

Fyzikální úlohy Evropské experimentální olympiády EOES

JAN KRÍŽ, FILIP STUDNIČKA, LEONTÝNA ŠLÉGROVÁ, JAN ŠLÉGR

Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové

Evropská olympiáda experimentální vědy (EOES – z angl. *European Olympiad of Experimental Science*) je přírodovědná vědecká soutěž s důrazem na týmovou spolupráci pro šestnáctileté a mladší studenty ze zemí Evropské unie. EOES poskytuje mladým studentům příležitost ukázat své vědecké schopnosti a podněcuje nadané studenty přírodních věd k rozvoji, a tím podporuje jejich budoucí vědeckou kariéru. Úlohy EOES jsou založeny na praktickém experimentování, jsou intelektuálně náročné a vyžadují týmovou práci. Specifikem soutěže je to, že integruje tři přírodovědné disciplíny – biologii, chemii a fyziku – do jednoho logického celku. Tradičně jsou úlohy problémově orientované, kontextové a propojené s reálným světem. Do řešení se zapojují všichni členové týmu, což podporuje jejich schopnost kooperativního řešení problémů. Tyto problémy obvykle vyžadují kreativní interpretaci experimentálních dat včetně často překvapivých a vysoce kladně hodnocených alternativních řešení. Soutěž navazuje na podobnou soutěž EUSO, které se tradičně účastnilo 25 států EU. Každý stát vysílá po dvou studentských týmech spolu s trojicí oborových expertů – členů mezinárodní jury. Celkem se tedy jedná o 150 studentů a cca 75 vědců a pedagogů, kteří každoročně v některé ze zemí Evropské unie tráví týden aktivitami rozvíjejícími talent budoucích vědeckých nadějí.

Dalším specifikem soutěže je, že se snaží být motivační, a proto každý zúčastněný tým získá některou z medailí. O počtu zlatých medailí rozhoduje mezinárodní jury, ale počet zlatých medailí by neměl přesahovat 10 % soutěžních týmů, počet zlatých a stříbrných dohromady by měl být přibližně 40 % a počet bronzových týmů musí být větší nebo roven polovině všech soutěžních týmů.

Soutěž pod názvem EOES poprvé proběhla v roce 2021, a to v distribuované formě. Maďarští organizátoři připravili soutěžní experimenty a

rozeslali je do všech soutěžních zemí. V každé zemi se pak oba soutěžní týmy sjely na jedno místo, kde úlohy řešily. Diskuse úloh mezinárodní jury, jakožto i následné moderace výsledků probíhaly pomocí prostředků dálkové komunikace. Naši studenti se v této soutěži rozhodně neztratili a získali jednu zlatou a jednu bronzovou medaili.

Během příprav EOES 2021 byli osloveni představitelé České republiky vzhledem k pokročilým přípravám ČR na původně plánovaný 18. ročník EUSO (přípravené úlohy a logistika) s žádostí o uspořádání EOES v roce 2022. Soutěž proběhla pod záštitou MŠMT a rektorů Univerzity Karlovy a Univerzity Hradec Králové.

Hradec Králové se ukázal jako ideální lokalita s dvěma univerzitami (UHK a UK). Tomuto ověřenému univerzitnímu „společenství“ se již v roce 2011 podařilo zorganizovat vysoce úspěšně hodnocené EUSO, a to opět v situaci ohrožující kontinuitu jinak mimořádně inovativní a úspěšné soutěže. Česká republika, (mj. spoluzakladatel Mezinárodní fyzikální, biologické i chemické olympiády) si tímto způsobem v minulých letech vydobyla velký kredit.

EOES 2022

Když se v roce 2011 konala v České republice soutěž EUSO (viz náš předchozí článek [2]), tématem první úlohy bylo české pivo a tématem druhé úlohy kontaktní čočky. V roce 2022 uplynulo 200 let od narození *Johana Gregora Mendela*, objevitele zákonů dědičnosti, proto jedno z témat bylo jasné. V biologické části úlohy tedy soutěžící zkoumali zákony genetiky, v chemii deoxyribonukleovou kyselinu a antivirotika z dílny prof. Holého. Fyzikální část úloh, která měla být s tímto tématem propojená, se zaměřila na slavný difrakční rentgenový snímek pořízený v roce 1953 *Rosalindou Franklinovou* a jejím studentem *Raymondem Goslingem*, který prokázal, že molekula DNA má tvar dvoušroubovice.

Co se týče druhé úlohy, zde jsme využili faktu, že Česká republika je jedním z největších producentů kyseliny hyaluronové na světě. Jedná se o lineární polysacharid o vysoké molekulové hmotnosti, který se běžně vyskytuje v lidském organismu, ale má i různá lékařská využití: Pro své lubrikační vlastnosti se např. používá jako náhradní výplň opotřebovaných kloubů, v oftalmologických operacích a podobně. Jak víme z televizních reklam, používá se i v různých krémech proti vráskám (mechanismus účinku by měl pravděpodobně spočívat v hydrataci, protože kyselina hyaluronová velmi dobře váže vodu).

Úloha 1: DNA

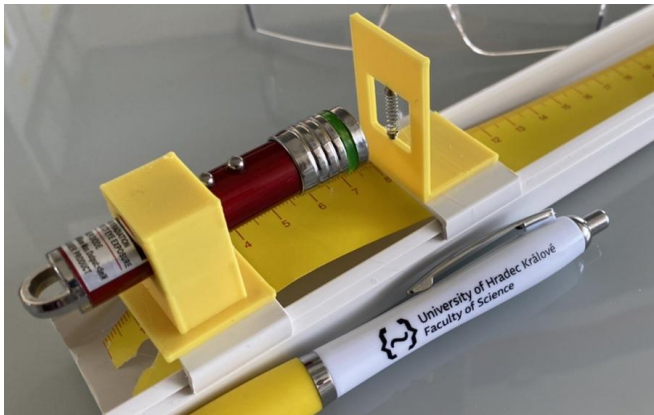
V biologické části úlohy soutěžící zkoumali několik vzorků DNA a hledali mutace, které mají lepší imunitní odpověď proti různým nemocem jako COVID-19 a cystická fibróza, a to pomocí gelové elektroforézy.

Po krátkém rozmýšlení, jakou experimentální úlohu navázat na DNA, jsme se rozhodli pro difrakční experimenty. Protože téma difrakce bylo pro soutěžící zcela nové (na rozdíl od úlohy 2, viz dále), bylo nejdříve v zadání nutné vyložit základní pojmy vlnové optiky a interference světla.

V první části úlohy měřili soutěžící průměr lidského vlasu, který byl uchycen v držáku. Pro maximum a minimum při difrakci na válcové překážce platí v prvním přiblížení

$$d \sin \theta_{\min} = k\lambda,$$
$$d \sin \theta_{\max} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2},$$

kde k je řád maxima (minima), λ vlnová délka použitého záření a d průměr překážky. Vztahy lze odvodit buď z úvah o interferenci paprsků, nebo využít Babinetův princip – vztahy pro maxima a minima jsou opačné než pro případ štěrbin. Soutěžící měřili polohu minim, protože ta jsou stejně daleko od sebe (naopak nulté maximum je trochu širší než maxima vyšších řádů).

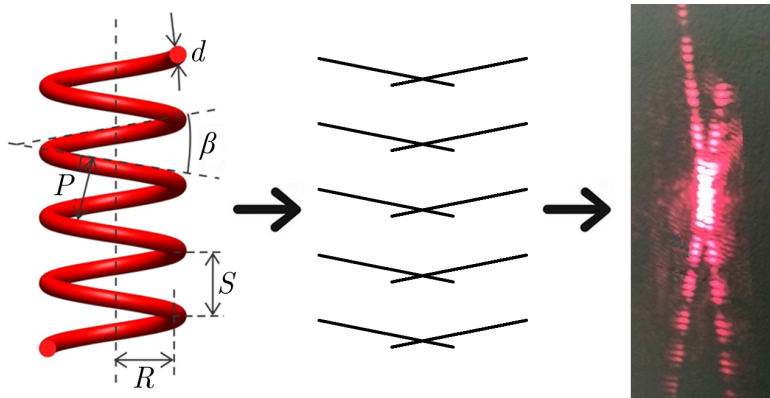


Obr. 1 Držák laseru a pružiny na optické lavici

Pro měření byla zkonstruována optická lavice (obr. 1), které obsahovala držák laserového ukazovátka, vzorku (vlasu nebo pružinky) a stínítka. Základem optické lavice je elektrikářská lišta, která umožňuje prvky posunovat a poskytuje potřebnou mechanickou pevnost. Když se v České republice podobná soutěž konala v roce 2011, tématem byly kontaktní čočky. Optická lavice pro paprskovou optiku byla konstruována obdobně, jen držáky bylo zapotřebí ohýbat z plechu [2]. V letošním roce byly držáky navrženy pomocí CAD systému a vytištěny na 3D tiskárně.

Typický výsledek tloušťky vlasu byl $d = 75(3) \mu\text{m}$ a výsledky se mezi jednotlivými skupinami příliš nelišily (všechny skupiny měly jako vzorek vlas od stejného člověka).

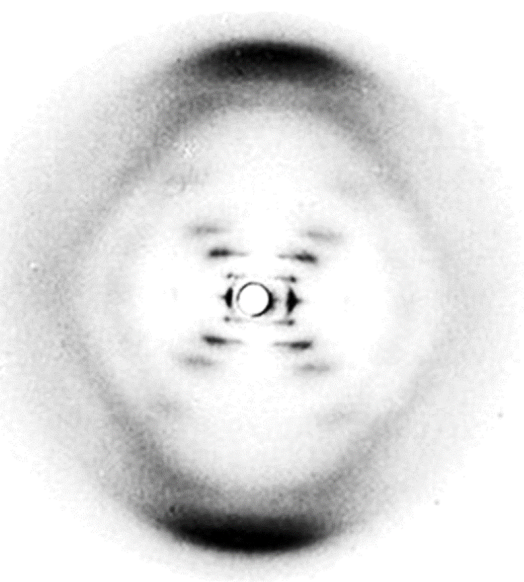
Druhá část úlohy se týkala difrakce na šroubovici, kterou reprezentovala pružinka uchycená v držáku (obr. 1). Pružinka se chová jako dvojice zkřížených mřížek vzájemně posunutých o úhel β . Na stínítku vznikne difrakční obrazec ve tvaru písmene X (obr. 2), přičemž oba segmenty svírají právě úhel β . Na difrakčním obrazci jsou patrné dvě struktury: hrubá a jemná. Větší, hrubá struktura má svůj původ v menší prostorové struktuře a lze z ní určit průměr drátu d , ze kterého je pružina namotána. Menší, jemná struktura vzniká difrakcí na větší prostorové struktuře a lze z ní určit vzdálenost jednotlivých závitů P (obr. 2).



Obr. 2 Difrakce na šroubovici

Soutěžící určovali obě tyto veličiny a dostali se k typickým výsledkům $d = 0,20(2) \text{ mm}$ a $P = 1,2(1) \text{ mm}$, které jsou v souladu s hodnotami určenými z makrofotografie pružinky při přípravě úlohy.

V poslední části úlohy pracovali soutěžící s původním historickým snímkem (Plate 51). Bylo zadáno měřítko snímku, na kterém za pomoci posuvného měřítka odměřovali vzdálenost minim (na obr. 3 se jako tmavé proužky objevují interferenční minima jemné struktury), ze kterých následně určovali úhel β a vzdálenost závitů dvojšroubovice DNA. Soutěžící se dostali k typickým výsledkům $P = 3,9(2)$ nm, $\beta = 79(1)^\circ$.



Obr. 3 Rentgenový difrakční snímek molekuly DNA

Na závěr museli soutěžící zodpovědět otázku, proč je zapotřebí ke studiu struktury DNA použít rentgenové záření (jinými slovy, proč není možné použít světlo). Vzhledem k tomu, že se jedná o mezinárodní soutěž, kde jsou odpovědní archy přeloženy do národních jazyků, museli si vystačit s matematickými symboly a značkami fyzikálních veličin. I tak jsme ale získali i několik vysvětlení v litevštině, kyperské turečtině a dalších jazycích.

Pro labužníky v řadách čtenářů dodáváme dvě věci: výsledný difrakční obrazec je jednou z mnoha fyzikálních situací, kde vystrkuje růžky Besselova funkce (viz [3]). Dvojšroubovice se pak na snímku projeví tím, že chybí každé čtvrté minimum.

Úloha 2: Kyselina hyaluronová

V chemické části úlohy byla měřena viskozita kyseliny hyaluronové. Jedná se o klasickou úlohu, kdy v kapalině padá kulička, na kterou působí směrem dolů tíhová síla a proti směru pohybu odporová síla, jejíž velikost lze vypočítat ze Stokesova vzorce. Kulička velmi rychle dosáhne mezní rychlosti, přičemž platí

$$mg = 6\pi\eta Rv,$$

kde m je hmotnost kuličky, R její poloměr, v mezní rychlost a η hledaná dynamická viskozita. Vzhledem k tomu, že mezní rychlost je konstantní, bylo možné ji velmi jednoduše vypočítat z času, za který kulička urazila danou vzdálenost v injekční stříkačce se vzorkem. Pro kyselinu hyaluronovou se nejděším řetězcem (o molekulové hmotnosti 1 610 kilodaltonů) byl tento čas téměř tři minuty, což vedlo k výsledné viskozitě v desítkách Pa·s, tedy přibližně o řád více než v případě glycerolu a o čtyři řády více, než je tomu u vody.

První část fyzikální úlohy byla zaměřena na způsob, jakým kyselina hyaluronová váže vodu. Pro toto měření nebyla použita přímo kyselina hyaluronová, ale materiálový model, který váže vodu podobným způsobem, ale rychleji. Jednalo se o gelovou kuličku používanou v květinářství. Tyto kuličky se vyrábějí z polyakrylamidu, který vytváří síťovanou strukturu schopnou navázat velké množství vody (až stonásobky hmotnosti v suchém stavu). Soutěžící v pravidelných intervalech měřili průměr a hmotnost kuličky. Z původního průměru 1,9 mm a hmotnosti 0,002 g se po vložení do vody kulička zvětšila na 9,5 mm a 0,42 g, a to exponenciálně. Ze začátku totiž váže vodu velmi ochotně, ale čím více vody ve struktuře je, tím pomaleji se tam váže další. Poločas tohoto děje byl soutěžícími určen jako přibližně tři čtvrtě hodiny.¹⁾

Druhá část úlohy se již měřila se vzorkem vodného roztoku kyseliny hyaluronové, kde bylo kapkovou metodou měřeno povrchové napětí. Podstata kapkové metody spočívá v tom, že pokud budeme opatrně vytlačovat

¹⁾Ve fyzice jsou exponenciální děje poměrně časté: setkáváme se s radioaktivním rozpadem, Lambertovým–Beerovým zákonem, poklesem amplitudy oscilátorů, poklesem tlaku v atmosféře, vyběháním kondenzátoru. Stejnými zákony se řídí i časový vývoj výšky pěny na hladině piva. S ději, kde je exponenciela „na druhou stranu“, se setkáme např. při nabíjení kondenzátoru, což je fyzikálně stejný děj jako výše popsané vázání vody. Základem domácí laboratorní práce může být nárůst náboje na akumulátoru mobilního telefonu při jeho nabíjení.

kapalinu z injekční stříkačky, vznikající kapka se bude postupně zaškrcovat, jako když kape kohoutek. V okamžiku těsně před odtržením kapky platí

$$mg = \sigma 2\pi r,$$

kde σ je hledané povrchové napětí, m hmotnost kapky a $2\pi r$ obvod otvoru hrdla injekční stříkačky. Soutěžící opakovaně kapali padesát kapek vody a kyseliny hyaluronové na Petriho misku umístěnou na digitálních vahách, poloměr r byl zadán. Pro vodu byly typické výsledky jako $\sigma = 76,4(7) \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$, pro kyselinu hyaluronovou $\sigma = 64,6(8) \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$. Kyselina hyaluronová, která má větší viskozitu, tak má menší povrchové napětí, což bylo pro některé soutěžící překvapivé (tyto dvě veličiny ale nemusí být nutně korelovány).

Třetí část úlohy zkoumala lubrikační vlastnosti kyseliny hyaluronové. Pro tyto účely byla navržena nakloněná rovina, kterou je možné zafixovat v různých úhlech. Jedná se o dva elementy vytištěné na 3D tiskárně a spojené závitovou tyčí (obr. 4).



Obr. 4 Nakloněná rovina

Zároveň bylo na 3D tiskárně vytištěno zkušební tělísko. Spodní strana, která byla při tisku na podložce, je hladká, kdežto horní strana je hrubá, protože vrstvy tiskového materiálu nebyly natlačeny na tiskovou podložku. Bylo tak možné naměřit součinitel smykového tření hladké a hrubé strany. Těsně před tím, než se dá tělísko po nakloněné rovině do pohybu, platí

$$mg \sin \alpha_{\max} = f mg \cos \alpha_{\max} \Rightarrow f = \frac{\sin \alpha_{\max}}{\cos \alpha_{\max}} = \tan \alpha_{\max}.$$

Pro hrubou stranu byl určen součinitel smykového tření kolem 0,21. Tato hodnota je srovnatelná se spodní hranicí součinitele dřeva na dřevě.²⁾ Hladká strana má pak na nakloněné rovině součinitel smykového tření přibližně 0,16.

Následně bylo na nakloněnou rovinu nakapáno několik kapek kyseliny hyaluronové a pokus byl opakován. Při tomto měření došlo k poklesu součinitele smykového tření přibližně o dvě třetiny.

Závěr

Domnívali jsme se, že první úloha bude pro soutěžící náročnější, protože o difrakci světla zatím ve škole neslyšeli, a naopak teorii nutnou pro druhou úlohu studovali v prvním a druhém ročníku střední školy. Zpětná vazba od soutěžících však byla přesně opačná: Kapání, natírání nakloněné roviny a vůbec všeliké patlání kyseliny hyaluronové jim přišlo náročnější než měření interferenčních maxim a minim na stínítku v úloze číslo jedna. Celkově však byla fyzikální část úloh hodnocena kladně.

V tomto článku jsme popsali úlohy, které mohou být využity ve výuce středoškolské fyziky. Pokud na škole nejsou k dispozici sady pro měření součinitele smykového tření, lze je vyrobit na 3D tiskárně. Podobně měření průměru lidského vlasu může být pěknou laboratorní prací, která účinně podpoří výklad difrakce.

Literatura

- [1] European Olympiad of Experimental Science [on-line, cit. dne 2022-06-12]. Dostupné z <https://www.eoes.science/>.
- [2] *Kabrhel, P., Kříž, J., Štěgr, J.*: Fyzikální úlohy z mezinárodní přírodovědné olympiády EUSO 2011. Matematika–fyzika–informatika, roč. 21 (2011/2012), s. 475.
- [3] *Watson, J. D., Crick, F. H. C.*: Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*, vol. 171 (1953), s. 737–738. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/171737a0>.

²⁾Podle doc. Obrázka z MFU UK lze smykové tření definovat následovně: „Když dřevo dře vo dřevo.“