



2. ábra. a) A virágboltokban kapható, 1-3 mm átmérőjű gliceringolyókat növények vízellátására használják. b) Vízbe helyezve a gliceringolyókat, azok megduzzadnak, szinte „láthatatlanná” válnak. c) Mivel a megduzzadt gliceringolyók törésmutatója a vízéhez közelít, jól modellezhetjük velük a vízcseppekben haladó fény sugármenetét. d) Erős napsugárzásban a vízcseppek gyorsan elpárolognak, miáltal gyűjtőlencsehatásuk csak kevés ideig áll fenn. Az olaj sokkal lassabban párolog, így lehetőségünk van a hosszabb kísérletezésre és megfigyelésre is.

A gliceringolyó tulajdonságai

Vízbe helyeztünk 10 darab 1 mm átmérőjű gliceringolyót, félóránként megmértük átmérőjüket, majd átlagoltuk a kapott értékeket, és megfigyeltük az alakváltozásait is. Megfigyeléseinket az 1. táblázat tartalmazza.

A gliceringolyó kiindulási térfogata

$$V_1 = \frac{4 r^3 \pi}{3} = \frac{4 (0,5 \text{ mm})^3 \pi}{3} = 0,52 \text{ mm}^3$$

volt, végleges térfogata pedig

$$V_2 = \frac{4 r^3 \pi}{3} = \frac{4 (8,5 \text{ mm})^3 \pi}{3} = 2572,44 \text{ mm}^3.$$

Elmondható, hogy a vízben történt áztatás végén a gliceringolyó 99,98%-a víz volt. Az ilyen golyót vízbe helyezve szinte láthatatlanná válik (2.b ábra), mert törésmutatója nagyon közeli a vízéhez. A gliceringolyókkal tehát jól tudjuk modellezni a vízcseppeket. A levegőn a gliceringolyó térfogatcsökkenése legalább 6 órán keresztül nem számottevő, a vele azonos méretű vízcsepp – a léghőmérséklettől és a napsütés erősségétől függően – viszont már közel negyedóra alatt elpárolog. Erős napsugárzás hatására 7-8 óra után a vízben áztatott gliceringolyó külső hárttyája fölhasadhat.

Kísérleti módszerek

A tavaszi előkészületek után, a meteorológiai műholdképek alapján választottunk ki egy májusi napot, amikor a több órán át tartó napsütés és szélcsend valószínűsége a legnagyobb volt a heti előrejelzésben. 2011. május 24-én teljesen derült ég alatt sikerült megvalósítani a kísérletet. A kísérletben hosszú besugárzási időtartamot választottunk: 8:00 órától 14:00 óráig hagytuk a napon az áztatott gliceringolyókkal fedett faleveleket (3. ábra). Egy adott levélfajta színén és fonákján is elvégeztük a kísérletet. A kísérlet végén a besugárzott leveleket 8:00-kor és 14:00-kor az iskola LG 600P típusú szkenerével digitalizáltuk, és óránként folyamatosan digitális fényképezőgéppel és mobiltelefonokkal is fényképeztük.

Az 1. kísérletben két juharlevelet helyeztünk egy-egy átlátszó üvegtálcára: egyet fonákkal, egyet pedig a színével fölfelé (3. ábra). Az ágakról frissen levágott falevelek egészségesek és sima felületűek voltak. Az a) tálat 4 óráig, a b) tálat 5 percig vízben áztatott 20 mm-es és 2 mm-es gliceringolyókkal teljesen lefedtük.

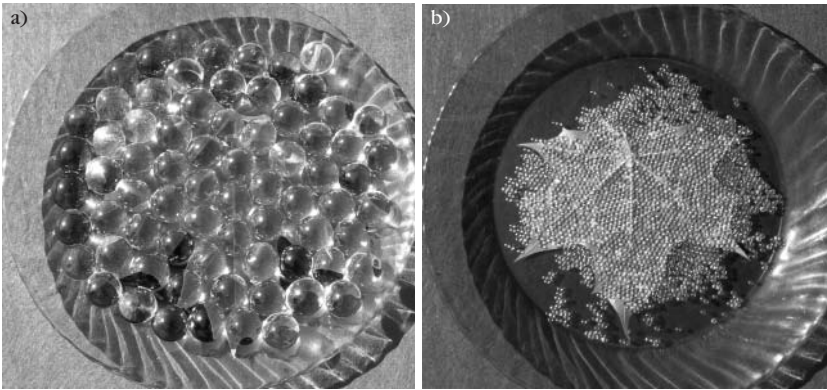
A golyók törésmutatója a vízzel gyakorlatilag megegyező volt. A tálakban lévő üveggolyókkal fedett leveleket közvetlen napsugárzásnak tettük ki 6 órán keresztül.

A 2. kísérletet meleg, napos, szélcsendes időben végeztük Nagyecsedén. Egy nagyobb méretű asztalt helyeztünk árnyékmentes helyre, s az asztalt zöld

1. táblázat

A vízbe helyezett gliceringolyók már 3 óra alatt elérték a maximális térfogatukat, az átmeneti szakaszban szabálytalan formájúak voltak, csak a negyedik órában kezdtek teljesen kisimulni, ekkor már szabályos gömb alakot vettek fel.

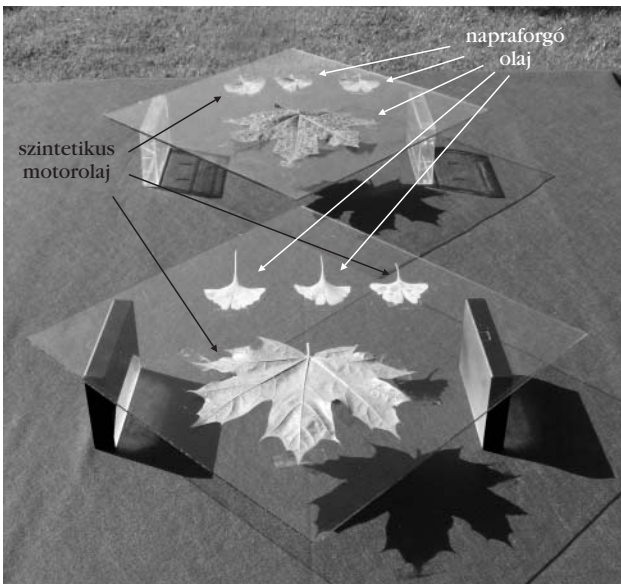
eltelt idő (óra)	átmérő (mm)	megjegyzés
0	1	–
0,5	6	–
1	8	–
1,5	11	göcsörtös felület alakul ki
2	13	–
2,5	15	–
3	17	kezd kisimulni a felszín
3,5	17	gömbölyödik
4	17	teljesen kisimul a felszín



3. ábra. Azonos méretű üvegtálba helyeztük ugyanazon juharfa egy-egy levelét, az a) tálba színével fölfelé, a b) tálba pedig fonákkal fölfelé. Az a) és b) tálban 20, illetve 2 mm átmérőjű, vízben áztatott gliceringolyókkal fedtük le teljesen a leveleket.

filcanyaggal terítettünk le, hogy a természetes környezetben a levelekre alulról érkező szórt zöld fényt biztosítsuk. Ezt követően páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*) és juhar (*Acer platanoides*) leveleit a szélükönél fogva egy vékony, átlátszó ragasztószalaggal üveglapra ragasztottuk, hogy ezzel még szél esetén is biztosítani tudjuk a levelek sík helyzetét. Az üveglapokat videokazetta-tartókra helyeztük (4. ábra), így próbáltuk közelíteni a természetes közeget, hiszen a fákon lévő levelek között is légrések vannak. Két juharlevelet és hat páfrányfenyőlevelet ragasztottunk a széleik mentén a két üveglapra vízszintesen, levélfonákkal, illetve levélszínnel fölfelé. A felragasztás után pipetta segítségével étolajat és szintetikus motorolajat csöppentettünk a levelek felületére: a juharlevelekre 174 és 182 cseppet, a páfrányfenyő leveleire pedig 15-20 cseppet. Az olaj törésmutatója $n_{olaj} = 1,48$, ami jóval na-

4. ábra. A 2. kísérlet összeállításánál megpróbáltuk a természetes körülményeket biztosítani: a levelek felülről közvetlen napfényt, alulról pedig szórt zöld fényt kaptak az asztalon lévő zöld filcanyagról. Az egyik összeállításnál a levelek színét érte a napfény, a másiknál viszont fonákjukat. A tájolás pontos rögzítése a Nap égi mozgása miatt volt fontos. Pipettával két különböző olajból csöppentettünk a levelekre: a juharlevelekre 174 és 182 cseppet, a páfrányfenyő leveleire pedig 15-20 cseppet.



gyobb, mint a vízé $n_{víz} = 1,33$. A 4. ábra szerinti, napfénynek kitett kísérleti összeállítást óránként ellenőriztük.

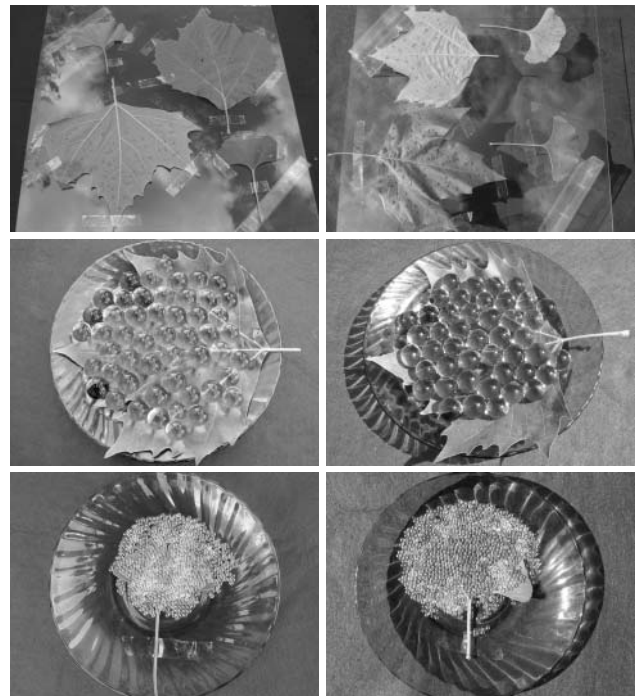
2011. június 14-én végeztük a kontrollkísérleteket 15:00 és 17:00 óra között (5. ábra). Egy-egy üveglapra ragasztottunk páfrányfenyő és juhar 2-2 levelét, majd étolajjal végigcseppentettük a felületüket. Az egyik üveglapot napfényre helyeztük, a másikat pedig egy árnyékos helyre. Hasonlóan jártunk el a gliceringolyókkal is: mindkét juharlevél felszínét vízbe áztatott 20 mm-es gliceringolyókkal fedtük, majd az

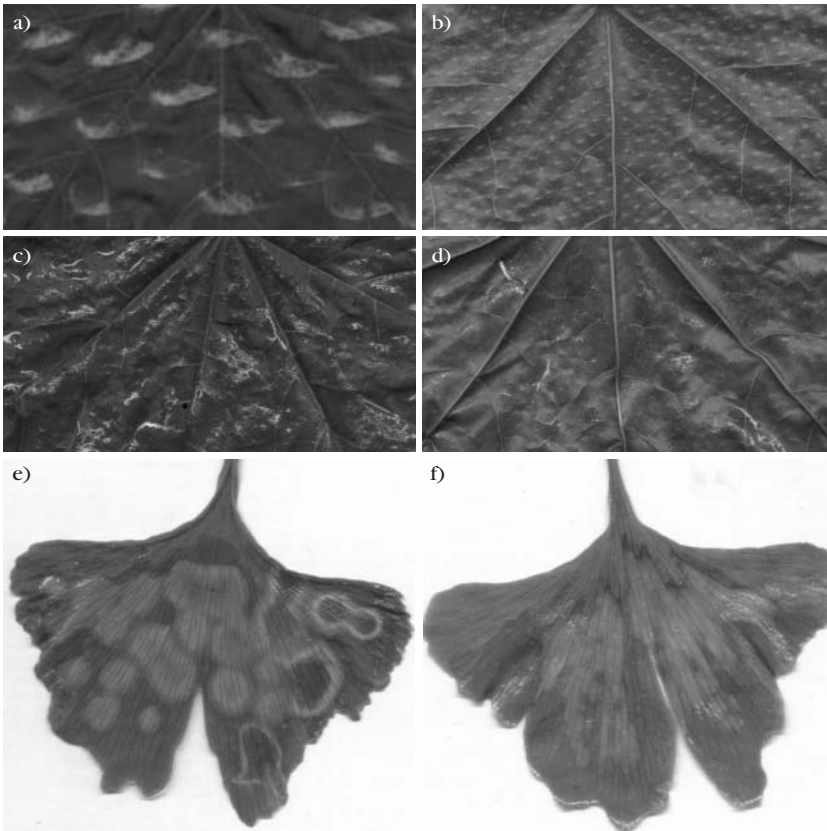
egyiket a napfényre, a másikat az árnyékba helyeztük. A páfrányfenyő leveleit vízbe áztatott 2 mm-es gliceringolyókkal fedtük, és itt is az egyik levelet a napra, a másikat árnyékba tettük.

Kísérleti eredmények

A fent leírt besugárzásos kísérletek elvégzése után égésnyomokat tapasztaltunk a vízben áztatott gliceringolyók alá helyezett juharleveleken és az olajcseppek alatt lévő páfrányfenyő levelein is (6. ábra). Az égésnyomok elnyúlt alakja a Nap látszólagos mozgásának leképezését is mutatta a leveleken (6.a-b ábra). Az olajcseppek nem gömb alakot, hanem lapos ellipszoid alakot vettek föl a juharleveleken, így a kis

5. ábra. Az bal oldali képeken árnyékba helyeztük a leveleket, míg a jobb oldali képeken közvetlen napsugárzásnak tettük ki őket. A felső sorban olajcseppeket, a középső sorban vízbe áztatott 20 mm-es gliceringolyókat, az alsó sorban pedig vízbe áztatott 2 mm-es gliceringolyókat helyeztünk a levelekre.

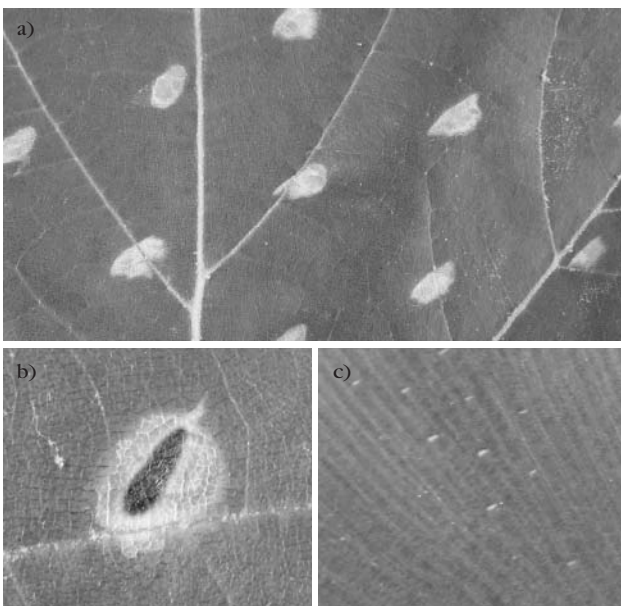




6. ábra. Az a) képen a vízbe áztatott 20 mm-es gliceringolyók alatti juharlevél, a b) képen a vízben áztatott 2 mm-es gliceringolyók alatti juharlevél látható 6 órás napbesugárzás után. Megfigyelhetők az égésnyomok és azok alakjának elnyúlása a Nap viszonylagos mozgása miatt. A c) és d) képen az olajcseppek juharlevelek láthatók 6 órás napbesugárzás után, mikor is égésnyomok nem keletkeztek. Az e) és f) képen az olajcseppek hatására beégett nyomok láthatók a páfrányfenyő levelein.

fénytörőerő miatt még 6 órás besugárzás mellett sem tudták beégetni a levél felületét (6.c–d ábra). A pá-

7. ábra. Egy 15:00 órától 17:00 óráig tartó kísérlet eredményei. Az a) ábra a napra kihelyezett 20 mm-es vizes gliceringolyókkal fedett juharlevél beégéseit mutatja. A b) ábrán az előző beégések egyike kinagyítva látható. A c) ábrán a napra helyezett 2 mm-es vizes gliceringolyókkal fedett páfrányfenyő apró égésnyomai láthatóak.



keztek. Mivel a kontrollkísérletet késő délután végeztük, kisebb volt a napfény beesési szöge a vízszintestől mérten, így a gliceringolyókon áthaladó fénysugarak leképezései is módosultak. A kontroll során intenzívebb égető hatást tapasztaltunk, helyenként teljesen sötét foltok is keletkeztek a levelek felületein (7. ábra). Ezek alapján az is elmondható, hogy nem déli napsütésben, ahogy azt az összefoglaló feladatgyűjte-

8. ábra. Késő délután intenzívebb a vizes gliceringolyók által fókuszált napfény égető hatása.



rányfenyő levelein viszont a kisebb nedvesítés folytán gömbölydedebb alakot öltöttek az olajcseppek, így 4 óra múlva égésnyomok jelentkeztek (6.e–f ábra). Ugyanakkor, a vizes gliceringolyók megfelelően gömbölydedek voltak, s úgy fókuszálták a napfényt, hogy az kiégette a leveleket. E kísérletek alapján elmondhatjuk, hogy a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek csak akkor égethetnék be, ha alakjuk gömbölyded lenne s több óráig sem párolognának el. Könnyen belátható, hogy természetes körülmények között e feltételek nem teljesülnek.

Az olajcseppekkel fedett juharlevelek felületén nem tapasztaltunk égésnyomokat, függetlenül attól, hogy közvetlen napfényre vagy árnyékba helyeztük őket 2 óra hosszúra (6.c–d ábra). A vizes gliceringolyók esetében égésnyomok csak a napfényre kihelyezett juharleveleken voltak észlelhetők (6.a–b ábra). A páfrányfenyő leveleit viszont a napfényen beégették az olajcseppek (6.e–f ábra), de az árnyékban nem okoztak barnulást. A kontrollkísérlet alapján elmondható, hogy az égésnyomok nem az olajjal és a vizes gliceringolyókkal való egyéb más kölcsönhatás eredményeként kelet-

mény szövege állítja, hanem késő délután erőteljesebb a napégés (8. *ábra*), amint az az elméleti jóslatból is következik [1–4].

Összegezve eredményeinket, a vízcseppek, mint lapos gyűjtőlencsék nem képesek beégetni a sima felületű leveleket a tűző napon. Ennek egyik következménye, hogy az erdőtüzek lehetséges okainak ilyen jellegű feltüntetése az erdészeti szakirodalomban, miszerint a vízcseppek erős fókuszáló hatása miatt tűz is keletkezhet, téves elképzelésnek bizonyul. Az *Egységes érettségi fizika feladatgyűjtemény* 2152. feladatának megoldáskötetében nem a helyes választ tüntették fel, az nem is szerepelt a feladat lehetséges alternatívái között, ezért kérjük a könyvkiadót, korigálja a feladatban észlelt hibát.

Irodalom

1. Egri Á., Horváth G., Horváth Á., Kriska Gy.: Beégethetik-e nap-sütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása – I. rész. *Fizikai Szemle* 60 (2010) 1–10 + címlap
2. Horváth G., Egri Á., Horváth Á., Kriska Gy.: Beégethetik-e nap-sütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása – II. rész. *Fizikai Szemle* 60 (2010) 41–49 + színes borító 3. oldal
3. Egri Á.: *Növényekhez tapadt napsütötte vízcseppek biooptikája, különös tekintettel a levelek napégésére*. Diplomamunka, ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 2009, 57 o. (témavezető: Horváth G.)
4. Egri, Á.; Horváth, Á.; Kriska, G.; Horváth, G.: Optics of sunlit water drops on leaves: Conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist* 185 (2010) 979–987 + cover picture + online supplement
5. <http://youtu.be/cOu1EeT5VwY> (Magyar Televízió, Delta, 2011. május 21.)