

A FIZIKA TANÍTÁSA

SCHLIEREN-KÉPALKOTÁS OKOSTELEFONNAL

Vavrik Márton – BME TTK, ELTE TTK, ELKH Energiatudományi Kutatóközpont

Vári Gergely Péter – Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium

A Schlieren-képalkotás (schliere: csík) egy sűrűségeloszlást vizualizáló technika. Cikkünkben bemutatjuk, hogyan lehet ezt a kísérletet laboratóriumi környezetben kívül is bemutatni, lehetőséget adva szélesebb közönségnek különböző optikai jelenségek megismerésére.

Schlieren-képalkotással vizualizálhatók a levegő sűrűségváltozásai, áramlásai, például egy gyertya lángja (1. *ábra*), izzóból felszálló meleg levegő, a lélegzet vagy köhögés maszkban és maszk nélkül, a kéz- és testmeleg, illetve bármilyen nagyobb, például dezodor vagy hajszárító által okozott légmozgás. A

módszer alkalmas üveglapok, átlátszó műanyag eszközök különböző gyártási hibáinak felfedezésére is. Ezeket igen nagy érzékenységgel mutatja ki.

Kísérleti felállítás

A módszerhez szükséges egy homorú gömb- vagy parabolatükör, amelynek kétszeres fókuszsíkja egy fényforrást és egy kamerát helyezünk úgy, hogy a fényforrás fényét a kamera szenzorára fókuszáljuk (2. *ábra*). Ha közvetlenül a parabolatükör előtt bármi-



Vavrik Márton a BME Fizikus Msc hallgatója Nukleáris Technika specializációban. 2018 óta foglalkozik fúziós plazmafizikával, gyakornok az Energiatudományi Kutatóközpontban. Ezen kívül az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenye magyar csapatának felkészítője és volt versenyzője, illetve az Ifjú Fizikusok Regionális Tornájának egyik főszervezője.



Vári Gergely Péter a Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium tanulója természettudományi tagozaton. Az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyének, illetve az Ifjú Fizikusok Osztrák Versenyének résztvevője. Az utóbbin 2022-ben a magyar csapat tagjaként harmadik helyeztként ezüstérmet szerzett.



1. ábra. Gyertyaláng hője által keltett áramlás egy általunk készített Schlieren-felvételen.

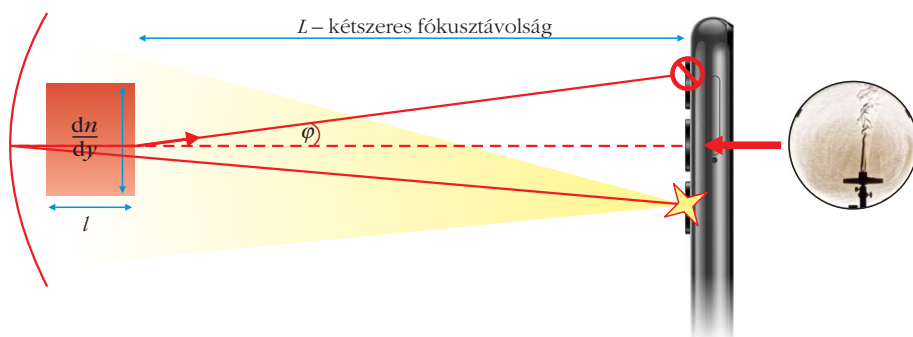
lyen törésmutató-gradienst hozunk létre, az a kamerára vetülő nyalábot enyhén kitéríti. Fontos, hogy ezt a tükrökhöz közel tegyük, mert így, amikor a fénysugár a másik irányba, a tükrö felé halad, a tükrö és a sűrűséggradiens közötti eltérés kicsi lesz, és ezzel elkerülhető a kép megkettőződése.

Ha a visszavert fénynyaláb egy részét kitakarjuk a fókuszpontban, például egy borotvapengével, az az eltérülő fénynyaláb intenzitására jobban/kevésbé hat, így a kamerában intenzitásbeli változásokat észlelhetünk.

Kísérlet okostelefonnal

Ez – az általában laboratóriumban elvégzendő – kísérlet kivitelezhető mindösszesen egy parabolatükörrel és egy okostelefonnal. Így könnyebben szállítható és egyszerűbben bemutatható, hiszen egy testben van a szükséges fényforrás és kamera, illetve utóbbi kis apertúrája lehetővé teszi, hogy eltakarás sem szükséges a kísérlet elvégzéséhez, mert ezt maga az apertúra

2. ábra. A kísérleti összeállítás: az okostelefon vakuját a parabolatükörre irányítjuk úgy, hogy az a fényt a kamerába fókuszálja. Ha egy sűrűséggradienst helyezünk a tükrö elé, eltérül a fény és nem a kamerába érkezik vissza, fekete képet adva.



végzi el, ha a fényforrás fókuszált képét a kamera lencséjének szélére irányítjuk. Mivel a tükrö a teljes érkező fényintenzitást a kamerára fókuszálja, a kísérlethez sötétítés sem szükséges.

A kísérlet jól bemutatható a szinte bármely okostelefonnal, azonban a legtöbb parabolatükör fókusz távolsága átmérőjénél jóval nagyobb, tehát a kétszeres fókusz távolságból alacsony térszög alatt látszódnak, és a telefonok fókusz távolsága nagy látószögű, így a legtöbb esetben 3–10-szeres nagyítás mellett látni jól a tükröt. Ezért olyan okostelefont hasznos választani, amelyik kisebb látószögű lencsékkel is rendelkezik. Kísérleteinkhez a Samsung jóvoltából egy Galaxy S22 Ultra készüléket használhattunk, amelynek kamerája 10-szeres beépített optikai zoommal rendelkezik, így digitális zoom használat nélkül remek felvételeket tudtunk készíteni. A támogatást ez úton is köszönjük.

A kísérlet elengedhetetlen része egy megfelelően pontos parabolatükör vagy homorú gömbtükör, aminek nem kell hullámhossz-pontosságúnak lennie, de fontos, hogy elég pontos legyen ahhoz, hogy a fényforrás fényét egy, az apertúránál kisebb térfogatba fókuszálja. Borotválkozó tükrökkel is kísérleteztünk, de ezek túlságosan torzítottak. Felmerült, hogy saját tükröt készítsünk egy tálra fóliát kifeszítve, majd a tálban csökkentve a légnyomást, a behorpadó fólia paraboloid felületet vesz fel.

A bemutatás folyamata

A kísérletet a telefon kamerájával nézzük, és ez akkor a leglátványosabb, ha a hallgatóság élöben látja a kameraképet. Erre a legegyszerűbb és a legbiztosabb mód, hogy a telefont, annak csatlakozóján keresztül egy (például USB-C – HDMI) kábellel összekötjük egy megfelelő kijelzővel vagy vetítővel. Ha ilyen kábel nem áll rendelkezésre, egyes megjelenítők képesek vezeték nélkül is fogadni a telefon jelét. Ezt a funkciót remote display / cast / DeX néven találhatjuk. Ha ez sem működik, de egy laptopot rá tudunk csatlakoztatni a megjelenítőre, akkor a laptopra is hasonló funkciókkal küldhetjük a telefon képét, de egy remote access (például link to windows) alkalmazással elérhetjük róla a telefon teljes felületét, így képernyőjét is élöben láthatjuk. Ilyenkor viszont gyakran szaggat a kép, időben nem folytonosnak látjuk a telefon képernyőjét.

Vannak olyan alkalmazások (például droidcam) amelyek a telefont webkameraként használhatják, de ekkor körülményes a zoom és a kontraszt állítása.

A bemutatót kísérletekkel érdemes kezdeni, mert így azonnal felkelhető a hallga-

tóság érdeklődése. Ha már kivetítjük a telefon képernyőjét, és be akarjuk mutatni a kísérlet elméleti magyarázatát, például a fénysugarak útvonalát, akkor ezt prezentáció formájában tehetjük meg, amit a telefon előadva nem kell bajlódni a kivetítéssel.

Azért is érdemes kísérletekkel kezdeni, mert előre be tudjuk állítani a kísérlet geometriáját, bár e folyamatnak is lehet ismeretterjesztő aspektusa: a telefont a tükörhöz közel helyezve a kamera képén kis torzítással látszódik az egész telefon. Kapcsoljuk be a vakut, és a tükörrel párhuzamosan, mozgatással úgy a telefont, hogy fénypontját a tükör közepén lássuk. Innen lassan távolabbra húzva, a fénypontot középen tartva, látjuk, ahogy annak mérete folyamatosan nő, egészen addig amíg a kétszeres fókuszba érünk, ahol a teljes tükröt egyenletesen megvilágítva látjuk. Ezzel is szemléltethető a homorú tükör képalkotása.

Ilyenkor a vakuból a tükrre eső összes fény a kamerába érkezik, szükség lehet a kamera fényérzékenységének manuális beállítására, bár ezt általában automatikusan elvégzi. Ha fényintenzitás túl nagy a kamerának, használjunk a vaku előtt egy intenzitás-csökkentőt (például kormos üveget vagy egy vékony műanyagdarabot). Kísérleteinkhez ezeket 3D-ben nyomtattuk. A felállítás akkor működik a legjobban, ha a kétszeres fókuszban egy kicsit oldalra mozgatjuk, hogy a tükröt szürkének lássuk.

Ha elég pontos a kísérleti beállítás, látható az emberi testmeleg (3. ábrán jobbra lent) és lélegzés, utóbbi esetében demonstrálható a szájmász hatékonysága is.

A kísérleti összeállítás tulajdonságai

A kamera és a fényforrás igen közel található egymáshoz, ezért az optimális beállításnál mindkettő közel van a tükör optikai tengelyéhez, a tükör kómatorzításai minimálisak, tehát szebb Schlieren-kép érhető el.

Ha nem jó minőségű a tükör, tehát a fókuszpont torzításai összemérhetők az eltérésekkel, a fényforrás képével vagy a kis apertúránkkal, a tükröt eleve nem teljesen megvilágítottként látjuk, és szinte lehetetlen jó Schlieren-képet létrehozni.

Kísérleteinkhez egy 20 cm átmérőjű, paraboloid teleszkóptükröt kaptunk kölcsön az OMI Optika Kft.-től, amit ezúton is köszönünk.

Sűrűségrekonstrukció

Az elterülés egyenesen arányos a sűrűséggradienssel, ezért egy nem nulla méretű fókuszpont esetén az eltérés-intenzitás függvény a megfelelő tartományon mo-

Elvégezhető kísérletek

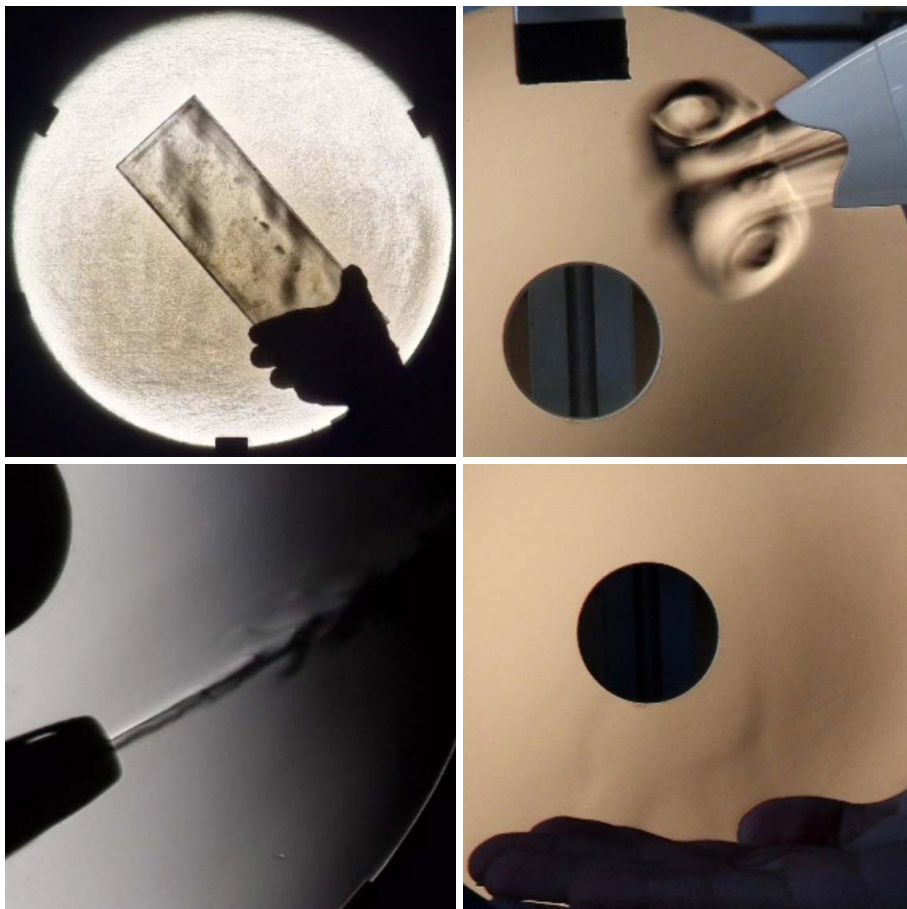
A leglátványosabb kísérlet egy gyertya vagy izzólámpa által felmelegített felszálló levegő áramlása. Gyertya esetében általában jól látszik a levegő lamináris-turbulens átmenete is.

A tükör elé egy üvegdarabot tartva (3. ábrán balra fent) láthatjuk az üvegdarab vastagságbeli egyenletlenségeit és belső feszültségeit, amelyek törésmutató-gradienseket okoznak.

Ha egy poharat meleg, illetve hideg vízzel (vagy jéggel) töltünk meg, az általa felmelegített vagy lehűlt levegő fel, illetve lefelé száll, hiszen sűrűsége eltér a környezetétől, és ez a Schlieren-képen látható.

Egy hajszárító által kifújott meleg levegő (3. ábrán balra lent), vagy eltérő sűrűségű gáz (3. ábra) is igen látványosan látható, és jól illusztrálható vele a turbulens viselkedés.

3. ábra. Néhány elvégezhető kísérlet: üveglappal, hajszárítóval, meggyújtatlan gázgyújtóval és kézmeleggel.



noton lesz. Ha ezt az összefüggést kimérjük, az intenzitás alapján a kép pontjaiban rekonstruálható a sűrűséggradiens, annak segítségével pedig a sűrűségeloszlás.

Ez a rekonstrukció fontos több alkalmazáshoz, de nem elengedhetetlen része a kísérletnek, illetve megértése egy középiskolás számára igen nehéz lehet.

Alkalmazások

A tényt, hogy Schlieren-képet okostelefonnal is lehet készíteni, az International Young Physicists' Tournament versenyre való készülés folytán fedeztük fel.

A versenyre való felkészülés során feladatunk volt meghatározni, mekkora forgatónyomatékot képes kifejteni egy hőforrás fölé függesztett papírspirál. Ehhez viszont elengedhetetlen volt a sebességtér tulajdonságainak meghatározása. Az elkészített felvételeket elemezve azt állapítottuk meg, hogy az általunk vizsgált tartományban a levegő konstans vertikális sebességgel rendelkezik. A módszert német üveggyártó mesterek fejlesztették ki síküvegek egyenletességének ellenőrzésére, és erre használják ma is, például az autóiparban.

Egyikőnk MSc diplomamunkájának témája is az eljáráshoz kapcsolódik: az Energiatudományi Kutatóközpontban az ITER fúziós berendezéshez szállítandó, fagyasztott hidrogénpelleteteket kilövő berendezés (SPI) fejlesztése során akarjuk meghatározni a kiszabaduló gyorsító-gáz mennyiségét és térbeli eloszlását, hogy minimalizálhassuk azt.

Összefoglalás

Úgy gondoljuk, hogy a Schlieren-képkalkotás okostelefonnal történő elvégzése sok lehetőséget ad különböző optikai jelenségek széles körben történő megismertetésére, köztük több középiskolások számára is jól bemutatható.

A kísérleteink során készült videók elérhetők a <https://youtube.com/playlist?list=PLoi9kVsM6Zh6d16vunD1HasH UoCM-vIOR> címen, ami az itt látható QR kód segítségével megnyíló lejátszási lista. Amennyiben kérdése van, vagy csak felkeltettük érdeklődését, bizalommal írjon a vavrik.marton@reak.bme.hu e-mailcímre!

