

Bónusz kísérlet: Felülről fűtött folyadékok. Kísérlet a tavak, tengerek melegedésének szemléltetésére (szerző: Dr. Baranyai Klára)

A kísérlet célja

A kísérlettel a tengerek és tavak melegedését szemléltethetjük [1].

Szükséges anyagok, eszközök

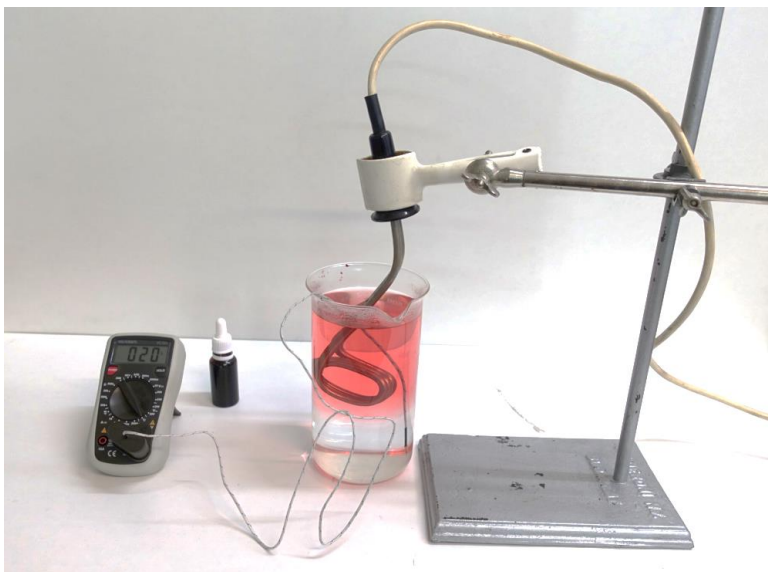
- Merülőforraló
- Bunsen állvány, dió, kémcsőfogó
- Nagy mérőpohár (1000 ml)
- Ételfesték, cseppentős üvegcsében
- Digitális multiméter, hőmérővel (Votcraft)

Leírás és feladatok

Akárcsak a természetes vizek nagy részét, amelyeket a napsugárzás felülről melegít, a kísérletbeli vizet is felülről fűtjük. Egy nagy mérőpohárba (vagy akár uborkásüvegbe) hideg csapvizet engedünk, és közvetlenül a felszín alá besüllyesztünk egy merülőforralót. Ha a fűtést bekapcsoljuk (azaz a merülőforralót a konnektorba bedugjuk), rövid idő múlva a merülőforraló közvetlen környezetében a víz forrni kezd.

Feladatok

- Cseppentünk ételfestéket a vízbe, majd körülbelül 5 percig hagyjuk melegedni a vizet és figyeljük közben az áramlásokat. Megfigyelhetjük, hogy a felső vízréteg egyenletesen elszíneződik, és meglepve tapasztalhatjuk, hogy éles határfelület választja el a festetlenül maradt tiszta víztől.
- Mérjük a víz hőmérsékletét különböző mélységekben! Ehhez a digitális multimétert kapcsoljuk be, és a mérőfejet süllyesszük a vízbe. Azt tapasztaljuk, hogy az elszíneződött, felső réteg mindenütt forró, 85-95 °C hőmérsékletű, míg a színezetlenül maradt alsó rétegben a víz mindenhol szobahőmérsékletű. (Ha hosszabb ideig melegítjük a vizet, akkor azt is láthatjuk, hogy ez az állapot tartósan fennmarad.) Magyarazzuk meg a tapasztaltakat!
- Kapcsoljuk ki a fűtést és hagyjuk hűlni a vizet. 10 percenként nézzük meg a határfelületet és mérjük meg a víz hőmérsékletét! Mit tapasztalunk?



Vigyázat!

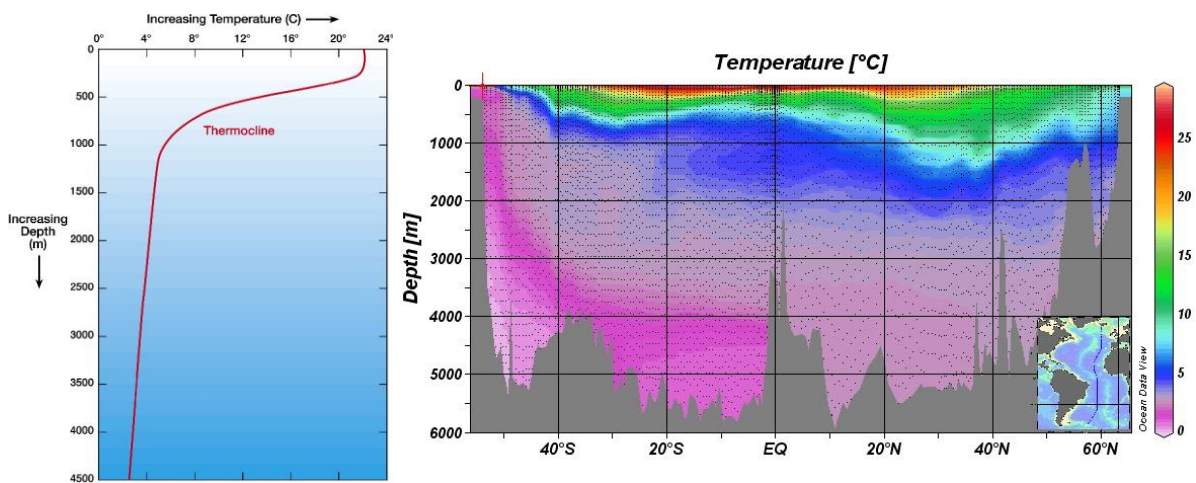
Figyeljünk oda, hogy a merülőforraló a filctollal jelzett mértékig bemerüljön. A konnektorhoz csak azután csatlakoztassuk a forralót, miután mindent gondosan beállítottunk! Hőmérsékletméréskor vigyázzunk, hogy a mérőfej és a kábel ne érjen a merülőforralóhoz! Érdeemes a mérőpohár oldalfala mellett mérni.

Elméleti és módszertani kiegészítő gondolatok

A kísérlet nagyon jól használható frontális órai demonstrációként tetszőleges osztályban, humán érdeklődésű csoportban éppúgy, mint a fizikatagozaton. Tapasztalataim szerint a gyerekek figyelmét könnyű felkelteni vele, általában hamar megértik a jelenség hátterét, és elég sok diák nagyon elcsodálkozik a kézzel is tapintható éles hőmérsékleti ugráson az elszínezett és a színezetlen réteg között. Az óra végén az üveget magára hagyva sokszor megtapasztaltuk, hogy a fűtés kikapcsolása után még sokáig fennmaradt a rétegződés, mindaddig, amíg a felső réteg ki nem hűlt, és a sűrűségkülönbség meg nem szűnt az üvegben. Ez több órát vett igénybe.

A földfelszín vizeit a Nap felülről melegíti. Az uborkásüveghez hasonlóan a tavak és tengerek vizeinél is megfigyelhető az éles határvonal megjelenése. Ha szélcsendes időben olyan helyen fürdünk egy tóban, ahol mások aznap még nem kavarták föl a vizet, a kellemesen langyos felszíni rétegből a lábunkat lejjebb engedve megérezhetjük az éles határt a langyos és a hideg zóna között. A diákok legtöbbször ezt már megtapasztalta, sőt vannak olyanok is, akik búvártanfolyamon vettek részt, és ott tanultak is erről a jelenségről. Ennek a modellnek a segítségével láthatóvá is tudjuk tenni a számukra, ami sokaknak segít a könnyebb megértésben.

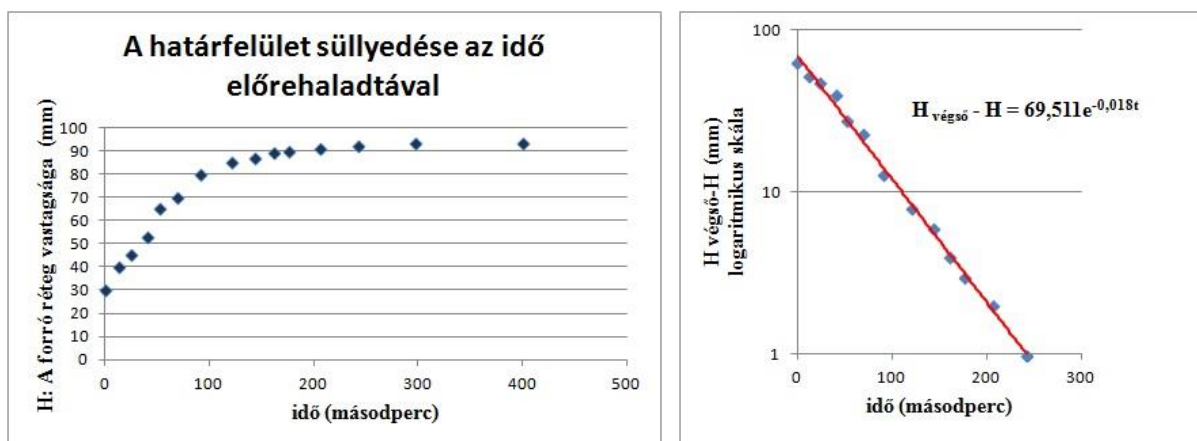
A tengerek hőmérsékleti adatait adatbázisokba gyűjtik [2]. Ezek tanúsága szerint a tengereknek még az Egyenlítőnél is csak a felső néhány száz méteres rétege tud átmelegedni. Ha lefelé haladunk a tenger mélye felé, a hőmérséklet egyszer csak hirtelen zuhanni kezd, majd eléri a +2 °C körüli értéket, és ez lényegében változatlan marad a tengerfenékgig (1. ábra). A felső, átmelegített zóna a keveredési réteg, az alsó, hideg zóna a mélységi víz. Azt a réteget, amelyben a hőmérséklet gyorsan változik, termoklin zónának nevezik [3][4][5]. Ezt a rétegződést a mi uborkásüvegünk szépen modellezi. A megfestett forró víz a keveredési rétegnek felel meg, a festetlen szobahőmérsékletű tartomány a mélységi víz megfelelője, a színes és színezetlen réteg közötti éles határfelület pedig a termoklin zónának felel meg. Az is jól szemléltethető a modellben, hogy a Földet borító tengerek, és hozzájuk hasonlóan a légkör soha nincsenek hőmérsékleti egyensúlyban, mindig rétegzettséget mutatnak.



1. ábra. (bal) A tengervíz hőmérsékletének változása lefelé haladva [5][6][7]. (jobb) Az Atlanti óceán vizének hőmérsékleti térképe egy észak-déli irányú függőleges felület (lásd a jobb alsó sarokban) mentén [2]

Kollégámmal ezt a kísérletet is többször bemutattuk a földrajz fakultáción. A természetföldrajz tananyagban szerepel a termoklin zóna kifejezés, de csak leíró jelleggel. Kialakulásának szemléltetésére, megértésére nincs idő a földrajzórakon, viszont a fizikaórákat színesíti, jó példát szolgáltatva a tantárgyak közötti kapcsolat erősítésére, jó értelemben vett integrációjára.

Izgalmas kérdés, hogy a határfelület hogyan és meddig süllyed az idő múlásával. Egy szakköri csoporttal méréseket végeztünk, hogy kiderítsük a határréteg süllyedésének időfüggését. A színes réteg $H(t)$ vastagságát ábrázoltuk az idő függvényében a 2. ábra bal oldali grafikonján. A forró réteg vastagságának növekedése lassuló, hosszú idő után eléri a $H_{\text{végső}}$ értéket. Többféle sejtés fogalmazódott meg a csoportban arra vonatkozóan, hogy milyen matematikai függvény írhatja le a lassulást. A végső eredmény szerint a határvonal exponenciálisan lassulva közelíti meg az egyensúlyi $H_{\text{végső}}$ mélységet. Ennek igazolására a $H(t)-H_{\text{végső}}$ értékeket ábrázoltuk az idő függvényében logaritmikus skálán (jobb oldali grafikon a 2. ábrán). Az értékekre illeszkedő trendvonal igazolta sejtésünket. A mérési adatokat Excel programmal dolgoztuk fel. A mi mérésünkben a forró réteg egyensúlyi vastagsága $H_{\text{végső}} = 93$ milliméter volt.



2. ábra. (bal) A színes réteg $H(t)$ vastagsága az idő függvényében. (jobb) A $H(t)-H_{\text{végső}}$ az idő függvényében logaritmikus skálán.

A fenti két kísérlet újszerű, a tanítási gyakorlatban nem találkoztam velük. Meglepőek, látványosak, és előnyük, hogy nem igényelnek drága eszközöket, akár otthoni körülmények között is elvégezhetőek. Emellett szorosan kapcsolódnak a környezeti áramlásokhoz, amelyek kutatása a környezeti változások megértéséhez és előre jelzéséhez elkerülhetetlen.

Irodalom

- [1] V. Pentegov: Heating Water from the Top; Quantum 1999. Nov/Dec. 41. o.
- [2] http://galathea3.emu.dk/satelliteeye/projekter/sst/back_uk.html (2015. július 15.)
- [3] <http://www.windows2universe.org/earth/Water/temp.html> (2015. július 15.)
- [4] Jánosi Imre- Tél Tamás: Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába Typotex, 2012.
- [5] G.K. Vallis: Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, Cambridge, 2006.