

AZ ÉGBOLT HŐMÉRSÉKLETÉNEK MÉRÉSE AZ ÜVEGHÁZHATÁS VIZSGÁLATÁRA A FIZIKATANÁROK CERN-I TANULMÁNYÚTJÁN

Riedel Miklós – ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

Barta Zsuzsanna – Kecskeméti Főiskola Petőfi Sándor Gyakorló Iskolája

Az infravörös hőmérő lehetőséget ad arra, hogy meg nem közelíthető, távoli tárgyak hőmérsékletét is meg tudjuk mérni. Így például az égbolt felé fordítva megmérhetjük a troposzféra átlagos hőmérsékletét, és ezáltal tájékoztató információkat szerzünk az üvegházhatásról, vagy a települések környezetében fellépő hőszennyezésről. A felhők hőmérséklete pedig a vízgőz kondenzációjára, a harmatpontra szolgáltat adatokat. A fizikatanárok 2012. évi CERN-i tanulmányútja során több ilyen mérést is végeztünk, erről számolunk most be.

Elméleti háttér

A légkörön kívül a világűrben a hőmérséklet körülbelül -270 °C körül van, az égbolt mért hőmérséklete ennél sokkal magasabb, nappal és éjszaka egyaránt. A földfelszín, valamint a felhők hőmérséklete még ennél is jelentősen nagyobb. A jelenség oka a légköri üvegházhatás, ami a sugárzásátviteli folyamatokon keresztül alakítja a felszín és a légkör energiaháztartását. Az üvegházhatású gázok – mint a troposzférában (10–15 km magasságig) jelen lévő vízgőz – abszorbeálják a földfelszín által kisugárzott infravörös (IR) sugárzás egy részét, így végeredményben a Föld hőmérséklete az élhető zónában marad, mert e hatás nélkül a Föld átlagos hőmérséklete -30 °C körül lenne (*J. Tyndall*, 1863 [1]). A vízgőz a legfontosabb üvegházhatású gáz, ehhez járul a részben antropogén eredetű szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, az ózon és más gázok, további üvegházhatást okozva. Az 1. táblázat a legfontosabb légköri gázok hozzájárulását mutatja a természetes üvegházhatáshoz az általuk okozott hőmérséklet-emelkedés értékével, valamint az effektushoz való százalékos hozzájárulással. A levegő fő komponensei (nitrogén és oxigén) az energiacsere folyamatában jelentéktelen szerepet játszanak. A víz speciális szerepe az üvegházhatásban a molekula dipólus-momentumának, kis tehetetlenségi nyomatékának, bonyolult rezgésienergia-szerkezetének tulajdonítható [3]. Ez mutatkozik meg a víz igen jelentős abszorpciósi spektrumában is az infravörös-tartományban.

A mérésben részt vettek: *Riedel Miklós* (vezető), *Barta Zsuzsanna*, *Gyarmatiné Iváncsik Judit*, *Hajdú Hajnal*, *Horváth Krisztina*, *Kovács Levente*, *Kulcsár Gáborné Erdei Éva*, *Péter András Ede*, *Tóth Katalin*, *Tulkán Zsolt*.

Köszönetet mondunk *Weidinger Tamás*nak (ELTE Meteorológiai Tanszék) a szakmai tanácsokért és *Szillási Zoltán*nak (ATOMKI, CERN) az infravörös kamera bemutatásáért és a mérésekért.

Mérési feladatok, kísérleti eszközök

A feladat az égbolt látszólagos hőmérsékletének mérése volt a teljes égbolton keresztül, a horizonttól mért szög függvényében, tiszta égbolt esetén. A szögfüggés információt ad a víz által okozott üvegházhatásra, továbbá a horizonthoz közel a talajközeli légrétegek hőmérsékletére (ez felel meg a levegő szokásos értelemben vett hőmérsékletének), és esetleg a települések által okozott „hőszennyezésre” is utal [4].

Az infravörös hőmérő érintésmentes hőmérsékletmérést lehetővé tevő műszer (non contact temperature measurement) [5, 6]. A hőmérsékletet a tárgy által a 8–14 μm tartományban kisugárzott infravörös energia alapján határozza meg; az objektum felületi hőmérsékletét méri. A műszer érzékelője a tárgy által kibocsátott, róla visszavert hősugárzást érzékeli, és ezt az információt hőmérsékletértékre alakítja át. Mivel a műszer a tárgy felületi hőmérsékletét méri, ezért például az üvegen nem „lát” át, az üvegen is a felületi hőmérsékletét adja meg. Egy felület infravörös-sugárzása függ a tárgy kibocsátóképességétől is (fényesen tükröző felületről az úgynevezett abszolút fekete testig). Ezt az IR hőmérővel való mérésnél az empirikusan definiált „emissziófaktor” veszik figyelembe [7]. (Ehhez pontosabb fizikai fogalmak is rendelkezhetők, de ezeket itt nem tárgyaljuk.) Minél nagyobb ez az érték, annál jobban képes a tárgy felülete az IR sugárzás kibocsátására. Fémfelületek vagy csillag, illetve fehér anyagok emissziófaktorai alacsonyabbak. Ez azt jelenti, hogy hiába magas a hőmérséklete, ezt nem, vagy csak gyengén „jelzi” az infravörös sugárzás kibocsátásával. Fekete és érdes felületek emissziófaktorai nagyobbak (2. táblázat). Sok anyag és felület emissziófaktorai 0,95, ezért a műszereken általában ez az alapbeállítás.

gáz	hőmérsékleti (ΔT) hozzájárulás (K)	százalékos hozzájárulás
H ₂ O	20,6	62,4
CO ₂	7,2	21,8
O ₃	2,4	7,3
N ₂ O	1,4	4,3
CH ₄	0,8	2,4
egyéb	0,6	1,8

2. táblázat

A Voltcraft IR 1200-50D hőmérő gépkönyve alapján megadott közelítő emissziófaktorok

anyag	emissziófaktor
aszfalt	0,90–0,98
ember bőre	0,98
föld	0,92–0,96
habarcs	0,89–0,91
jég	0,96–0,98
tégla	0,93–0,96
víz	0,92–0,96

Az eszköz különösen hasznos forró, nehezen hozzáférhető, távoli vagy mozgó tárgyak hőmérsékletének mérésénél, így az égbolt hőmérsékletének a földfelszínről való tanulmányozására is. A mérendő felület nagyobb kell legyen, mint a hőmérő mérőfoltja. Ezt a hőmérőre jellemző arányszám alapján lehet megállapítani. Például a 6/1 arány azt jelenti, hogy a hőmérő 1 m távolságban egy 1/6 m átmérőjű foltot „lát”, ennek átlagos hőmérsékletét méri meg.

Ismert, hogy a légkör valóságos hőmérséklete változik a tengerszint feletti magassággal. A légköri hőmérséklet-méréseknél az infravörös hőmérő által mutatott adat átlagérték, a hőmérő által befogott kúp térrész (levegő) hőmérsékletének átlaga. Ezt a látszólagos hőmérsékletet nevezzük a továbbiakban az „égbolt hőmérsékletének”, és ezt hasonlítjuk össze a különböző körülmények között.

A feladathoz Voltcraft IR 1200-50D IR hőmérőt használunk. Ennek mérési hőmérséklet-tartománya: -50 – 1200 °C, pontossága körülbelül ± 2 °C, távolság/folt aránya 50/1, azaz 1 km esetén 20 m. Az emissziófaktor a menürendszeren keresztül beállítható, erre azonban az égbolt tanulmányozása során nincs szükségünk (sőt lehetőségünk sem, hiszen nem is-

2. ábra. Mérés az infravörös hőmérővel (balra) és párhuzamos mérés a hőkamerával és az IR hőmérővel (jobbra).



1. ábra. A hőmérő az irány beállítására szolgáló szögmérővel.

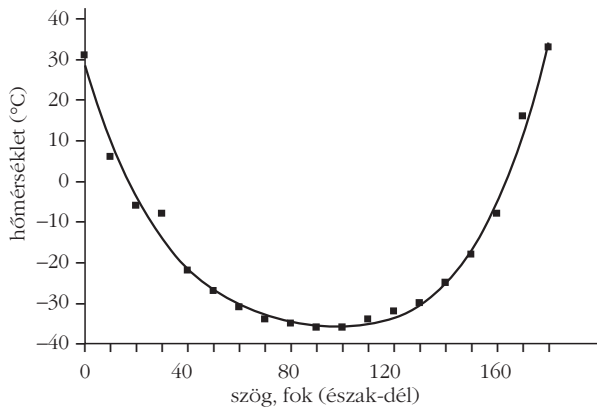
merjük ezt az adatot). A horizonttól mért szöget az IR hőmérő oldalára erősített egyszerű szögmérővel és függőzsinórrel állíthatjuk be (1. ábra).

Mérések, eredmények és tapasztalatok

2012. augusztus 14-én, a késő délutáni órákban (17 h) a CERN területén mértük az égbolt látszólagos hőmérsékletét a horizonttól (0°) a zeniten (90°) át az átel-lenben lévő horizontig (180°) 10° -os lépésekben. A pásztázás az északkeleti (22°) – délnyugati irányban történt. Az égbolt teljesen felhőmentes volt. Az eszköz árnyékban állt, ugyanis ügyelni kell arra, hogy ne érje hosszan tartó napsugárzás, a Nap felé fordítani pedig

tilos! A mérések figyelmet és több ember gondos együttműködését kívánták meg, az előre elkészített táblázat megkönnyítette az adatgyűjtést (2. ábra).

A mérési pontokra empirikus alapon negyedfokú görbét illesztettünk (3. ábra). A várakozásnak megfelelően a horizonthoz közel a hőmérséklet magasabb, mint a zenit közelében ($+30$, illetve -35 °C), hiszen a troposzférában (a légkör alsó, hozzávetőlegesen 10–12 km-es rétege) a hőmérséklet csökken a magassággal, s a felszínközeli légkörben a felszín, illetve az épített környezet hatása is meg-



3. ábra. Az égbolt látszólagos hőmérséklete a zeniten keresztül.

mutatkozik. A földközeli hőmérséklet megfelelt a levegő napi hőmérsékletének. A felhőmentes éjszakai égbolt hőmérséklete augusztus 16-án 20:45-kor ugyancsak -32 °C volt.

Augusztus 17-én 12 órakor hőkamerás (FLUKE ti25) és infravörös hőmérős egyidejű észlelést végeztünk 84° -os keleti irányban a $0\text{--}50^\circ$ horizont feletti magasságtartományban. A hőkamera képe függőlegesen körülbelül 20° -os szöget fog be. A 4. ábrán a kamera felvételeit és a kép közepén mért függőleges hőmérsékletprofil mutadjuk be. Az égbolt teljesen fel-

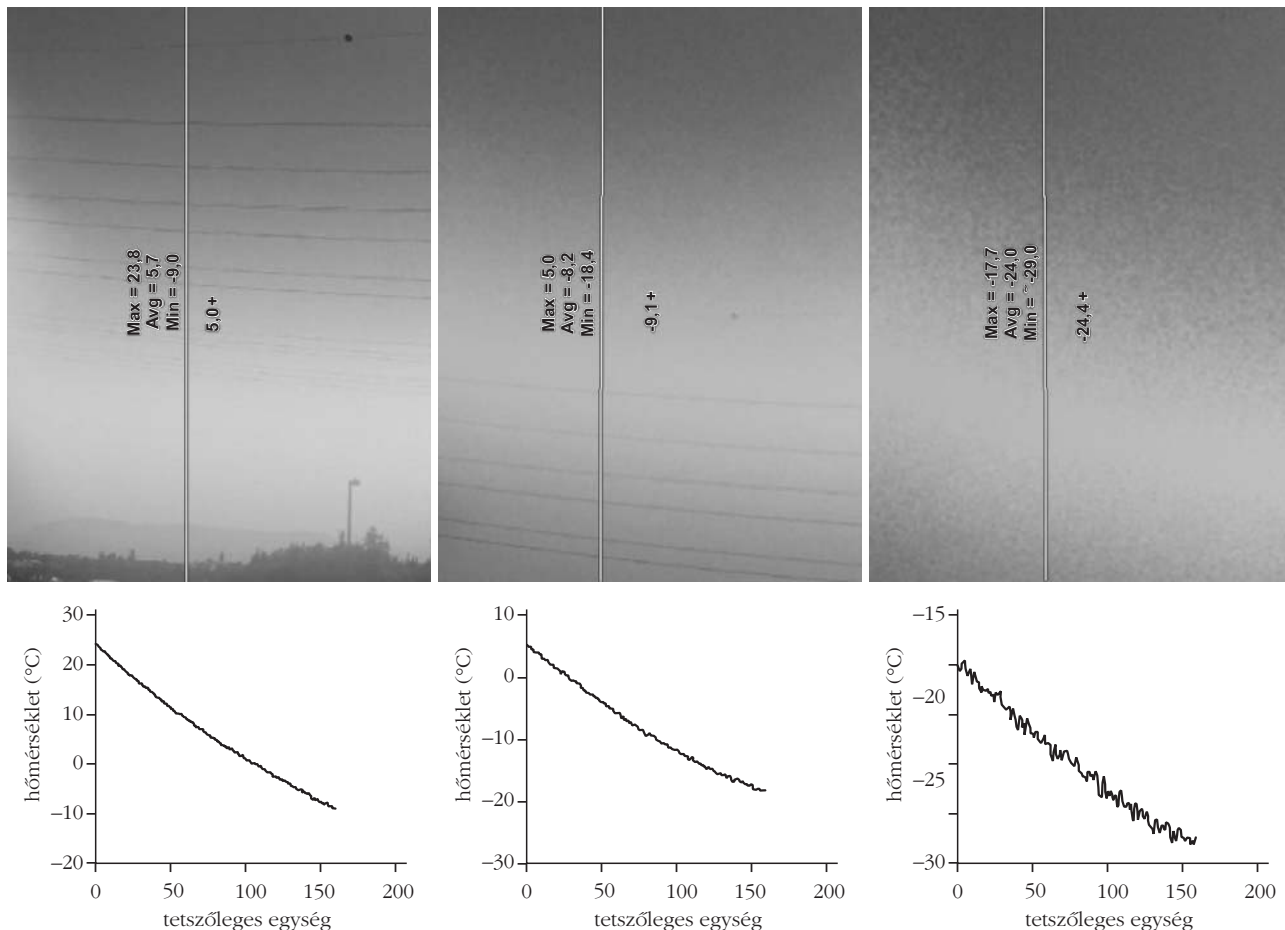
hőmentes volt. Látható, hogy a hőkamerás felvételek ugyanazt a tendenciát mutatják az égbolt hőmérsékletére és ezáltal az üvegházhatásra, mint ami az IR hőmérővel volt megfigyelhető.

Tanulságok, megfontolások az oktatásban való alkalmazhatóságra

Az üvegházhatásra vonatkozó kísérletek és elméleti tények hozzájárulhatnak azon hibás, köznapi – a médiából is félreértelmezhető – információ korrigálásához, miszerint az üvegházhatású gázok közül a széndioxid a legjelentősebb. Természetesen a széndioxid, a metán, a dinitrogén-oxid növekvő kibocsátása, az emberi tevékenység üvegházhatást növelő(!) hatása az egyik legfontosabb éghajlati kérdés, de nem felelkezhetünk meg arról, hogy a természetes üvegházhatás kialakításában a főszereplő, és a sok millió éves stabilitást biztosító anyag (vegyület) a víz.

Ma már egészen olcsó, és az iskolai célnak teljesen megfelelő infravörös hőmérők kaphatók. Kezelésük egyszerű, alkalmasak több érdekes – a természettudományok közös területeit érintő – diák projekt munka elvégzésére is. Már általános iskolában szerepel a fizika tananyagban a hősugárzás, mint az energiaát-

4. ábra. A hőkamera képei a függőleges hőmérsékletprofillal a horizonttól mért $0\text{--}20^\circ$ (balra), $10\text{--}30^\circ$ (középen), $30\text{--}50^\circ$ (jobbra) szögtartományban. A felvételeket Szillási Zoltán készítette.



adás egyik formája. A tanulók egyszerű kísérlettel tapasztalatot szereznek a felületi minőség és a színének befolyásoló szerepéről a két véglet esetében. Ezt egészítheti ki, és a fogalom megértését segítheti az IR hőmérővel végzett mérésorozat.

Megmérhető az emberi test (természetesen nem a lázmérő pontosságával), a hűtőszekrénybelső, a befagyott tőfelszín, a forró vaskályha hőmérséklete, az épületek hővesztesége stb. A pontosabb mérésekhez az emissziós tényező beállítása szükséges. Meg lehet mérni egy gépkocsi vagy egy motorkerékpár egyes részének a hőmérsékletét. Egyébként a többhengeres motorkerékpárok hengereinek egyenletes működését a kipufogócsövek IR hőmérővel való mérésével is vizsgálják.

Tanulságos a gomolyfelhők hőmérsékletének mérése is. A felhő hőmérséklete sokkal magasabb, mint a tiszta égbolté. Ha a felszálló légtömeg relatív páratartalma eléri a 100%-ot (telítetté válik), akkor a benne levő pára kicsapódik, megjelenik a felhő. A felhőalap hőmérséklete tehát megegyezik az ottani harmatponttal.

Könnyen kiszámítható a gomolyfelhők magassága is. Ehhez nem kell más, mint a felszíni hőmérséklet és a harmatpont ismerete, amit egy egyszerű hőmérséklet- és relatív nedvességmérő segítségével is meghatározhatunk. Ezekből kiszámítható az abszolút páratartalom (g/m^3 -ben), és a víz gőznyomás-táblázata

(Clausius–Clapeyron-egyenlet) segítségével megállapítjuk a felszíni harmatpontot is. A felszíni harmatpontdeficit (a T hőmérséklet és a T_d harmatpont közötti különbség) ismeretében megbecsülhetjük a felhőalap magasságát (b , méterben) a

$$b = 120(T - T_d)$$

munkaformula alkalmazásával.

Az ilyen és az ehhez hasonló egyszerű mérések, az azokból levont következtetések jól szemléltetik a fizika és a meteorológia szoros kapcsolatát, segítik a légköri ismeretek bővítését.

Irodalom

1. http://en.wikipedia.org/wiki/John_Tyndall
2. Andreas Heintz, Guido Reinhardt: *Chemie und Umwelt*. Vieweg Vlg., Braunschweig, 1991
3. Császár Attila: A földi üvegházhatás. *Természet Világa* 140 2009. február; <http://www.termeszeti vilaga.hu/szamok/tv2009/tv0902/csaszar.html>
4. Measuring the Temperature of the Sky and Clouds; <https://my NASA data.larc.nasa.gov/P18.html>
5. Klaus-Dieter Gruner: The Principles of Noncontact Temperature Measurement; http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF
6. Walter Glockmann: Noncontact Temperature Measurement Theory and Application; <http://www.omega.com/pdf/temperature/Z/pdf/z067-069.pdf>
7. Emissivity of Most Common Materials; <http://www.raytek.com/Raytek/en-r0/IREducation/Emissivity.htm>

KÖNYVESPOLC

Kereszturi Ákos: MARS – fehér könyv a vörös bolygóról

Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2012, 189 oldal

Elterjedt nézet, hogy a Föld bolygó körüli sokasodó gondok megoldása a másik bolygóra költözés. Időnként felbukkan a célbolygók között a Mars, aminek felszínén száz éve még csatornákat véltek látni. Ahogy évtizedről évtizedre halasztódik a Mars-expedíció tervezett időpontja, a tömeges kitelepülésről mind kevesebben álmodoznak, a reménységet a marsi vízről érkező hírek tartják életben.

Az utazási reklámok megszokott szintjén képzelünk el egy utazót, aki épp megérkezik a Marsra. Már kiszállt a járműből, áll a jellegzetes marsi tájon, fázósan összehúzza magán köpenyét, amit néha meglobogtat a szél, és aggódva, de férfias elszántsággal vizsgálja a felhőket: lesz-e eső? Ilyen jelenetről nem esik szó *Kereszturi* könyvében, azonban minden benne van, amire az elképzelt helyzetben a marsutazó kíváncsi lehet. Hogy attól függően, hol áll és mikor, a hőmérséklet $+15\text{ }^\circ\text{C}$ vagy $-123\text{ }^\circ\text{C}$ lehet, és egy tengely körüli fordulat alatt akár $100\text{ }^\circ\text{C}$ -ot is változhat. A

túlnyomóan szén-dioxidból álló felszín közeli gáz (a marsi levegő) nyomása a földfelszíni érték századrészt sem éri el. Ami a csapadékot illeti, néha egy kevés jég, gyakrabban szárazjég, azaz szilárd szén-dioxid fordulhat elő.

Az általunk vizsgált könyv nem útikalauz, hanem átfogó elemzés a Marsról. Ezt közérthetően és sokoldalúan megvalósítani nem könnyű feladat. Amennyiben sikerül, akkor érdemes ellátni egy megfelelően figyelemkeltő címmel: *Fehér könyv a vörös bolygóról*. Műfaja tudományos ismeretterjesztő monográfia. Azért nem egyszerűen monográfia, mert közérthető. Annak a közönségnek érthető, aki szereti és tanulmányozza a csillagászatot. Ez feltételezhető, hiszen a könyv a Magyar Csillagászati Egyesület kiadványa.

Először a felszín kialakulásáról van szó, a tektonikáról és a vulkáni erők működéséről. Távoli megfigyelések és közvetlen mintavételek alapján lehetővé vált a földi tapasztalatokkal való összevetés. „A Mar-