Chemické Listy

Výuka chemie

www.chemicke-listy.cz

„POLARIMETR“ – EXPERIMENT PRO VÝUKU

Jiří Kalina[a] a Michal Lach[a,b]

[a] Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra chemie, 30. dubna 22, 701 03 Ostrava, [b] Střední průmyslová škola chemická akademika Heyrovského, Ostrava, Středoškolská 2854/1, 700 30 Ostrava
jiri.kalina@osu.cz, michal.lach@spsch.eu

Došlo 21.9.22, přijato 14.12.22.

Polarimetrie umožňuje kvantitativně stanovit určitou látku (opticky aktivní látky) v roztoku na základě měření úhlu stočení roviny polarizovaného světla jedné vlnové délky. Hlavním cílem této práce je měření koncentrace opticky aktivních látek pomocí podomácku vyrobeného přístroje, tzv. „polarimetru“. Zařízení měří míru zeslabení světla namísto úhlu stočení polarizovaného světla jako u komerčních přístrojů. Navržený „polarimetr“ umožňuje stanovit koncentraci opticky aktivních látek. Jde o podomácku vyrobené zařízení využívající chytrý telefon s vybraným softwarem, který je mnohonásobně levnější než komerčně dostupné. Autoři by rádi viděli využití zařízení v polytechnické výchově studentů.

Klíčová slova: polarimetrie, chytrý telefon, LED, kvantitativní stanovení

1. Úvod

K méně oblíbeným předmětům patří podobně jako fyzika i chemie. Tuto skutečnost lze do jisté míry zvrátit prováděním experimentů např. s přírodními látkami, např. sacharidy. Ty kromě toho, že je lze využít pro jednoduché reakce, patří k opticky aktivním látkám a dle své koncentrace více či méně stáčí rovinu polarizovaného světla. Školní experimenty jsou podstatnou součástí výuky napříč všemi úrovněmi vzdělávání a patří k nejúčinnějším praktickým vyučovacím metodám. Studenty praktické činnosti aktivizují více než běžný výklad a více je baví.

V současné době existují i výukové možnosti využívající virtuálních laboratoří[1]. Virtuální laboratoře mohou být přínosné, ale na druhou stranu se jedná přece jen o nereálnou zkušenost a student si vlastní experiment tak říkajíc neosahá. Tento článek zmiňuje využití chytrého mobilního telefonu nejen k telefonování, ale s využitím aplikací přináší možnost hravou formou objevovat přírodní zákonitosti tak, aby nebyla potřeba chemického skla ani chemikálií.

Mobilní chytré telefony obsahují mnoho senzorů (snímač otisků prstů, mikrofon, kamera, magnetometr pro kompas, senzor intenzity osvětlení pro úpravu jasu displeje, …)[2], které přispívají k vyššímu komfortu při používání telefonu a usnadnění života. Byly vytvořeny také programy (aplikace, slangově „apky“), které umí s těmito senzory přímo pracovat, což je možné využít ke stanovení hodnot různých veličin. Někteří učitelé (především učitelé fyziky) se této možnosti chopili, a využili běžně dostupných aplikací k sestavení úloh do nenákladných laboratorních cvičení[3]. Výhodou takovýchto měření je jejich přesah do každodenního života, díky čemuž prohlubují poznání studentů a umožňují jim tato měření provést i mimo školu. Využití mobilního chytrého telefonu ve výuce chemie většinou spadá do oblasti spektrofotometrie, pro kterou je rozpracováno vcelku hodně rozdílných „přístrojů“. Dobrým příkladem použití chytrého telefonu ve výuce je práce[4]. Zde je prezentován navrhnutý model spektrometru vyrobený pomocí 3D tiskárny, využití volně dostupného softwaru k vyhodnocení dat a ověření přesnosti spektrometru. Příklad využití chytrého mobilního telefonu jako absorpčního spektrometru je uveden i v minireview[5].

V poslední době se objevily informace o polarimetrech, které je možné si pořídit, např. iSPEX 2 (cit.[6]), který je složitý na realizaci v běžném školním prostředí, nebo vytvořit pomocí LEGA polarimetr[7], popř. polarimetr vytisknout na 3D tiskárně a sestavit elektrický obvod pro měření[8]. Náš příspěvek přináší alternativu pro vytvoření „polarimetru“ vlastní výroby z dostupných materiálů s využitím chytrého telefonu. Studenti tak mohou pracovat na zdokonalení své zručnosti a osvojit si zpracování a analýzu naměřených dat.

2. Optická aktivita, polarimetry

Látky, jejichž molekuly nelze prostým otočením ztotožnit s jejich zrcadlovým obrazem, nazýváme látkami opticky aktivními. Příčinou této vlastnosti je velmi často přítomnost chirálního uhlíku, tj. takového, který má na sobě navázány čtyři odlišné substituenty. Opticky aktivní látka je charakteristická tím, že má odlišné indexy lomu pro složky doprava a doleva kruhově polarizovaného světla, a tím pádem i rozdílné rychlosti šíření obou těchto složek. Paprsek šířící se vyšší rychlostí má pak oproti druhému větší

vlnovou délku a mezi oběma složkami vzniká fázový rozdíl. Pokud obě rozdílné složky vektorově sečteme, výsledkem je doprava nebo doleva pootočená rovina vycházejícího polarizovaného světla. Stáčení roviny polarizovaného světla závisí na koncentraci. Je tedy možné přímo využít měření úhlu otočení roviny polarizovaného světla pro stanovení koncentrace opticky aktivní látky. Tato metoda se nazývá polarimetrie[9]. V klasických polarimetrech při rovnoběžném uspořádání polarizátoru a analyzátoru prochází cca 50 % intenzity záření a při zkříženém polarizátoru a analyzátoru neprochází žádné světlo. Po vložení opticky aktivní látky do polarimetrické kyvety mezi zkřížený polarizátor a analyzátor se zorné pole rozjasní – prochází nějaká část světla. Úhlovým nastavením – otočením analyzátoru dosáhneme opět stavu, kdy světlo neprochází, a na stupnici odečteme úhel stočení roviny polarizovaného světla, který pak vynášíme do grafu oproti koncentraci. Na trhu jsou k dostání školní polarimetry s LED zdrojem např. od firmy PASCO (cena neuvedena)[10], Edufor s. r. o., který je výhradním dodavatelem produktů Vernier[11] (cena cca 31 400 Kč) do České republiky nebo polarimetry s klasickou sodíkovou výbojkou např. od firmy HELAGO-CZ, s.r.o.[12] (cena cca 27 500 Kč). Tato zařízení jsou častokrát pro školy cenově nedostupné. Hlavní myšlenkou tohoto článku je navrhnout „polarimetr“ s využitím mobilního chytrého telefonu s polarimetrickou kyvetou, kterou si mohou studenti vytvořit v rámci polytechnické výchovy a tak zdokonalovat svou zručnost. V našem navrženém zařízení měříme intenzitu osvětlení, která roste (klesá) s nárůstem (poklesem) koncentrace opticky aktivní látky. Je cca 5–45 krát levnější než dostupné polarimetry, přičemž umožňuje dosáhnout výsledků vhodných pro demonstraci uvedeného jevu. V našem případě jsme použili: polarizační fólie – čtverce 10×10 cm, cena 100 Kč (cit.[13]), Plexisklo GUTTA Hobbyglas polystyrol 500 × 250 × 2 mm hladké čiré, cena 75 Kč (cit.[14]), plast (PVC) Plastová deska GUTTA Hobbycolor z tvrdé pěny 500 × 250 × 3 mm hladká, černá, cena 89 Kč (cit.[15]), LOCTITE 401 vteřinové lepidlo 3 g, cena 62 Kč (cit.[16]), LED dioda: 4,10 Kč (cit.[17]), 2 tužkové AA baterie: cca 24 Kč, držák baterie 2×AA: 13 Kč (cit.[18]), napájecí konektor: 6,90 Kč (cit.[19]), 4 ks krokosvorek: cca 20 Kč, držák telefonu / GPS na přísavku DOUBLE CLIPS Compass: cena 164 Kč (cit.[20]), gumová zátka 5 mm/9 mm, cena 13 Kč (cit.[21]). Cena dohromady tedy cca 571 Kč, přičemž fólie, PVC a plexisklo lze použít pro několik výrobků a chytrý mobil 0 Kč, pokud student vlastní, popř. cca 3000–5000 Kč. Vzhledem k jednoduchosti by mohl přístroj sloužit k levné analýze opticky aktivních látek a především k polytechnické edukaci studentů a žáků.

3. Návrh a realizace „polarimetru“ pro výuku

Koncept našeho levného a jednoduchého „polarimetru“ je postaven na nenáročném vytvoření polarimetrické kyvety s LED zdrojem záření a využití vybrané aplikace pro chytrý telefon a jeho senzoru jako detektoru intenzity osvětlení.

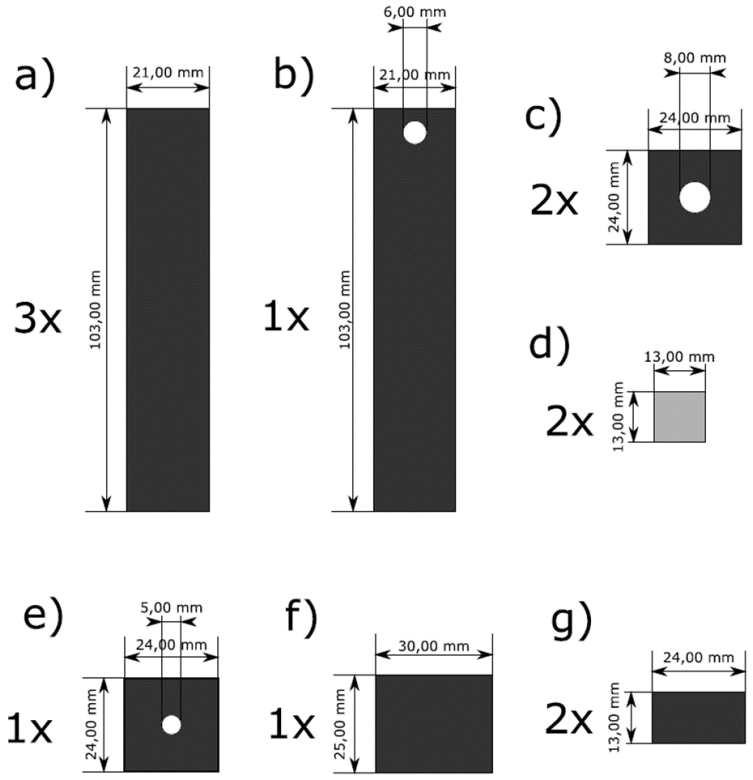
3.1. Příprava telefonu Lenovo K6

Při práci s polarimetrem sledujeme změnu úhlu natočení roviny polarizovaného světla vytvořeného prvním polarizačním filtrem procházejícího skrz kyvetu. Před detektorem je umístěn druhý polarizační filtr, přičemž sledujeme intenzitu osvětlení dopadajícího světla na detektor, která se mění v závislosti stočení roviny polarizovaného světla. Jelikož tedy detektorem zjišťujeme intenzitu osvětlení dopadajícího světla, použijeme např. volně stažitelnou aplikaci Lux Light Meter & Tools – Photometer PRO (Požadavky na systém: Android 7.0 a vyšší; velikost 5,5 MB)[22]. Aplikace slouží k měření intenzity osvětlení pomocí senzoru umístěného obvykle v blízkosti přední kamery, vyžaduje Android 7.0 a vyšší a je dostupná i v češtině. Aplikace měří intenzitu osvětlení v Luxech a foot-kandelách, dále umožňuje měnit rozsah měření, zobrazovat naměřené hodnoty v grafu a porovnávat naměřené hodnoty s hodnotami optimálního osvětlení k různým činnostem. Další funkce jsou podmíněné platbou a rozšíření aplikace na verzi Pro. Mezi tyto další funkce patří export naměřených hodnot do formátu .csv, kalibrace světelného senzoru a další funkce, jako např. určení požadovaného osvětlení k fotografování – funkce expozimetru. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny velkým písmem na obrazovce. Komu by nevyhovovala tato aplikace, může využít pro Android např. *Vieyra Software* (Požadavky na systém: Android 5.1 a vyšší; velikost 36 MB)[23] nebo *Phyphox* (Požadavky na systém: Android verze 4.0 a vyšší)[24].

Učitelé a jejich studenti, kteří si více oblíbili systém iOS, pak mohou vyzkoušet aplikace např. *Photone – Grow Light Meter 3.0.2* (Požadavky na systém: iOS 12.0 nebo novější; velikost 33,9 MB)[25] nebo *Lux Light Meter Free 1.1.1* [Software] (Požadavky na systém: iOS 7.1 nebo novější; velikost 8,1 MB)[26].

3.2. Sestavení kyvety k polarimetrii

Jako vhodný materiál k zamezení průchodu okolního světla k tvorbě polarimetrické kyvety byla zvolena černá PVC deska GUTTA z tvrdé pěny o šířce 3 mm (cit.[15]). Materiálem použitým pro okénka bylo plexisklo GUTTA z polystyrolu o šířce 2 mm (cit.[14]), stejně jako PVC deska jsou dostupné v HORNBACHu. Z PVC desky vyřežeme části podle plánku (obr. 1). Do horní a spodní části kyvety (obr. 1, část c) je třeba vyvrtat otvor o průměru 8 mm. Vyvrtané díry začistíme a na stranu, která bude směřovat dovnitř kyvety, vlepíme vteřinovým lepidlem[16] kus plexiskla (obr. 1, část d). Čtvereček plexiskla by měl mít hranu maximálně 13 mm a minimálně 10 mm. Během lámání/řezání plexiskla dbáme na to, aby v plexiskle nevznikaly praskliny, které by negativně ovlivňovaly měření. Do jedné z bočních stran kyvety vyvrtáme otvor o průměru 6 mm, který bude sloužit k plnění a vyprazdňování kyvety (obr. 1, část b). Velikost tohoto otvoru je orientační a záleží na velikosti přichystané zátky. V našem případě jsme použili gumovou zátku Megamix (5 mm/9 mm a výška



Obr. 1. **Plán dílů potřebných k sestrojení polarimetrické kyvety:** a) boční stěny b) boční stěna s otvorem pro zátku c) horní a spodní stěny s otvorem pro okénka d) plexisklo do okének e) horní strana čepičky s otvorem pro LED f) zadní strana čepičky g) boční strany čepičky

20 mm)[21]. Otvor je důležité vyvrtat co nejblíže horní strany kyvety tak, aby v něm zátka těsnila a nevypadávala. Je dobré průběžně zkoušet velikost vyvrtaného otvoru, abychom si byli jistí tím, že zátka skutečně dobře těsní. Po úspěšném odvrtání otvoru slepíme dohromady vteřinovým lepidlem[16] zbytek kyvety. V tomto okamžiku je vhodné vyzkoušet vodotěsnost kyvety. Kyvetu naplníme vodou, a pokud některý ze spojů protéká, kyvetu vysušíme a spoj znovu přetřeme lepidlem. Pokud kyveta těsní, vystřihneme dva kousky polarizačního filtru z polarizační fólie (10 × 10 × 0,1 cm, lineární polarizace) (zakoupen[13]) takové velikosti, aby pokryly „okénka“ na horní a spodní straně kyvety. Jelikož během měření zjišťujeme změnu intenzity osvětlení, které přes kyvetu s roztokem projde, v porovnání s čistým rozpouštědlem, je třeba nalepit polarizační filtry tak, aby k sobě byly pootočeny o úhel přibližně 45°. Abychom se ujistili, že je vše správně, jeden kousek filtru přilepíme před okénko pomocí průhledné lepicí pásky, kyvetu si nasměrujeme proti jakémukoliv zdroji světla (např. denní světlo, žárovka, zářivka) tak, abychom světlo skrz ni viděli. Vezmeme druhý kousek polarizačního filtru a točíme s ním tak dlouho, dokud světlo není zcela blokováno, tj. „nevidíme úplnou tmu“, ale světlo mírně prostupuje. Jelikož nebudeme stanovovat absolutní hodnoty osvětlení, toto nastavení bude postačující. Po přilepení druhého kousku polarizačního filtru lepicí páskou je kyveta úspěšně složená. Abychom zajistili, že zdroj světla použitý pro měření (LED dioda) je vždy ve stejné poloze a nedocházelo ke zkreslování výsledků, je dobré ještě sestrojit jakousi čepičku, která se na kyvetu velmi těsně nasadí (slangově „padne“) a je jí možné nasunout vždy do stejné, či alespoň do co nejpodobnější polohy. Rozměry dílů této „čepičky“ (obr. 1, části e, f a g) je však třeba vždy doupravit podle konkrétní kyvety tak, aby co nejtěsněji pasovala a zamezilo se nechtěnému pohybu. Díly čepičky slepíme dohromady tak, abychom měli tři boční strany (obr. 1, části f a g) a jednu stranu horní (obr. 1, část e). Do horní strany je třeba odměřit bod, do kterého vyvrtáme díru o průměru 5 mm, aby byla co nejpřesněji před okénkem, do této díry se pak přilepí (např. tavnou pistolí) LED dioda s emisním maximem obdobným sodíkové výbojce používané v polarimetrech (LED-5 mm, jantarově žlutá, 6000 mcd, 590 nm-GM: 4,10 Kč, dsh.511-735, cit.[17]). LED diodu je dobré ještě před přilepením odstínit (např. elektrikářskou páskou či smršťovací bužírkou), aby zbytečným

svícením do okolí neznepříjemňovala obsluhu měření. S takto připravenou kyvetou můžeme začít měřit.

3.3. Sestavení aparatury k měření

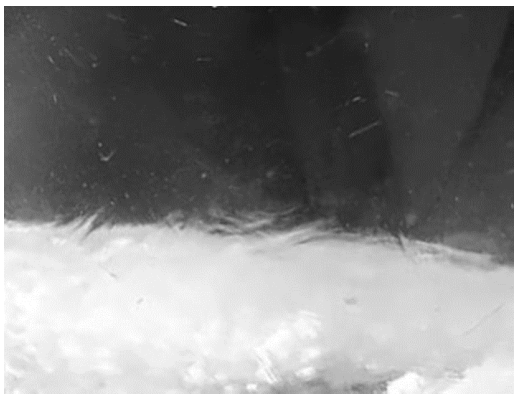
Kyvetu upevníme do stojanu na mobil[20] a umístíme nad mobil tak, aby plnící otvor se zátkou směřoval nahoru. Na kyvetu nasadíme čepičku s LED diodou a LED diodu připevníme krokosvorkami ke zdroji elektrického proudu (2 tužkové AA baterie). Na stůl položíme papír, na něj mobilní telefon a držák s kyvetou. Telefonem pohybujeme po papíře takovým způsobem, aby procházející světlo dopadalo na senzor intenzity osvětlení (obr. 2). Vzdálenost mezi mobilem a spodní stranou kyvety by měla být cca 1 cm. Pro nastavení a kontrolu vzdálenosti si můžeme pomoci např. tloušťkou zvýrazňovače, 4 desetikorunových mincí, krabičkou sirek, atd. Pro lepší reprodukovatelnost výsledků na papír tužkou obkreslíme – zaznamenáme polohu – jak telefonu, tak i držáku kyvety. Je vhodné podotknout, že každý jednotlivý přístroj je svým způsobem unikátní, jedinečný, a tím pádem budou pravděpodobně i jiné absolutní hodnoty i jiné kalibrační křivky (přímky), což však může vést studenty k soutěživosti i k zamyšlení, jak svůj přístroj vylepšit. Na druhou stranu, pomocí každého vlastního přístroje by každý student měl dospět k obdobnému (ne-li stejnému) závěru v určení koncentrace.

Obr. 2. **Sestavená aparatura pro polarimetrické měření.** V držáku na mobil upevněna vytvořená polarimetrická kyveta, přes kterou je prosvěcováno pomocí LED diody. S mobilem se pak manipuluje tak, aby sensor zachytil co nejvíce propuštěného světla přes polarimetrickou kyvetu – vycentrovaný paprsek – viz šipka

3.4. Měření a ověření funkčnosti polarimetru

Pro samotné měření je třeba kyvetu co nejpečlivěji napustit roztokem a zamezit vzniku bublin. Injekční stříkačkou naplníme kyvetu. Absenci bublin zajistíme tím, že kyvetu zazátkujeme a podíváme se proti světlu skrz okénka. Toto je nutné provést ve stejné pozici jako při měření, tedy horní stranou (s LED) vzhůru. Pokud se nám do kyvety dostala menší bublina, je možné bublinu natřepat na stranu mimo okénka (kvůli nedokonalostem kyvety není vždy možné se vyhnout bublinám). Jelikož nejčastěji pracujeme s roztoky cukrů, je také nutné kyvetu důkladně protřepat. Pokud například roztok v kyvetě ředíme, může nám vzniknout rozhraní dvou roztoků o rozdílných hustotách. To, že je roztok dostatečně promíchán, zajistíme opět vizuální kontrolou, kdy po např. přidání vody do koncentrovaného roztoku cukru již není možné pozorovat ohýbání světla (obr. 3). Kyvetu protřepeme a provedeme vizuální kontrolu. Vzorek je dobře promíchaný až tehdy, kdy nepozorujeme žádné ohýbání světla. Aby byla funkčnost polarimetru ověřena, byla připravena kalibrační řada roztoků sacharosy. Naměřené hodnoty a získaná závislost jsou shrnuty níže (tab. I a obr. 4). Dále byly připraveny dva kontrolní vzorky roztoku sacharosy a naměřené hodnoty korespondující k těmto roztokům byly srovnány s hodnotami vypočítanými z kalibrační řady (tab. II).

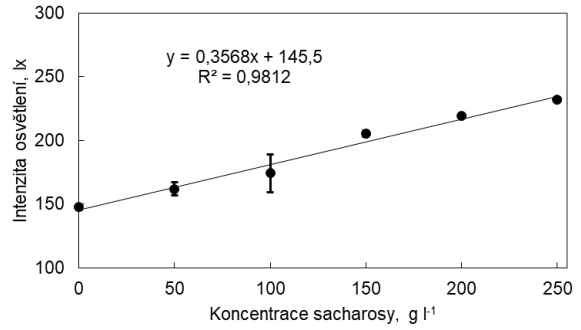
Tímto způsobem jsme si ověřili funkčnost našeho zařízení a můžeme přejít k reálné školní úloze. Byla připravena a proměřena kalibrační řada roztoku sacharosy, přičemž byl připraven roztok 100 g l^{-1} sacharosy, kterým byla naplněna kyveta a třikrát odměřena hodnota. Z kyvety bylo odsáto stříkačkou požadované množství roztoku a doplněno vodou. Takto připravený roztok byl velmi důkladně promíchán (ujistíme se pohledem skrz kyvetu



Obr. 3. **Jev doprovázející rozpouštění cukru ve vodě.** Díky rozdílné koncentraci při pomalém rozpouštění cukru vzniká gradient hustoty a dochází k pozorovatelnému ohybu světla

Tabulka I
Naměřené a průměrné hodnoty intenzity osvětlení získané pomocí mobilního polarimetru a kalibrační řady koncentrací roztoku sacharosy

Koncentrace [g l^{-1}]	Intenzita osvětlení [lx]			Průměr
0	150	147	146	148
50	162	167	157	162
100	178	187	158	174
150	205	203	208	205
200	220	218	220	219
250	230	234	232	232



Obr. 4. **Graf zobrazující získanou závislost intenzity osvětlení (lx) na koncentraci roztoku sacharosy**

proti světlu, že již nepozorujeme žádné ohyby světla) a třikrát proměřen. Stejně se postupovalo, dokud jsme neproměřili všechny roztoky kalibrační řady. Naměřené hodnoty byly vloženy do tabulky (tab. III) a vypočítány průměrné hodnoty. Průměrné hodnoty byly vyneseny do grafu proti koncentracím (obr. 5).

Jako příklad praktického využití můžeme zvolit vzorky bez cukru **A** – např. neslazenou neochucenou minerálku (např. vodovodní voda), vzorek vody s obsahem cukru **B** – běžná ochucená a slazená minerálka (např. Ondrášovka, Jemně perlivá s příchutí malina, dle etikety[27] obsahující 48 g l^{-1} cukru) a vzorek limonády **C**, např. tonicu (Schweppes Indian tonic 1,5 l, dle etikety[28] obsahující 86 g l^{-1} cukru). Pro jednotlivé vzorky jsme naměřili intenzity osvětlení pro A: 205 lx, B: 253 lx a C: 269 lx. Z kalibrační rovnice byla vypočítána hodnota koncentrace cukru pro neslazenou minerálku **A** (nulová koncentrace cukru), což odpovídá vodě. Pro vzorky **B** a **C** jsme určili koncentraci 57 a 79 g l^{-1}, což je více, resp. méně než je uvedeno na etiketě.

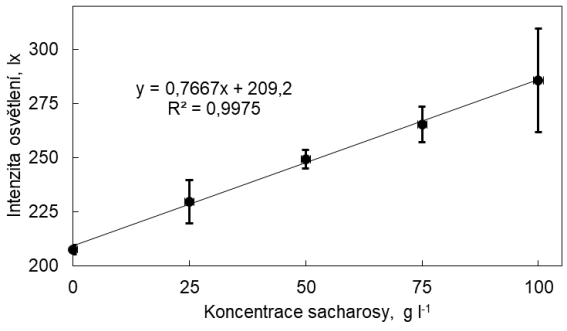
Relativně velký rozdíl může být způsoben několika faktory, které je třeba zohlednit. Jedním z nich je přesnost přístroje RSD do 10 % (tj. relativní směrodatná odchylka, RSD = (SD/průměr) × 100 %) (rozdíl mezi jednotlivými měření při jedné koncentraci je až 47 luxů), proto je taky třeba měřit několikrát. Z důvodu nedostupnosti kalibračních zdrojů nebyla provedena kalibrace na absolutní hodnoty intenzity osvětlení. Značné rozdíly v hodnotách intenzity osvětlení mohou být způsobeny novým sestavením aparatury resp. stárnutím monočlánků, popřípadě přípravou roztoků. Čím bude student pečlivější (např. při míchání roztoků, nastavení polarimetrické kyvety a senzoru mobilního telefonu), tím bude reprodukovatelnost a přesnost lepší, což může vést k soutěživosti mezi studenty. Dále je nutné si uvědomit, že kalibrační řada odpovídá roztoku čisté sacharosy. V případě slazené či neslazené minerálky a limonády se však jedná o vodný roztok sacharosy a dalších často opticky aktivních látek. Slazené minerálky obsahují např. aroma, které může být opticky aktivní, v některých minerálkách a limonádách je přidaný vitamin C nebo např. chinin v toniku. Z tohoto důvodu byly

Tabulka II
Srovnání naměřených hodnot intenzit osvětlení kontrolních vzorků s hodnotami vypočítanými z kalibrační řady

Koncentrace [g l^{-1}]	Průměr naměřených hodnot [lx]	Vypočítaná hodnota [lx]
120	188,8	188,3
180	201,0	209,7

Tabulka III
Naměřené a průměrné hodnoty intenzity osvětlení získané pomocí mobilního polarimetru a kalibrační řady koncentrací roztoku sacharosy

Koncentrace [g l^{-1}]	Intenzita osvětlení [lx]			Průměr
0	210	207	206	208
25	229	240	220	230
50	246	248	254	249
75	256	272	268	265
100	260	307	290	286



Obr. 5. **Získaná závislost kalibrační řady polarimetrie.** Graf zobrazující získanou závislost intenzity osvětlení (lx) (±SD, n=3) na koncentraci roztoku sacharosy

také vybrány nápoje s dostatečně rozdílným obsahem cukru, aby svou demonstrační a motivační funkci splnily. Srovnání s jiným, komerčním, polarimetrem by jistě bylo vhodné, avšak je třeba si uvědomit, že oproti koncentraci nevynášíme úhel otočení jako při použití běžných polarimetrů, ale hodnoty intenzity osvětlení, v čemž je náš návrh originální. Domníváme se, že pro demonstraci sledování opticky aktivních látek je námi navržený přístroj pro školní účely vyhovující.

4. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit cenově dostupné zařízení pro demonstraci využití mobilního chytrého telefonu pro měření koncentrace opticky aktivních látek. Navržené zařízení je určeno pro výuku na středních školách popř. pro zvídavé zájemce, kteří se nespokojí s využíváním telefonu jen pro telefonování, focení, sociální sítě apod.

Pomocí našeho zařízení je možné orientačně stanovit koncentraci sacharosy, ale i s velkou pravděpodobností koncentraci dalších látek, které stáčejí rovinu lineárně polarizovaného světla. Zvídaví jedinci se jistě nespokojí s uvedeným příkladem stanovení koncentrace sacharosy, ale tvůrčím způsobem naleznou i další látky, které je možné pomocí doma sestaveného přístroje kvantifikovat. Pro učitele byl připraven online text *Stanovení obsahu cukru v nápojích pomocí mobilního polarimetru*[29], který obsahuje metodický list pro učitele a je zpracován jako správně vypracovaný protokol. K jednotlivým krokům jsou přidány poznámky pro učitele tak, aby se mohli na provedení úlohy co nejlépe připravit. Text[29] zahrnuje také návod a pracovní list pro studenty.

Autoři děkují kolegyni Kateřině Trčkové za konstruktivní připomínky k Návodu k úloze s pracovním listem: Stanovení obsahu cukru v nápojích pomocí mobilního polarimetru.

LITERATURA

1. Mikeš J., Hlavatý J.: Chem. Listy *114*, 291 (2020).
2. Chroust M., Kůžel F.: Smartphony mají 19 smyslů. Znáte je všechny? 2015. Dostupné z: https://mobilmania.zive.cz/clanky/smartphony-maji-19-smyslu-znate-je-vsechny/sc-3-a-1329584/default.aspx#articleStart, staženo 10. 11. 2022.
3. Gonzáles M. A., Gonzáles M. Á., Martín E., César Llamas C., Martínez Ó., Vegas J., Mar Hergudeas M., Hernández C.: Teaching and Learning Physics with Smartphones. *Blended Learning: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* [online]. 2017. Dostupné z: doi:10.4018/978-1-5225-0783-3.ch044, staženo 15. 9. 2022.
4. Grasse E. K., Torcasio M. H., Smith A. W.: Journal of Chemical Education [online]. *93(1)*, 146 (2016). Dostupné z: doi:10.1021/acs.jchemed.5b00654, staženo 15. 9. 2022.
5. Eliášová I., Literák J.: Chem. Listy *111*, 449 (2017).
6. Burggraaff O., Perduijn A. B., van Hek R. F., Schmidt N., Keller C. U., Snik F.: A universal smartphone add-on for portable spectroscopy and polarimetry: iSPEX 2. Micro-and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications XII [online]. *11389*, 84-99 (2020). Dostupné z: doi: 10.1117/12.2558562, staženo 10. 11. 2022.
7. Kvittingen L.: Journal of Chemical Education [online] *97*, 2196 (2020). Dostupné z: doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00763, staženo 10. 11. 2022.
8. Bernard P., Mendez J. D.: Journal of Chemical Education [online] *97(4)*, 1162 (2020). Dostupné z: doi: 10.1021/acs.jchemed.9b01083, staženo 10. 11. 2022.
9. Klouda P.: *Moderní analytické metody,* str. 64, 2., upr. a dopl. vyd. Ostrava 2003.
10. Wireless Polarimeter, PASCO. https://www.pasco.com/products/sensors/wireless/ps-3237, staženo 12. 11. 2022.
11. Go Direct Polarimetr, Vernier. https://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/gdx-pol, staženo 15. 9. 2022.
12. Polarimetr, Helago. https://www.helago-cz.cz/eshop-polarimetr-230-v-50-60-hz-139545.html, staženo 15. 9. 2022.
13. Polarizační fólie. ÚDiF – Úžasné divadlo fyziky [online] Brno. https://udif.cz/produkt/polarizacni-folie/ , staženo 10. 11. 2022.
14. Plexisklo GUTTA Hobbyglas polystyrol 500x250x2 mm hladké čiré, HORNBACH. https://www.hornbach.cz/p/plexisklo-gutta-hobbyglas-polystyrol-500x250x2-mm-hladke-cire/1477798/, staženo 13. 11. 2022.
15. Plastová deska GUTTA Hobbycolor z tvrdé pěny 500 x 250 x 3 mm hladká, černá, HORNBACH. https://www.hornbach.cz/p/plastova-deska-gutta-hobbycolor-z-tvrde-peny-500-x-250-x-3-mm-hladka-cerna/3888008/, staženo 13. 11. 2022.
16. LOCTITE 401 vteřinové lepidlo 3g, Heureka. https://tmely-silikony-lepidla.heureka.cz/loctite-401-vterinove-lepidlo-3g/?gclid=EAIaIQobChMI0uXovfaj-wIVUNTtCh2ieAbNEAQYCCABEg-Lnp_D_BwE#prehled/, staženo 13. 11. 2022.
17. LED 5 mm, jantarově žlutá. GM electronic. https://www.gme.cz/led-5mm-amber-yellow-6000-10, staženo 15. 9. 2022.
18. Držák baterie 2xAA. GM electronic. https://www.gme.cz/drzak-baterie-2xaa-a306321, staženo 15. 9. 2022.
19. Napájecí konektor. GM electronic. https://www.gme.cz/napajeci-konektor-pro-9v-baterii-bs-er-1, staženo 15. 9. 2022.
20. Držák telefonu / GPS na přísavku DOUBLE CLIPS Compass. Autodíly Pema. https://www.autodily-pema.cz/drzak-telefonu-gps-na-prisavku-double-clips-compass-1?gclid=EAIaIQobChMI1rTJsPSj-

wIVFQGLCh1JmQqsEAQYASABEgIhTvD_BwE, staženo 13. 11. 2022.
21. Gumová zátka 3,5 mm/6,5 mm. Megamix. https://www.megamix.shop/gumova-zatka-fi-9-5mm-vyska-20mm, staženo 13. 11. 2022.
22. Pardel P.: *Lux Light Meter & Tools - Photometer PRO 4.8.1* [software]. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pardel.photometer, staženo 15. 9. 2022.
23. Vieyra Software. *Physics Toolbox Sensor Suite 2022.03.31* [software]. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite, staženo 15. 9. 2022.
24. Phyphox, RWTH Aachen University. [software]. https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox, staženo 15. 9. 2022.
25. Lightray Innovation GmbH. *Photone – Grow Light Meter 3.0.2* [Software]. https://apps.apple.com/cz/app/photone-grow-light-meter/id1450079523?l=cs, staženo 15. 9. 2022.
26. Buttua N.: *Lux Light Meter Free 1.1.1* [Software]. https://apps.apple.com/cz/app/lux-light-meter-free/id1171685960?l=cs, staženo 15. 9. 2022.
27. Ondrášovka Jemně perlivá s příchutí malina. https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001120838877, staženo 14. 11. 2022.
28. Schweppes Indian tonic. https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001120588256, staženo 14. 11. 2022.
29. Lach M.: *Stanovení obsahu cukru v nápojích pomocí mobilního polarimetru* [online]. https://kch.osu.cz/index.php/didakticka-sekce/vyukove-materialy/prirodni-latky/, staženo 15. 9. 2022.

J. Kalina[a] and M. Lach[a,b] *([a] Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Ostrava, Ostrava, [b] Secondary Technical School of Chemistry of Academician Heyrovský, Ostrava, Czech Republic):* **Experiment for „Polarimetry“ Teaching**

Polarimetry enables one to quantitatively determine certain substance (optically active substances) in a solution on the basis of rotation of the plane of the polarized light of a single wavelength. The main goal of this work is to measure concentration of optically active substances using homemade device, so called “polarimeter”. The device measures the degree of light attenuation instead of the polarization angle of the polarized light as in commercial instruments. The designed “polarimeter” allows one to determine the concentration of optically active substances. It is a home-made device using a smartphone with a selected software, which is many times cheaper than commercially available ones. The authors would like to see the device find use in polytechnic education of students.

Keywords: polarimetry, smartphone, LED, quantitative determination