

Aktivita z fyziky mikrosvět

ZDENKA BROKLOVÁ

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

Současné trendy v našem školství i ve fyzikálním vzdělávání obecně ukazují na posun od tradičního výkladu a demonstračních pokusů spíše k aktivním formám studentské práce. K tomu je zapotřebí mít zásobu aktivit a pokusů, které mohou studenti sami provádět. Obzvláště obtížné se může zdát hledání námětů na samostatné experimentování ve fyzikálních oblastech, které jsou ve školním nebo domácím prostředí běžně nedostupné. Jednou z takových oblastí fyziky jsou obory popisující chování velmi malých věcí – atomová fyzika, fyzika atomového jádra, kvantová fyzika, apod. V tomto příspěvku představím dvě odlišné skupiny aktivit, které mohou být pro učitele inspirací.

První část příspěvku popisuje připravovanou publikaci, která je věnována jaderné fyzice, a inspiraci v ní najdou hlavně učitelé základních a středních škol. V druhé části příspěvku uvádím metodu, jak názorně ukázat studentům (budoucím učitelům fyziky) tvar atomových orbitalů a ohlasy studentů na její použití.

Jaderné hrátky

Na podzim roku 2006 vyjde útlá brožura, součást vzdělávacího programu společnosti ČEZ „Svět energie“, s názvem *Jaderné hrátky*. Tato publikace je určena hlavně žákům druhého stupně základních škol, ale i studentům středních škol, jejich učitelům a dalším zájemcům, kteří se chtějí hravou formou dozvědět něco o atomech a atomových jádrech.

Brožura obsahuje celkem devět kapitol – aktivit, jejichž seznam a zaměření je uvedeno v tabulce níže. Jaderná fyzika neumožňuje studentům experimentovat v tom pravém slova smyslu, proto se popisované aktivity snaží jednotlivé jevy spíše modelovat či přiblížit jejich podstatu vhodnou analogií.

V každé kapitole je nejprve stručně napsáno, čeho se daný model bude týkat, potom následuje seznam potřebných pomůcek a podrobný návod, co dělat, čeho si všimnout, zapisovat, apod. Poté je uvedeno stručné vysvětlení daných jevů, souvislosti se současným popisem atomu a jeho jádra, upozornění na slabiny použitého modelu, ale hlavně nápady na další experimentování nebo přemýšlení. Asi polovina pokusů je rozdělena na dvě části, jednodušší a časově méně náročnější, kterou zvládnou i mladší žáci, a pokročilejší, která již typicky vyžaduje nějaké další, např. matematické znalosti nebo je časově náročnější, ale na druhou stranu vede k hlubšímu pochopení daného tématu. Protože tato bro-

žurka má být sbírkou nápadů pro experimenty a ne učebnicí jaderné fyziky, jsou veškerá vysvětlení velmi stručná.

Hlavní kritéria výběru a vytváření aktivit zařazených do této publikace:

- běžné nebo velmi lehce dostupné a levné pomůcky
- jednoduchost provedení
- modelování pomocí reálných předmětů (dělat něco „vlastními rukama“)
- názorné propojení s příslušným fyzikálním modelem.

Tabulka 1: Seznam kapitol a jejich fyzikální obsah

Název kapitoly	Fyzikální obsah
Jak velký je atom?	představa rozměrů (škály) v atomovém světě
Rozptylování	metoda nepřímého měření
Pecka nebo puding?	princip rozptylového experimentu, tvorba a „správnost“ modelu
Hmotnost fazolia	izotopové složení, vážený průměr
Rozpad čocky	náhodný proces, poločas rozpadu, zákon velkých čísel
Poločas poklesu pивní pěny	měření časové závislosti, analýza experimentálních dat
Štěpení jádra	kapkový model jádra
Řetězové štěpení a jeho řízení	řetězová reakce
Stopování elementárních částic	princip detekce elementárních částic, princip bublinové komory

Pro získání konkrétní představy o obsahu dále uvádím zkrácený popis dvou navazujících aktivit. Podrobnější popis včetně vysvětlení a dalších poznámek naleznete v brožuře.

Příklad aktivit o Rutherfordovu rozptylu

Možná vám nebo vašim studentům vrtá hlavou, jak je možné, že pan Rutherford, který poslal proud alfa částic na zlatou folii a měřil jejich odchýlení od původního směru, mohl z tohoto měření poznat, že v atomu je malinkaté jádro.

Pojďme si to místo teoretického odvozování sami vyzkoušet. Pod kartónovou desku podloženou v rozích vlepěte nějaký předmět – kostku ze stavebnice, korkový špunt, ... Potom kamarád nebo vaši studenti mohou pod desku koulet kuličku a z její dráhy se snažit uhodnout, co jste tam schovali. Můžete uspořá-

dat závody v určování. Takto si studenti snadno udělají představu, jak je možné, ale zároveň i poměrně obtížné s rozptylu něco určit.



To byl ale jenom první stupínek na cestě za objevem atomového jádra. Po krátkém výkladu o tom, že částice/kuličky lze pouštět jenom z jednoho směru a že nemáme k dispozici dráhu každé jednotlivé částice, víme pouze, do kterých směrů se odchyluje více a do kterých méně částic, se můžeme pustit do dalšího experimentování.

Připravte si uspořádání experimentu podle fotografie. Sklenici, která zastupuje v našem experimentu atom, je třeba dobře zajistit proti posunu oboustrannou lepicí páskou. Protože při koulení rukou je poměrně obtížné udělit kuličce přesný směr, použijeme k jejímu rozjždění jakési „nakloněné“ koleje – rampu, kterou lze vyrobit např. z elektrikařské lišty, špejlí nebo nějaké vhodné stavebnice.

Stejně jako pan Rutherford budeme pouštět kuličku na sklenici a zaznamenávat na kruhovou stupnici, kam se odchýlí. Posouváním rampy postupně nasimulujeme proud částic.

V tomto experimentu není ani tak důležité naměřit „teoreticky zdůvodnitelnou“ křivku – to je experimentálně velmi náročné a i příslušné odvození této křivky by bylo nad síly běžných středoškolských studentů. Jde spíše o to, ukázat studentům detailně mechanismus rozptylového experimentu i náročnost vyhodnocení získaných dat. Uvědomme si, že získaný graf je to jediné, co nám rozptylové pokusy řeknou!

Malý pokus místo závěru

Nalijte si perlivou vodu nebo limonádu do vyšší průhledné sklenice a počkejte, až se uklidní. Po chvilce již nebudou ve sklenici putovat téměř žádné bublinky nahoru. Potom vhoďte do sklenice několik malých zrníček soli nebo

cukru a pozorujte, co se bude dít. A teď už je na vás pozorovaný jev popsat, vysvětlit a přemýšlet, jak souvisí se „stopováním elementárních částic“.

Doufám, že vás nejenom tyto ukázky, ale i samotná brožura zaujme a stane se dobrým zdrojem nápadů, jak jadernou fyziku, tedy poměrně abstraktní téma, učit zajímavěji.

Vizualizace orbitalů atomu vodíku

Následující projekt jsem dělala ve spolupráci s RNDr. Janem Koupilem (KDF MFF UK), který se ujal hlavně jeho programátorské části. I když materiály vytvořené v rámci tohoto projektu byly původně určeny pro vysokoškolské studenty, ukázalo se, že jsou velmi zajímavé i pro středoškolské učitele. I oni a jejich studenti narážejí na podobné obtíže, při snaze uchopit toto téma.

Podle zkušeností z vedení cvičení z kvantové mechaniky, je pro studenty velmi obtížné si pomoci obrázků standardně uváděných v učebnicích správně představit hustotu pravděpodobnosti vlastních stavů atomů vodíků. Zejména polární grafy jsou studenty zcela mylně chápány a interpretovány. Ve skutečnosti i používání pojmu orbital je nejednoznačné – používá se jako synonymum pro hustotu pravděpodobnosti nalezení elektronu ve vlastních stavech atomů či molekul, ale také může označovat místa, resp. jejich tvar, kde je tato hustota velká. Naším cílem nebylo řešit tyto terminologické potíže, ale snažit se příslušné funkce názorně zobrazit a pomoci tak studentům vytvořit si jejich správnou prostorovou představu.

I když na internetu i v jiných publikacích lze snadno nalézt mnoho programů na zobrazení těchto funkcí, nepodařilo se nám nalézt žádný nástroj, který by se dal použít k postupnému budování správné představy o jejich tvaru a o významu jednotlivých částí. Rozhodli jsme se tedy tuto mezeru zaplnit.

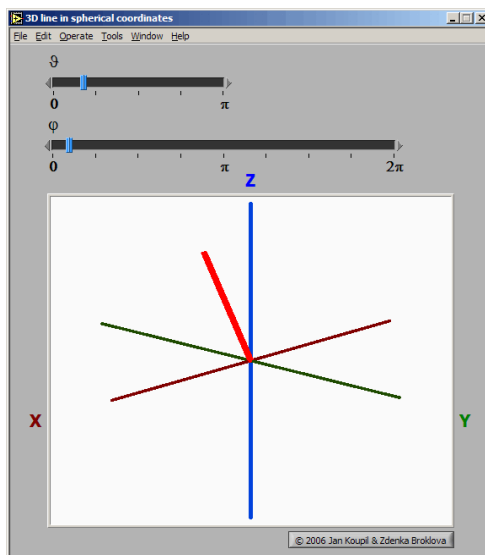
Vytvořili jsme soubor čtyř **interaktivních programů**, které zobrazují jednotlivé části vlnové funkce a hustoty pravděpodobnosti vlastních stavů atomu vodíku v různých typech grafu. Tyto programy jsou doplněny **souborem úloh** a vysvětlení, které provedou studenty krok za krokem celou vlnovou funkcí stacionárního stavu atomu vodíku.

Programy nám umožňují velmi dobré a přesné zobrazení funkcí, lepší než v obvyklých tištěných materiálech. Navíc jejich interaktivita (zvětšování a otáčení 3D grafů,...) zvyšuje zajímavost úloh pro studenty. **Aktivita** se snaží vést studenty k samostatné aktivní práci a přemýšlení. Pro vytváření úloh bylo také důležité, že pomocí programů si studenti mohou sami zkontrolovat své výsledky a poučit se ihned z vlastních chyb.

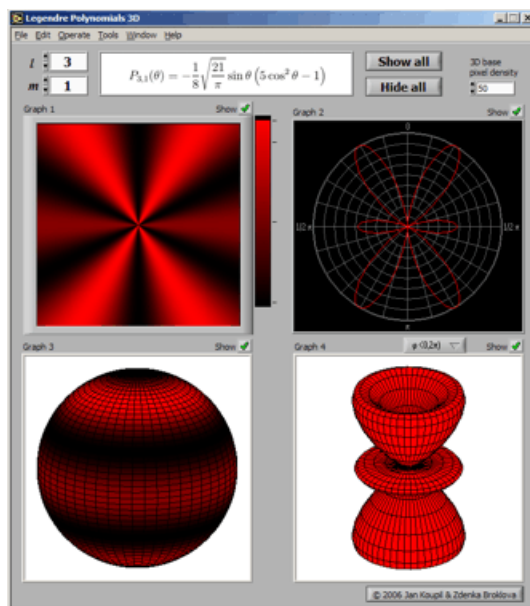
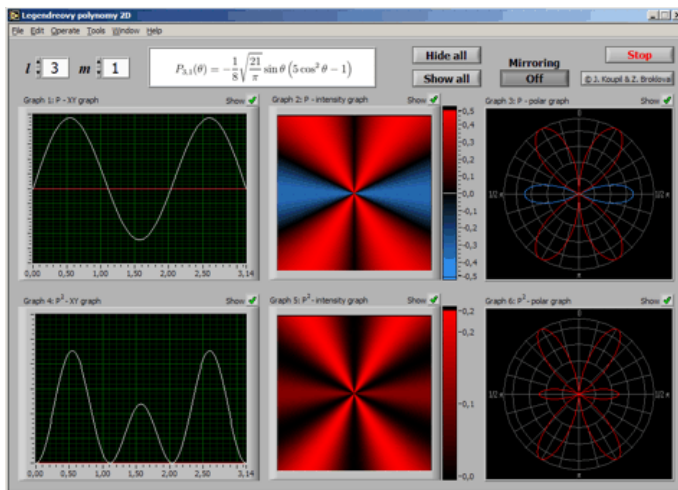
Programy

Poznámka: Následující obrázky slouží pro ilustraci, jak panely programů vypadají. V tištěné verzi sborníku pravděpodobně zaniknou veškeré detaily. Článek s barevnými a většími obrázky lze najít na [2], kde lze také získat popísané programy a úlohy.

3d_polopřímka – První program je velmi jednoduchý. Nakreslí polopřímku podle zadaných dvou úhlů — sférických souřadnic. Při práci s tímto programem by si měli studenti připomenout sférické souřadnice a zvyknout si na ně, protože pro práci s polárními grafy je porozumění sférickým souřadnicím nezbytné.

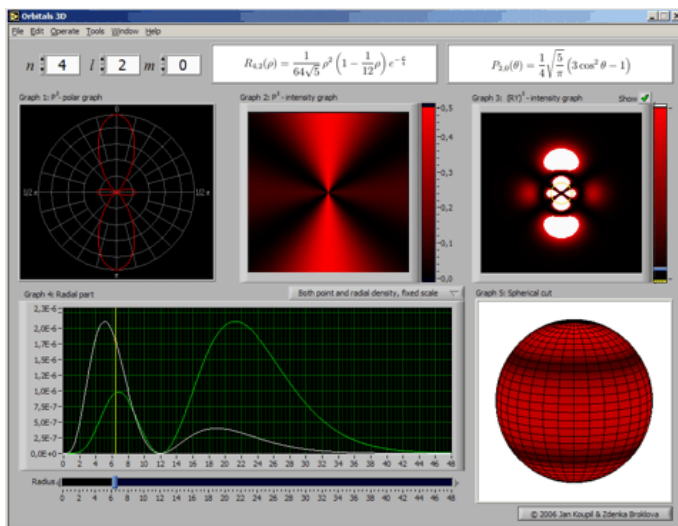


Legendre_2D – Druhý program nabízí tři různé pohledy na úhlovou část vlnové funkce (jedná se o tzv. Legendreovy polynomy s argumentem $\cos \theta$). Volbu funkce provedeme zadáním kvantových čísel l a m . První řada oken znázorňuje tuto funkci, ve druhé řadě je vykreslena její druhá mocnina. Zobrazen je „klasický“ kartézský graf, znázornění pomocí intenzity barvy a nejčastěji používané polární grafy. Všechny tyto grafy mohou být nezávisle vypnuty a zapnuty, což využívají úlohy pro studenty.



Legendre_3D – V dalším kroku přidáváme grafům třetí rozměr a zobrazujeme již celou úhlovou část hustoty pravděpodobnosti stacionárních stavů atomu vodíku. I zde studenti zadají kvantová čísla l a m a program vykreslí úhlovou část hustoty pravděpodobnosti (druhou mocninu příslušné kulové funkce). Dva grafy v horní řadě jsou totožné s grafy z předcházejícího programu, spodní dva jsou jejich 3D alternativy. Graf vlevo dole je kulový řez prostorem, intenzita barvy odpovídá funkční hodnotě, vpravo dole je 3D polární graf.

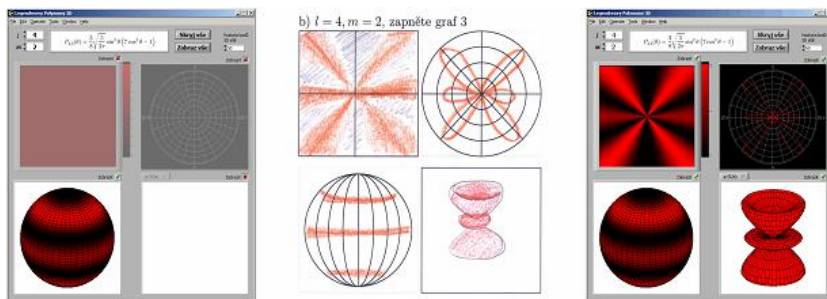
3D_orbitals – Poslední program ukazuje jak úhlovou, tak radiální část hustoty pravděpodobnosti vlastních stavů vodíku. Kromě grafů samostatně radiální části funkce (vlevo dole) a úhlové části (nahore vlevo a vprostřed) nabízí program také jejich součin ve tvaru rovinného řezu (vpravo nahore, řez je veden rovinou obsahující osu z , a kulového řezu (vpravo dole). Poloměr kulového řezu je možné změnit, přičemž aktuální hodnota poloměru je znázorněna v grafu radiální části a v rovinném řezu jako žlutá čára/kružnice.



Úlohy

Úlohy jsou založeny na aktivní práci studentů s připravenými programy a jejich pořadí bylo navrženo na základě principů zážitkové pedagogiky (hlavně Kolbova cyklu učení).

Vedle běžných otázek a úkolů jsou v pracovním sešitě použity i tzv. „překreslovací úkoly“, kvůli kterým mají zobrazovací programy nezávislé vypínání grafů. Nejprve student vypne všechny grafy, nastaví kvantová čísla na zadané hodnoty a potom zapne pouze jeden graf (obrázek vlevo). Potom se pokusí do svého pracovního sešitu nakreslit zbývající grafy. Uprostřed je vidět příklad jednoho řešení (jedná se již o několikátou úlohu, kterou student řešil, proto je z obrázku patrná již jistá zběhllost při překreslování). Nakonec student zapne znovu zobrazení všech grafů a zkontroluje svoje řešení (obrázek vpravo). Poté pokračuje s jinými kvantovými čísly a jiným počátečním typem grafu.



Pracovní sešit sestavený z připravených úloh obsahoval devět kapitol (14 stran, asi 25 úloh), dále uvádíme stručně jejich obsah:

1. *Než začneme* – návod na instalaci, pokyny pro práci s programy, pojmenování cílů projektu (zlepšit pochopení, ne hodnotit znalosti studentů, záměrem bylo potlačit u studentů co nejvíce strach z chyb)
2. *Sférické souřadnice* – základní znalost sférických souřadnic se sice předpokládá, ale pro jejich hlubší pochopení je studentům předloženo několik úloh (používá se program 3D_poloprimka)
3. *Vlnová funkce vlastního stavu atomu vodíku* – teoretická část – připomenutí separace souřadnic ve vlnové funkci, tvaru jednotlivých částí vlnové funkce a kvantových čísel
4. *Legendrovy polynomy* – pomocí programu Legendre_2D se studenti seznámí s různými typy grafů, do kterých lze kreslit funkce závislé na souřadnici θ a s tvary Legendrových polynomů
5. *Kulové funkce* – prostorový obraz kvadrátu Legendrových polynomů (pomocí programu Legendre_3D)
6. *Radiální část* – zkombinování úhlové a radiální části dohromady a zobrazení grafů hustoty pravděpodobnosti (v programu 3D_orbitaly), na konci této

části je vysvětlen rozdíl mezi radiální hustotou pravděpodobnosti a radiální částí hustoty pravděpodobnosti

7. *Orbitaly* – nejprve studenti popíší svoji definici „orbitalu“, potom ji mohou konfrontovat s oficiální definicí, je zde uvedeno i varování před častými omyly

8. *Řešení*

9. *Dotazník*, ve kterém studenti mohou vyjádřit svůj názor na celý projekt

Ohlasy studentů

Zatím je celý projekt určen pro vysokoškolské studenty a byl na nich otestován. Úlohy řešili studenti druhého ročníku oboru Fyzika zaměřená na vzdělávání na MFF UK jako součást cvičení k přednášce Kvantová mechanika. Každý student dostal kopii pracovního sešitu, který obsahoval vše potřebné – návod na instalaci programů, zadání úloh, řešení, vysvětlení, ... Programy byly k dispozici na internetu nebo na CD. Úlohy řešili studenti doma (nebo samostatně v počítačové učebně). Vyplněné pracovní sešity jsme okomentovali a se studenty diskutovali jak o jejich výsledcích, tak o názorech na celý projekt.

Dále shrnujeme výsledky získané z 10 vyplněných pracovních sešitů.

Dle výsledků i názorů studentů je užitečné ukázat jednotlivé části vlnové funkce v různých typech grafu a požadovat po studentech jejich porovnání či transformaci jednoho typu na druhý. Detailně zpracované výhody a nevýhody jednotlivých typů grafů a zobrazení, které studenti uvedli do pracovního sešitu, naleznete v [2].

V poslední části pracovního sešitu a v následné diskuzi jsme studenty požádali, aby vyjádřili svůj názor na přínosnost projektu. Téměř všichni studenti považovali řešení úkolů za zajímavé a atraktivní, spíše se to prý podobalo hře než studiu, viz jedna odpověď ze závěrečného dotazníku: „... *bylo to jako detektivka, zda moje obrázky jsou správné.*”

Líbilo se jim názorné zobrazení poměrně abstraktního tématu. Někteří napsali, že „překreslovací“ úkoly zlepšily porozumění („... *teprve když jsem začala kreslit obrázky, jsem zjistila, že jsem vysvětlení nepochopila pořádně a musela se k němu vrátit.*“, „*Před řešením těchto úloh jsem si nedokázala představit, co to znamená, že orbital je jako koule v jiné kouli. Teď už představu mám.*“). Obecně také ocenili připomenutí sférických souřadnic na začátku a dobrou návaznost jednotlivých kapitol.

Jedinou zápornou věcí, kterou studenti uvedli, byla poměrně velká časová náročnost (přibližně 4–5 hodin, více než jsme očekávali). I tak ale tento čas považovali za užitečně strávený a ocenili možnost si práci časově přizpůsobit svým možnostem.

Další plány

Výsledky pilotního testování i ohlasy kolegů nás přesvědčily, že vytvořený nástroj a metoda jsou přínosné, proto bychom chtěli nadále pokračovat ve zlepšování stávajících a vývoji nových programů a úkolů.

Současné aktivity a programy jsou určeny pro vysokoškolské studenty. Atomové orbitály se ale učí i na středních školách. Středoškolští studenti i někteří učitelé mají o jejich tvarech špatnou představu a učitelům chybí nástroj, kterým by mohli toto téma studentům přiblížit. Rádi bychom našli způsob, jak připravené věci využít i na této úrovni.

Uvažujeme také o pokračování ve vývoji dalších programů a úkolů, abychom pokryli i navazující témata.

Veškeré programy, úlohy i zkušenosti získané při používání tohoto nástroje jsou dostupné na internetu [2].

Literatura

- [1] Broklová, Z. (2006): Jaderné hrátky, součást vzdělávacího programu ČEZ Svět energie.
- [2] Broklová, Z., Koupil, J. (2006): Hrajeme si s orbitály, online (cit. 6. 9. 2006): <http://kdf.mff.cuni.cz/~broklova/orbits/?lang=CZ>