több C++ programot írtam. Egy példa TES mérési adatsorból kapott relatív nedvességtartalom térkép a 3. ábrán látható.

²michael.d.smith@nasa.gov



3. ábra. A TES űrszonda mérési adataiból számított relatív nedvesség tartalom, helyi időben hajnali 2 órakor, túltelítettség figyelembe vétele nélkül. A „-1” adathiányt jelöl, mely vagy valamilyen TES mérési adat hiányát, vagy a felső, alsó sávok esetében a kondenzációs magasság (Smith, 2002) értékének hiányát jelenti.

3. Tanulmányok

A félévben végzett egyetemi kurzusaim:

- Pulzáló változócsillagok és megfigyelésük (FIZ/2/115E)
- Rádiócsillagászat I. EA (FIZ/2/032E)
- Haladó informatika a csillagászatban I. EA (FIZ/2/031E)

4. Publikációk

- An Essential Guide to Astrobiology (Nova Publisher) könyv Searching for Liquid Water on the Surface of Present-day Mars fejezet szerző, belküldve, elbírálás alatt
- Icarus cikk kéziratának írása folyamatban a relatív nedvességtartalom globális alakulásáról

5. Vendégkutatás

- 2017.10. 08 - 13. Párizs, COST Origins and evolution of life on Earth and in the Universe pályázata által támogatott kutatómunka a Paris University meteorológiai kutatólaborjában, Dr. Francois Forget vezetésével

Hivatkozások

- F. Forget, F. Hourdin, R. Fournier, C. Hourdin, O. Talagrand, M. Collins, S. R. Lewis, P. L. Read, and J.-P. Huot. Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to above 80 km. *J. Geophys. Res.*, 104:24155–24176, October 1999. doi: 10.1029/1999JE001025.
- E. Millour, F. Forget, A. Spiga, T. Navarro, J.-B. Madeleine, L. Montabone, A. Pottier, F. Lefevre, F. Montmessin, J.-Y. Chaufray, M. A. Lopez-Valverde, F. Gonzalez-Galindo, S. R. Lewis, P. L. Read, J.-P. Huot, M.-C. Desjean, and MCD/GCM development Team. The Mars Climate Database (MCD version 5.2). *European Planetary Science Congress*, 10:EPSC2015-438, October 2015.
- M. D. Smith. The annual cycle of water vapor on Mars as observed by the Thermal Emission Spectrometer. *Journal of Geophysical Research (Planets)*, 107:5115, November 2002. doi: 10.1029/2001JE001522.