

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Lenka Matějíčková

Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu II.

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Zdeňka Broklová

Studijní program: Fyzika, Fyzika zaměřená na vzdělávání

2007

Především bych chtěla poděkovat vedoucí bakalářské práce RNDr. Zdeňce Brokové za její trpělivost, pomoc a cenné rady při zpracovávání textu a řešení úloh. Dále bych chtěla poděkovat všem ostatním, kteří se podíleli na vzniku elektronické sbírky a byli mi při práci nápomocni.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 27. 5. 2007

Lenka Matějčková

Obsah

Úvod	5
1 Stávající sbírky řešených úloh	6
2 Struktura úloh	10
3 Vytváření úloh	16
Závěr	19
Literatura	21
Příloha 1	22

Název práce: *Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu II.*

Autor: *Lenka Matějčíková*

Katedra (ústav): *Katedra didaktiky fyziky*

Vedoucí bakalářské práce: *RNDr. Zdeňka Broklová*

e-mail vedoucího: *zdenka.broklova@mff.cuni.cz*

Abstrakt: Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit několik úloh z elektrostatiky, které budou součástí nově vznikající elektronické sbírky úloh z elektřiny a magnetismu dostupné na webovém serveru KDF, a podílet se na vzniku webového rozhraní této sbírky. V první kapitole práce jsou představeny některé elektronické sbírky dostupné v současné době na internetu, které se staly inspirací při vytváření uvedené sbírky úloh z elektřiny a magnetismu. Popis sbírek se zaměřuje hlavně na způsoby uvádění řešení úloh v jednotlivých sbírkách. Každá úloha v naší sbírce je rozdělena na několik částí (např. nápověda, rozbor, řešení, atd.), které by měli čtenáři pomoci pochopit daný problém a vést ho k samostatnému řešení úlohy. Popis jednotlivých oddílů úloh je uveden v druhé kapitole společně s tím, jak by měl vypadat nejen jejich obsah, ale také z jakého důvodu by měly být u úlohy uvedeny. Poslední kapitola se věnuje samotnému vytváření úloh. Celkem bylo v rámci této práce vytvořeno 10 úloh včetně strukturovaných nápověd, komentovaného řešení a vhodných obrázků.

Klíčová slova: *elektrostatika, elektronická sbírka, řešené úlohy*

Title: *Electronic Collection of Solved Problems in Electromagnetism II.*

Author: *Lenka Matějčíková*

Department: *Department of Physics Education*

Supervisor: *RNDr. Zdeňka Broklová*

Supervisor's e-mail address: *zdenka.broklova@mff.cuni.cz*

Abstract: The aim of this thesis was to create a small set of solved problems from electrostatics that would be included in a collection of detailed solved problems in electromagnetism on web server of KDF and to help with finding a suitable way of the web presentation of this collection. In the first chapter, some electronic collections (that were available on the internet recently) are introduced. They were the inspiration while creating the above-mentioned collection of solved problems. Description of the collections was aimed mainly at ways how to present solutions of problems in such collections. Each problem in our collection is divided into several parts (e.g. hint, analysis, solution etc.). This should help the readers understand the given problem and lead them to an independent solution of the problem. Description of the individual parts of problems is given in the second chapter as well as how their content should look like and why they should be presented along with the problem. The last chapter concerns the creation of problems itself. The outcome of this thesis is 10 solved problems including hints, detailed solution and suitable pictures.

Keywords: *electrostatics, electronic collection, solved problems*

Úvod

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo podílet se na vytvoření elektronické sbírky řešených úloh z fyziky, která bude veřejně dostupná na katedrálním serveru KDF. Po dokončení této práce by sbírka měla obsahovat několik úloh z elektřiny a magnetismu (vytvořených v rámci této bakalářské práce a v rámci bakalářské práce Marie Snětinové Elektronická sbírka úloh z elektřiny a magnetismu I.), ale zároveň by měla být připravená na přidávání dalších úloh nejen z této části fyziky.

Tuto bakalářskou práci, jsem si vybrala proto, že jsem chtěla psát práci, která by byla užitečná nejen pro mne, ale i pro ostatní lidi. Přála jsem si, aby jejím výsledkem nebyl pouhý text, který se po odevzdání jen někde založí a nebude již k ničemu dále využíván. To je jeden z hlavních důvodů, proč jsem si vybrala práci Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu II. Vzniklá sbírka bude dostupná veřejnosti a může tak pomoci například středoškolákům při přípravě na přijímací zkoušky. Dalším důvodem bylo i samotné téma elektřina. Sama jsem se ze začátku při řešení příkladů na cvičení k přednášce Fyzika II (elektřina a magnetismus) potýkala s problémy, proto se domnívám, že by tato sbírka mohla být prospěšná i vysokoškolákům k opakování a prohloubení středoškolského učiva. A myslím si, že člověk si nejlépe ověří, že látku pochopil, pokud ji má vysvětlit někomu druhému. Tuto možnost mi vytváření řešených úloh také nabízelo.

Bakalářská práce je rozdělena do tří kapitol. V první kapitole jsou popsány nalezené elektronické sbírky, které jsou momentálně na internetu dostupné. V další kapitole je rozebrána navrhovaná struktura jednotlivých úloh. A kapitola třetí se zabývá postupem při samotném vytváření řešených úloh.

Kapitola 1

Stávající sbírky řešených úloh

V první kapitole své bakalářské práce bych Vás ráda seznámila s výsledky svého hledání na internetu. Mým úkolem bylo najít a seznámit se s dostupnými elektronickými sbírkami, kterými bychom se mohli inspirovat při vzniku naší elektronické sbírky řešených úloh. Při vyhledávání jsem se samozřejmě soustředila na sbírky úloh z fyziky, ale všimla jsem si i zajímavě udělaných sbírek úloh z matematiky (hlavně matematiky vysokoškolské).

V dnešní době lze nalézt na internetu téměř cokoli. I já jsem narazila na velké množství sbírek. Většinou se ale jednalo o sbírky, kde bylo uvedeno pouze zadání, případně doplněné pouze o číselný výsledek. Tyto sbírky zde uvádět nebudu, protože k naší inspiraci neměly čím přispět. Časem se mohou stát dobrým zdrojem inspirace pro zadání dalších úloh.

Na následujících stránkách je uveden popis nalezených sbírek, které přispěly k vytváření naší sbírky, ať už to bylo v dobrém slova smyslu, a nebo naopak ukazovaly, čeho se vyvarovat.

První sbírka úloh z fyziky se nachází na stránkách Vysoké školy chemicko-technologické v Praze (Ústav fyziky a měřicí techniky) [1]. Vznikla jako doplňkový materiál k přednášce Fyzika I na dané škole a podle slov autorů, by se měla neustále rozšiřovat. Celá sbírka momentálně obsahuje 80 řešených úloh z různých odvětví fyziky. Jednotlivé příklady jsou rozděleny do kapitol a podkapitol, které mají svůj název. Samotné úlohy už pak svůj název nemají, jsou pouze v rámci podkapitol očíslovány (Příklad I, Příklad II atd.) Členění podkapitol je dosti podrobné, proto nijak zvlášť nevádí, že jednotlivé úlohy už pojmenovány nejsou. Řešitel získá dobrou představu o tématu úlohy z názvu podkapitoly. Každá úloha je rozdělena na několik částí, které jsou na-

zvány takto: *Zadání*, *Určete*, *Výsledek*, *Řešení*, *Skripta*. *Zadání* je přehledné a obsahuje i číselné hodnoty. Část *Určete* je většinou rozdělena na několik logicky členěných bodů. V každém bodě je srozumitelně formulovaná otázka s informací, co má řešitel vypočítat či nakreslit. V oddíle *Výsledek* je uvedena přesná odpověď na otázku z části *Určete*. Úloha je doprovázená komentovaným řešením, které je přehledné a doplněné obrázky. Je vždy napsáno z jakého vztahu vycházíme a kde jsme ho vzali. Buď je uveden název zákona, nebo pokud se jedná o složitější teorii, je čtenář odkázán na skripta k odpovídající přednášce. Jednodušší matematické úpravy jsou ponechány bez komentáře většinou pouze s poznámkou: „ze vzorce vyplývá“ nebo je přechod mezi neupraveným a upraveným vztahem označen šipkou (\Rightarrow). Složitější úpravy jsou pak okomentovány slovně. Délka řešení i to, jak je komentář podrobný, záleží na obtížnosti úlohy. Ke každé otázce je také uveden odkaz na skripta k přednášce Fyzika I, která jsou také dostupná na webových stránkách. V odkaze je vždy uveden název kapitoly a ve většině úloh i přesná strana, kde lze danou teorii najít.

Na stejných webových stránkách nalezneme také sbírku úloh k přednášce Fyzika II [2]. Tato sbírka je uvedena ve formátu pdf. V každé kapitole je alespoň jeden příklad uveden s komentovaným postupem řešení, ale většinou jsou zde uvedena pouze zadání úloh a jejich číselný výsledek.

Pěknou sbírku úloh má na svých stránkách PaedDr. Peter Hockicko z Katedry fyziky na Elektrotechnické fakultě Žilinské univerzity [3]. Najdeme v ní několik desítek řešených úloh vybraných ze sbírky Fyzika v příkladech. (Tato sbírka se dá na uvedených stránkách také stáhnout a najdeme v ní zadání mnoha úloh a jejich výsledky). Každá řešená úloha má svůj název, ze kterého je patrné, čeho se týká. Dále je úloha rozdělena na několik částí. Nejprve je uvedeno zadání, včetně všech úkolů, které máme spočítat. Hned za ním je přehledný zápis veličin se zadanými hodnotami. Následuje komentované řešení, které je podrobné a přehledné. Většinou je rozděleno na několik částí podle otázek v zadání. Na konci každé části je slovní odpověď, která sice není nijak oddělená, ale je napsaná kurzívou, takže ji řešitel může bez velké námahy celkem snadno najít. Pod každou úlohou jsou uvedeny odkazy na tři jiné řešené úlohy ze sbírky. Bohužel bez jakéhokoli komentáře, jestli tyto příklady spolu nějak souvisí.

Další řešená sbírka je součástí diplomové práce Petra Šindeláře, studenta Pedagogické fakulty Technické univerzity v Liberci [4]. K dispozici jsou čtyři kapitoly fyziky, z nichž každá obsahuje deset řešených úloh. Každá úloha má svůj název, ze kterého si můžeme udělat představu, co bude počítat. Dále je pak úloha členěna na několik částí, které jsou odděleny nadpisem. Na začátku úlohy je samozřejmě uvedeno zadání, za kterým je uveden zápis veličin,

kteřé známe a které máme za úkol vypočítat. Následuje přehledné komentované řešení. Záleží na druhu příkladu, ale většinou se komentář týká hlavně matematických úprav. Komentář je poměrně stručný, ale k daným typům úloh dostačující. Na konci každé řešené úlohy je část odpovědi, která většinou obsahuje slovní odpověď na otázku v zadání včetně číselného výsledku.

Následující elektronická sbírka příkladů je doplňkovým materiálem k učebnici Elektronika určené pro učitelské obory MFF UK [5]. Řešené příklady jsou rozděleny do několika pojmenovaných kapitol. Jednotlivé příklady jsou pouze očíslovány, bez použití slovního názvu. Každá úloha je rozdělena na několik menších celků. Pokud si přečteme zadání a nevíme jak příklad řešit, můžeme se podívat na nápovědu. Nápověda většinou poradí, jaký zákon lze použít při řešení, případně prozradí „vzoreček“. Vzhledem k tomu, že se často jedná o řešení elektrických obvodů, je zde také slovně komentováno, co platí pro proud a napětí v jednotlivých částech příslušného obvodu. Po nápovědě následuje podrobné řešení úlohy, které je dostatečně přehledné. Komentována je hlavně fyzikální část úlohy. Matematické úpravy jsou většinou ponechány bez komentáře, ale vzhledem k přehlednému uspořádání řešení, čtenář většinou jednoduše pozná jaká úprava byla provedena. U některých úloh je na konci uveden odkaz na související teorii.

Sbírka řešených úloh z mechaniky vznikla v rámci diplomové práce H. Koudelkové, studentky MFF UK [6]. Je dostupná na webovém serveru KDF. Úlohy jsou rozděleny do kapitol podle obtížnosti (příklady pro ZŠ, SŠ a VŠ). Každý příklad má svůj název, takže si z něj můžeme udělat představu čeho se týká. Úloha je rozdělena na tři části: Nápověda, Řešení a Výsledek. Jako nápovědy zde nalezneme většinou návodné otázky, které radí, na co se na začátku řešení úlohy zaměřit. V některých případech je uveden vzorec, který se má použít, nebo je napovězeno, co máme vypočítat jako první. Další částí úlohy je podobně jako v předchozích sbírkách komentované řešení. Pokud řešitel chce, může si zobrazit pouze konečný výsledek.

Další úlohy nalezneme také na stránkách Petra Kulhánka [7]. Můžeme zde najít pomocné materiály k přednášce Fyzika II na Fakultě elektrotechnické na ČVUT včetně řešených úloh. Každá úloha je opět rozdělena na několik částí. Zadání úlohy je buď pouze obecné, nebo jsou v závorkách uvedeny číselné hodnoty. U některých úloh následují Předpoklady. Zde je většinou uvedeno, co v této úloze budeme oproti reálné situaci zanedbávat, nebo jsou zde připomenuty konstanty, které můžeme vyhledat v tabulkách. U každé úlohy je nakreslen obrázek, který je potřebný k vyřešení úlohy, ale najdou se zde i příklady, kde obrázek slouží pouze k pobavení. Řešení úloh je velice stručné. Dalo by se spíše říci, že se jedná o nápovědy, které nám říkají, jaký postup máme při řešení zvolit. Jsou zde uvedeny vztahy, ze kterých

řešení vychází, ale nejsou zde jejich matematické úpravy. Číselné dosazení a samostatný zápis zcela chybí. Na konci číselně zadaných úloh je ale uveden konečný výsledek.

Sbírka úloh z elektřiny a magnetismu [8], která vznikla v rámci studentské práce Jaromíra Kekule, obsahuje 47 úloh. Každá úloha má přehledný zápis veličin a dále komentovaný postup řešení.

Slovenská Zbierka úloh z fyziky se nachází na webových stránkách projektu Infovek [9] a je oproti všem ostatním neobvyklá. Obsahuje 300 úloh rozdělených do 30 tematických okruhů (tyto okruhy se shodují s maturitními okruhy na Slovensku). Úlohy v této sbírce nejsou vlastně řešené. Ale oproti ostatním sbírkám je u každého příkladu uveden podrobný „návod“ na postup při řešení. Řešiteli jsou kladeny otázky, které ho navedou postupně k výsledku. Pokud nelze položit otázku, je zde zadáno několik dílčích úkolů, které musíme splnit, abychom se ke konečnému výsledku dostali.

Sbírka řešených příkladů z fyziky se nachází také na CDStudent [10]. Oproti ostatním řešeným úlohám zde najdeme nejen postup výpočtu, ale také rozbor úlohy, kde je slovně popsán a vysvětlený postup řešení bez vzorců.

Po prohlédnutí těchto elektronických sbírek jsme si udělali představu o tom, jak by měla vypadat sbírka naše. Chtěli bychom, aby řešiteli pomohla co nejlépe pochopit daný problém a naučila ho samostatně řešit fyzikální úlohy. Proto naše sbírka bude obsahovat kromě podrobně komentovaného řešení také nápovědy a rozbor úlohy, které by měli čtenáři alespoň částečně pomoci při samostatném řešení úloh. Podrobnější popis všech jednotlivých částí úloh najdete v následující kapitole.

Kapitola 2

Struktura úloh

V této kapitole bych Vás ráda seznámila s navrženou strukturou jednotlivých úloh naší sbírky. Představím Vám jednotlivé části (oddíly) úloh a vysvětlím, co by měla každá část obsahovat a jaký účel u úlohy plní. Jednotlivé oddíly jsem navrhovala spolu s vedoucí bakalářské práce a Marií Snětinovou. Vytvořený návrh byl v rámci diskuze s ostatními lidmi, kteří se podílejí na realizaci sbírky (ať už na technickém řešení nebo budou do sbírky úlohy zadávat), upraven a doplněn o další náměty. V této kapitole popisují konečnou verzi struktury úloh. Je zde jasně uvedeno, které části jsou povinné a v čem si může autor konkrétní úlohy navržené schéma upravit.

Každý příklad je rozdělen na několik částí (oddílů).

Povinné části: název úlohy, zadání, řešení, výsledek (odpověď)

Doporučeně části: nápovědy, rozbor

Pokud je to možné nebo vhodné může úloha ještě obsahovat komentář, řešení nápověd a odkazy na jiné úlohy.

Následuje popis jednotlivých oddílů v pořadí, v jakém se budou nejspíše oddíly vyskytovat u příkladů. Toto pořadí ale není striktně dáno a záleží na zadavateli úlohy v jakém pořadí budou jednotlivé oddíly u konkrétní úlohy uvedeny (samozřejmě až na zadání úlohy a její název, ten je automaticky zařazen na začátek úlohy). U úlohy také může být více oddílů jednoho typu.

Název úlohy

Název úlohy by měl být co nejmýstižnější. Jestliže si jej řešitel přečte, měl by být schopen si udělat představu, čeho se příklad týká (jakého tématu). Velmi vhodné by také bylo, aby název dokázal zaujmout nebo ještě lépe nalákat k řešení příkladu. Z praktických důvodů se chceme vyhnout číslování úloh. Během plánovaného přidávání úloh by mohla nastat situace, kdy by bylo vhodné novou úlohu zařadit mezi stávající úlohy. V takovém případě by se úlohy musely přečíslovat, což by bylo nepříjemné pro uživatele sbírky.

Zadání úlohy

Ve většině případů půjde nejspíš o modifikaci úloh ze současných sbírek. Zadání by mělo být přehledné, aby každý věděl, jaké veličiny jsou zadány a naopak jaké se mají spočítat, ale také srozumitelně formulované. Zadavatel by se měl snažit (a to nejen v zadání) vyhýbat komplikovaným formulacím, které lze nalézt v současných sbírkách a učebnicích. Zadané hodnoty veličin by měly být reálné, aby si řešitelé mohli udělat správnou představu o tom, jak vypadá řešená situace ve skutečnosti.

Nápovědy

Nápověda je označena jako doporučená součást úlohy. K vyřešení úlohy není nutná, ale naším cílem není jen uvést sbírku řešených úloh, ale také pomoci uživatelům naučit se řešit fyzikální úlohy samostatně. Nápověda by měla vlastně nahradit někoho, kdo by řešiteli radil, jak má začít a na co se má soustředit. Měla by hlavně pomoci člověku, který vůbec neví, jak se do řešení úlohy pustit. Lze napovědět, čeho se příklad týká (např. jaký použít zákon atd.), co je důležité nebo jaký udělat první krok. Vhodnou formou nápověd jsou návodné otázky, které by měly upozornit, na co se má řešitel soustředit a případně co si má vyhledat. Další možností je v nápovědě uvést, jaký vzorec se má při řešení použít. Tohoto přístupu bychom se ale rádi vyvarovali, aby řešení příkladu nespočívalo pouze v „kombinování vzorců“ z několika nápověd. V takovém případě by řešitel pracoval pouze s „písmeny“, kterými jsou označeny veličiny jako s matematickými výrazy, a nemusel by vůbec chápat fyzikální podstatu úlohy. Používá-li se při řešení úlohy nějaký neobvyklý postup, je vhodné ho řešiteli „prozradit“ právě v nápovědě. Rádi bychom se také soustředili na formulaci vět. Čtenář by měl být nápovědou motivován k vyřešení úlohy, k přemýšlení nad ní a také k vyhledání potřebných informací například v tabulkách. Nemělo by se mu jen stroze rozkazovat,

co má udělat. Myslíme si, že je lepší uvádět věty typu: *Zkuste si rozmyslet. Zapřemýšlejte . . . než Použijte. Spočítejte. . .*

Úloha může obsahovat i více nápověd.

Řešení nápovědy

Vzhledem k tomu, že se plánuje zařazení řešených úloh z mechaniky, které byly již vytvořeny (diplomová práce Hany Koudelkové) [6], byl do naší sbírky přidán také oddíl řešení nápovědy.

Rozbor úlohy

Rozbor úlohy je doporučená část úlohy, ve které by měl být slovně shrnut postup řešení. Chtěli bychom zde vysvětlit hlavně myšlenkový postup řešení a rozebrat „fyzikální podstatu“ úlohy. Matematické úpravy by zde neměly být popisovány, pokud je ale nějaký matematický poznatek pro vyřešení úlohy důležitý, může zde být zmíněn (např.: Budeme potřebovat podobnost trojúhelníků.). Rádi bychom se také vyhnuli psaní vzorců do rozboru. Pokud přece jen je „vzorec“ nutné uvést, je lepší pokusit se ho vyjádřit raději větou než matematickým zápisem. (Například: Elektrická síla je přímo úměrná náboji a intenzitě elektrického pole.)

Naším přáním je takto co nejvíce zabránit mechanickému používání „vzorečků“ bez přemýšlení. Nechtěli bychom, aby si řešitel jen nashromáždil všechny fyzikální vztahy, které k danému tématu jsou, a pak je jen bezmyšlenkovitě dával dohromady v závislosti na tom, které veličiny jsou zadané. Právě rozbor by měl čtenáři pomoci úlohu pochopit a chtěli bychom, aby ho donutil nad příkladem přemýšlet.

U některých úloh bude možná rozbor částečně shrnutím nápověd nebo bude přímo nějakou nápovědu obsahovat. Bylo by vhodné, aby se nejednalo o přesné kopírování textu z nápověd, protože to nepůsobí na čtenáře příliš pěkně.

Řešení

Tento povinný oddíl úlohy obsahuje komentované řešení úlohy. Z řešení by mělo být zcela patrné, jaký je myšlenkový postup řešení. Zde už samozřejmě musí být uvedeny všechny použité vzorce a vztahy. Mělo by zde být přesně popsáno, odkud jsme kterou veličinu získali a který vzorec jsme kam

dosazovali. Není vhodné, aby se v řešení přeskakovali matematické úpravy, protože chceme zabránit tomu, aby čtenář strávil zbytečně mnoho času tím, že se bude snažit přijít na to, co jsme zrovna zkrátili nebo vytknuli. Pokud není úprava hodně jednoduchá, měla by být okomentována buď slovně, a nebo alespoň naznačena za vztahem („za čarou“ - jak je zvykem v matematice). Na druhou stranu by se slovní komentáře úprav neměly omezit pouze na matematické úpravy (zkrátíme, odečteme), ale mělo by zde být hlavně zdůrazněno, proč výraz upravujeme právě takto a čeho chceme nakonec dosáhnout. Například: Výraz budeme upravovat, abychom si vyjádřili neznámou intenzitu E .

Řešení někdy můžeme opět považovat za rozšířený rozbor, hlavně o vzorce a matematické úpravy. To by mohlo zadavatele úloh lákat pouze ke kopírování stejných vět. Tomu bychom se rádi vyhnuli. Chtěli bychom, aby byl komentář alespoň zformulovaný jiným způsobem a nejednalo se o přesně stejné věty jako v rozboru úlohy.

Tato část úlohy bude samozřejmě nejdelší. Aby byl postup pro čtenáře přehlednější, může být rozdělen na několik logicky členěných celků oddělených čarou nebo úplně rozdělený na několik samostatných oddílů. Například pokud některé úlohy obsahují několik úkolů (otázek), může být každý oddíl věnován jedné z nich. Čím je řešení delší, tím je méně přehledné. Proto i úlohy, ve kterých se počítá jen jedna veličina, bychom rádi rozdělili na několik částí, které můžeme označit například jako *Řešení 1. část*, *Řešení 2. část*. Vhodnější variantou je vytvořit nadpis oddílu tak, aby vystihoval jeho obsah, např.: *Řešení: Výpočet působící síly*, *Řešení: Výpočet náboje*, což řešiteli pomůže už tím, že se podívá na nadpisy a získá tak představu o tom, co musí spočítat nejdříve a co až poté. Řešení by mělo obsahovat také číselné dosazení a výpočet. Neměli bychom zapomenout na přehledný zápis veličin a převod jednotek. Tato část řešení může být samostatná, pokud čtenáře zajímá jen obecný výpočet, nemusí tento oddíl zbytečně „rozklikávat“ a pročítat. Na konci každého řešení by mělo být jasně označeno, co jsme vypočítali.

Výsledek (Odpověď)

Tuto část jsme označili jako povinnou. Měla by obsahovat slovní odpověď, konečný obecný vztah, a pokud je úloha zadaná i číselně, tak také číselný výsledek. Tento oddíl je důležitou součástí úlohy. Za prvé dodává řešení na přehlednosti, protože přesně ukazuje, co jsme spočítali. Za druhé lidem, kteří vědí jak příklad řešit, umožní rychlé zkontrolování výsledku bez zbytečného pročítání celého postupu řešení. Pokud je úloha komplikovaná můžou

se v tomto oddílu objevit i důležité dílčí obecné vztahy.

Komentář

Ke každé úloze je možné vložit samostatný oddíl s dalším komentářem, který se již nemusí přímo týkat řešení úlohy. Tady už záleží na konkrétních úlohách, ale i na zadavateli úlohy. Někde může být například vhodné zdůraznit, že v této úloze jsme využívali určitého postupu, nebo pokud je úloha založena na reálném experimentu, který byl v historii fyziky důležitý, můžou zde být uvedeny podrobnosti.

Pokud je možné úlohu řešit více postupy, chtěli bychom je u úloh uvádět. K tomuto účelu také slouží komentář. Můžeme zde uvést, jak by se úloha řešila složitějším postupem, například pomocí integrálů, nebo naopak jednodušeji, středoškolsky, podle toho jaký postup jsme zvolili jako hlavní. Chtěli bychom tím zabránit šíření názoru, že jen jeden uvedený postup řešení úlohy je správný a všechny ostatní jsou špatné.

V tomto oddíle můžeme také popsat, jak moc by se řešení úlohy změnilo, kdybychom do zadání něco přidali nebo naopak něco odebrali. Například kdybychom přidali další náboj nebo u stávajících nábojů změnili znaménko.

Odkazy

Část nazvanou odkazy nebude nejspíš možné uvést u každé úlohy. Mělo by se jednat o odkazy na jiné úlohy v naší sbírce, které jsou tématicky stejné nebo podobné. Můžeme odkazovat například na složitější úlohu. Jestliže čtenář vyřeší danou úlohu správně, může si jednoduše najít těžší úlohu a na ní si ověřit, že problém opravdu pochopil. Z opačného důvodu bychom rádi odkazovali také na úlohy jednodušší, pokud řešitel neví jak řešit danou úlohu, může nejdříve zkusit vyřešit lehčí situaci. Odkazy se mohou týkat nejen obtížnosti, ale také tématu. Pokud máme ve sbírce například úlohu řešenou za použití stejného zákona, můžeme na ni odkázat. (Za předpokladu, že není ve sbírce uvedena ve stejné podkapitole, ve které jsou všechny úlohy řešeny tímto zákonem. V takovém případě ztrácí odkaz smysl.). Odkazy na jiné úlohy by měly řešiteli pomoci pochopit souvislosti v řešení různých úloh. Mělo by tak být jednodušší si všimnout, že jedním způsobem je možné vyřešit více, na první pohled odlišných úloh.

Všechny části jsme se snažili navrhnout velice obecně, aby se daly jednoduše přizpůsobit jednotlivým úlohám nejen z elektřiny a magnetismu, ale později i úlohám z dalších odvětví fyziky. Ne vždy je možné, aby měla úloha všechny části, a proto jsme se snažili vybrat flexibilní technické řešení, aby bylo na uvážení zadavatele úlohy, který oddíl u úlohy chce mít a který je pro ni zbytečný a v úloze se proto neobjeví. Názvy ani pořadí jednotlivých oddílů nejsou pevně dány. Každý zadavatel úlohy musí pouze danou část řešení zařadit do příslušné kategorie. V rámci dalších úprav rozhraní sbírky se uvažuje například o tom, že by si uživatel mohl zobrazit nebo vytisknout pouze oddíly určitého typu - např. nápovědy.

Kapitola 3

Vytváření úloh

Hlavní částí této bakalářské práce bylo vytvoření několika podrobně řešených úloh do vznikající sbírky. Prvním krokem bylo zvolit si určitou oblast z elektřiny a magnetismu, které se budou úlohy týkat. Zvoleným tématem se stala elektrostatika. Před vlastní tvorbou úloh jsem se seznámila s jednotlivými podkapitolami, které se na střední škole v kapitole elektrostatika probírají. Mým cílem bylo udělat si přehled, jak podrobně se jednotlivé kapitoly vykládají, abych poté mohla vybírat úlohy tak, aby pokryly co největší část tohoto tématu a zároveň měly vhodnou obtížnost. Snažila jsem se tak předejít tomu, abych po vyřešení úloh zjistila, že se velká část příkladů týká jen jedné části elektrostatiky a naopak jiná zde není zastoupena vůbec.

Přehled jednotlivých podkapitol kapitoly elektrostatika vyučovaných na střední škole (podle učebnice Fyzika pro gymnázia) [11]:

Elektrický náboj a elektrické pole

1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti.
2. Elektrostatické silové působení bodových nábojů. Coulombův zákon.
3. Elektrické pole. Intenzita elektrického pole.
4. Práce v elektrickém poli. Elektrické napětí.
5. Potenciální energie v elektrickém poli. Elektrický potenciál.
6. Elektrické pole nabitého vodivého tělesa ve vakuu. Rozložení náboje na vodiči.

7. Vodič a izolant v elektrickém poli.
8. Kapacita vodiče. Kondenzátor.
9. Technické kondenzátory. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Pak už jsem začala prohledávat jednotlivé sbírky úloh a středoškolské učebnice ([11] až [16]) a vybírala zadání úloh která by byla vhodnou inspirací pro úlohy do naší sbírky. Vybrané úlohy zde nebudu rozdělovat do jednotlivých kapitol. Protože velmi často se v jedné úloze vyskytuje látka z několika kapitol najednou, přiřadím naopak kapitoly k jednotlivým úlohám (viz číslo v závorce za názvem úlohy v přehledu vytvořených úloh). Jediná kapitola, která zatím ve sbírce není pokryta vůbec, je kapitola Vodič a izolant v elektrickém poli.

Po vybrání vhodných zadání jsem úlohy začala řešit a vymýšlela k nim jednotlivé oddíly, které byly popsány v 2. kapitole této bakalářské práce. Zadání úloh byla často pozměňována, aby byla srozumitelnější a přehlednější. Každá úloha obsahuje alespoň jednu nápovědu (ve většině případů více), slovní rozbor celé situace, podrobně komentované řešení a výsledek. Některé úlohy mají komentář, ve kterém je popsáno, jak moc se řešení změní, pokud pozměníme zadání. Odkazem jsou zatím provázány pouze dvě úlohy, protože úloh není takové množství, aby se jednoho dílčího tématu týkalo více úloh. Bude-li se sbírka dále rozšiřovat, bude také větší možnost úlohy mezi sebou provázat.

Každá úloha je doplněna aspoň jedním názorným obrázkem zadané situace. Všechny úlohy jsem přepsala do formátu, ve kterém se vkládají do databáze. Veškerý text je psán v XHTML a vzorce jsou psány ve formátu L^AT_EX.

V současné době je v databázi sbírky v kapitole elektrostatika dostupných 10 strukturovaně řešených úloh včetně obrázků:

1. Zavěšené nabitě kuličky (2)

Jednodušší úloha na využití Coulombova zákona a uvědomění, jaké síly působí na nabitá tělesa.

2. Kuličky na niti ponořené do benzenu (2)

Složitější úloha na Coulombův zákon. Řešitel se zde musí zaměřit na to, jak se mění síly působící na nabitě těleso v závislosti na prostředí.

3. Rovnováha tří nábojů (2)

V této úloze si řešitel musí uvědomit, jakou silou na sebe působí různé náboje, a za jakých podmínek mohou být náboje v rovnováze. Komentovány jsou zde různé pozice a znaménka třetího náboje.

4. Intenzita ve vrcholu trojúhelníku (3)

Výpočet intenzity elektrického pole dvou kladných bodových nábojů umístěných ve vrcholech trojúhelníku. Je zde uveden také postup řešení pro situaci s opačnými znaménky nábojů.

5. Potenciál bubliny a kapky (5, 6)

U této úlohy je důležitým poznatkem, že potenciál na povrchu kapky a bubliny je stejný jako potenciál bodového náboje.

6. Kapička mezi kovovými deskami (4)

Po vyřešení této úlohy by měl čtenář být schopen udělat si představu o tom, jak se mění síly působící na nabitou kapku a jejich rovnováha při změně velikosti náboje kapky. Úloha je založena na Millikanově pokusu.

7. Letící elektron v homogenním poli (2, 3, 4)

V této úloze se čtenář seznámí s působením homogenního elektrického pole na pohybující se elektron a také se změnami energie při jeho pohybu. Jsou uvedeny dva způsoby řešení.

8. Kondenzátory (9)

Úloha na výpočet kapacity a náboje při sériovém a paralelním zapojení kondenzátorů.

9. Kondenzátor částečně vyplněný dielektrikem (8, 9)

V této úloze se využívá poznatku, že jeden kondenzátor, který je z části vyplněn dielektrikem můžeme nahradit více kondenzátory bez dielektrika nebo zcela vyplněnými dielektrikem.

10. Síla působící na desky kondenzátoru (4, 8, 9)

Úloha, ve které si řešitel musí uvědomit, jaká je intenzita pole od jednotlivých desek kondenzátoru a pak spočítat velikost síly působící na desku. Dalším úkolem je vyjádřit vykonanou práci při oddalování desek. Práce je zde vypočítána dvěma různými způsoby.

K bakalářské práci jsou na ukázkou přiloženy úlohy: **Rovnováha tří nábojů** a **Letící elektron v homogenním poli**. Všechny úlohy jsou dostupné ve sbírce na webové adrese: <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/sbirka/elmag/index.php>.

Závěr

Na základě dostupných sbírek (viz kapitola 1) jsem se spolu s Marií Snětinovou podílela na technickém řešení sbírky - návrhu vzhledu a funkcí, které by sbírka měla mít. I když naprogramování sbírky nebylo součástí této bakalářské práce, věnovali jsme se testování správnosti administrátorského rozhraní. Snažili jsme se, aby zadávání úloh do databáze sbírky bylo co nejpohodlnější. Ve spolupráci s lidmi, kteří se podílejí na realizaci celé sbírky, jsem navrhla jednotlivé oddíly úloh a napsala jejich stručný přehled do textu „Jak členit úlohu“, který je dostupný lidem, kteří vytvářejí nebo budou vytvářet nové úlohy. Obsah tohoto textu se stal základem 2. kapitoly této práce.

Hlavním výsledkem této bakalářské práce je 10 řešených úloh z elektrostatiky. K těmto úlohám jsem vymyslela nápovědy, rozbory, komentovaná řešení, výsledky a u většiny úloh i různé dodatečné komentáře. Ke každé úloze jsem také nakreslila názorné obrázky. Všechny úlohy jsem celé přepsala do formátu, ve kterém se vkládá na webový server (XHTML, L^AT_EX).

Podrobně řešené úlohy by měly čtenáři pomoci překonat problémy při řešení příkladů a vést ho k samostatné práci. Sbírka je veřejně dostupná na serveru KDF, a proto by měla pomoci nejen studentům MFF při opakování látky na začátku druhého semestru, ale i středoškolským studentům například při přípravě na přijímací zkoušky.

Elektronickou sbírku řešených úloh z elektřiny a magnetismu představím učitelům fyziky v srpnu letošního roku na 12. ročníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky.

Literatura

- [1] BUREŠOVÁ B. A KOL.: *Elektronická sbírka příkladů z Fyziky I*, 2006, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]:
<http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/hofmannj/epFYZ/epfyz/index.html/>
- [2] HOFMANN J., ALEXA P.: *Elektronická sbírka příkladů z Fyziky II*, 2006, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]:
<http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/hofmannj/docs/elsbirka.FII.pdf/>
- [3] HOCKICKO P.: *Fyzika v príkladoch*, 2006, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]: <http://hockicko.utc.sk/>
- [4] ŠINDELÁŘ P.: *Sbírka příkladů*, diplomová práce, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]: <http://www.kfy.vslib.cz/kfy/sbirka/obsah.htm>
- [5] *Elektronická sbírka příkladů*, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]:
<http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/sbirka/>
- [6] KOUDELKOVÁ H.: *Sbírka příkladů z mechaniky*, diplomová práce, 2003, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]:
http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/materialy/mechanika_sbirka/
- [7] KULHÁNEK P.: *Fyzika II*, 2001, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]:
<http://hockicko.utc.sk/Books/Eskripta/fyzika2/index.html>
- [8] KEKULE J.: *Elektřina a magnetismus*, 2004, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/>
- [9] BEŇUŠKA J.: *Zbierka úloh z fyziky*, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]:
<http://www.infovek.sk/predmety/fyzika/zbierka/index.html#14/>
- [10] CDSTUDENT: *CDStudent - homepage*, dostupné na WWW [cit. 26. 5. 2007]: <http://www.cdstudent.cz/>

- [11] LEPIL O., ŠEDIVÝ P.: *Fyzika pro gymnázia - Elektřina a magnetismus*, Prometheus, Praha, 1998
- [12] BAKULE R. A KOL.: *Příklady z elektřiny a magnetismu*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1971.
- [13] BARTUŠKA K.: *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy III*, Prometheus, Praha, 2002.
- [14] KRUŽÍK M.: *Sbírka úloh z fyziky pro žáky středních škol*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1978.
- [15] LEPIL O. A KOL.: *Fyzika - Sbírka úloh pro střední školy*, Prometheus, Praha, 1999
- [16] TOMANOVÁ E. A KOL.: *Sbírka úloh z fyziky pro gymnázia - I.díl*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1988.

Příloha 1

K bakalářské práci jsou přiloženy na ukázkou 2 řešené úlohy. Tyto úlohy jsou vytištěny přímo z elektronické sbírky, proto následující strany nejsou očíslovány.

Všechny úlohy jsou dostupné na webovém serveru KDF:
<http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/sbirka/elmag/index.php>.

Sbírka řešených úloh z fyziky *Elektřina a magnetismus*

Rovnováha tří nábojů

Mezi 2 stejně velké náboje Q_1, Q_2 (ve vzdálenosti d od sebe) umístíme třetí náboj Q_3 , který se může pohybovat jen po spojnici prvních 2 nábojů. Všechny náboje mají stejné znaménko (v řešení budeme předpokládat, že náboje jsou kladné).

Kde se ustálí náboj Q_3 ?

Ověřte, zda je tato rovnovážná poloha stabilní nebo labilní?

Nápověda: Jak začít

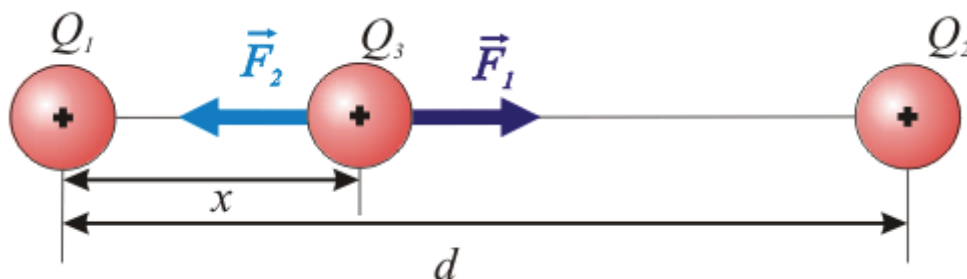
Nakreslete si síly, které na náboj Q_3 působí.

Jaká je výsledná síla působící na náboj Q_3 v místě, kde se ustálí?

Nápověda: Coulombův zákon

Elektrická síla závisí přímo úměrně na velikosti obou nábojů a nepřímo úměrně na kvadrátu jejich vzdálenosti.

Obrázek sil působících na náboj Q_3



Síly působící na náboj Q_3 jsou odpudivé. Náboj Q_1 působí silou \vec{F}_1 a náboj Q_2 silou \vec{F}_2 . Prohlédněte si obrázek.

Rozbor

Třetí náboj se ustálí v místě, kde je výslednice všech působících sil nulová.

První a druhý náboj působí na náboj Q_3 odpudivou elektrickou silou. Výslednice těchto dvou sil má být rovna nule, proto musí mít síly opačný směr a stejnou velikost.

Podle Coulombova zákona závisí velikost elektrické síly přímo úměrně na velikosti obou nábojů a nepřímo úměrně na kvadrátu jejich vzdálenosti.

Porovnáním velikostí obou sil získáme podmínku pro vzdálenost náboje Q_3 od náboje Q_1 .

Řešení : Úvahou

Náboj Q_3 se ustálí v místě, kde výslednice elektrických sil od nábojů Q_1 a Q_2 bude nulová.

Všechny náboje se navzájem odpuzují, takže síly od prvního a druhého náboje mají opačný směr (viz obrázek). Aby byla výslednice nulová, musí mít obě síly stejnou velikost.

Velikost elektrické síly je přímo úměrná velikosti obou nábojů a nepřímo úměrná kvadrátu vzdálenosti.

Náboje Q_1 a Q_2 jsou stejně velké. Rozdíl ve velikosti obou elektrických sil může být dán pouze vzdáleností náboje Q_3 od nábojů Q_1 a Q_2 . Jediné místo, kde je tato vzdálenost od obou nábojů stejná, je přesně uprostřed mezi těmito náboji. Třetí náboj se tedy ustálí zde.

Řešení: Výpočet, kde se náboj ustálí

Protože náboje Q_1 a Q_3 mají stejné znaménko, odpuzují se elektrickou silou, označíme si ji \vec{F}_1 . Také náboje Q_2 a Q_3 se odpuzují silou, tuto sílu si označíme \vec{F}_2 .

Velikost obou sil spočítáme z Coulombova zákona.

$$F_1 = k \frac{Q_1 Q_3}{x^2}$$

$$F_2 = k \frac{Q_2 Q_3}{(d-x)^2}$$

V místě, kde se náboj Q_3 ustálí, musí být výslednice těchto 2 sil nulová. Z toho vyplývá, že síly \vec{F}_1 a \vec{F}_2 mají v tomto místě opačný směr (to je splněno - viz obrázek) a jsou stejně velké.

$$F_1 = F_2$$

Za obě síly dosadíme jejich vyjádření pomocí Coulombova zákona

$$k \frac{Q_1 Q_3}{x^2} = k \frac{Q_2 Q_3}{(d-x)^2}$$

a zkrátíme k a Q_3 :

$$\frac{Q_1}{x^2} = \frac{Q_2}{(d-x)^2} \quad | \cdot x^2 (d-x)^2$$

$$Q_1 (d-x)^2 = Q_2 x^2$$

Z tohoto vztahu bychom mohli spočítat polohu třetího náboje, pro jakkoli velké náboje Q_1 a Q_2 .

Naše náboje Q_1 a Q_2 mají stejnou velikost, takže je můžeme také zkrátit:

$$x^2 = (d-x)^2$$

Rovnici budeme postupně upravovat. Umocníme závorku, odečteme stejné členy a poté vyjádříme neznámou vzdálenost x :

$$x^2 = d^2 - 2dx + x^2$$

$$0 = d^2 - 2dx$$

$$2dx = d^2 \quad | : d$$

$$2x = d$$

$$x = \frac{d}{2}$$

Vidíme, že třetí náboj se ustálí uprostřed.

Nápověda: Stabilní a labilní rovnováha

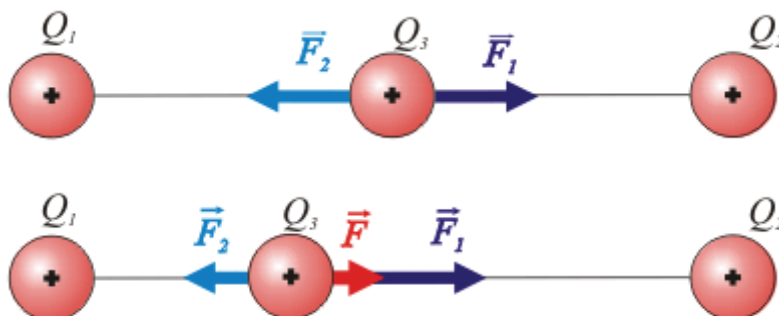
Jestliže náboj vychýlíme z rovnovážné polohy a výslednice působících sil vrací náboj zpět do původní polohy, je **rovnováha stabilní**.

Naopak jestliže po vychýlení výsledná síla „táhne“ náboj stále dále od rovnovážné polohy, je **rovnováha labilní**.

Řešení: Bude rovnováha stabilní nebo labilní?

Posuneme-li třetí náboj ze středu na jednu stranu, změní se velikost sil, které na něj působí.

Odpudivá elektrická síla od náboje, který je blíže, se zvětší. Naopak od náboje, který je vzdálenější, bude odpudivá síla menší.



Na obrázku vidíme, že výsledná síla bude směřovat zpět do středu. Vychýlíme-li náboj na druhou stranu, bude výsledná síla opět směřovat do středu.

Tato rovnovážná poloha je tedy stabilní.

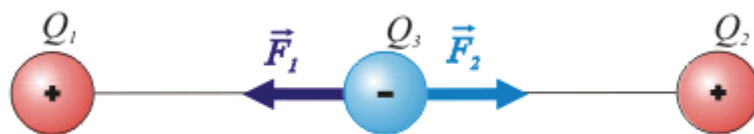
Odpověď

Náboj Q_3 se ustálí uprostřed mezi náboji Q_1 a Q_2 .

Rovnovážná poloha je stabilní.

Co by se změnilo, pokud by třetí náboj měl opačné znaménko.

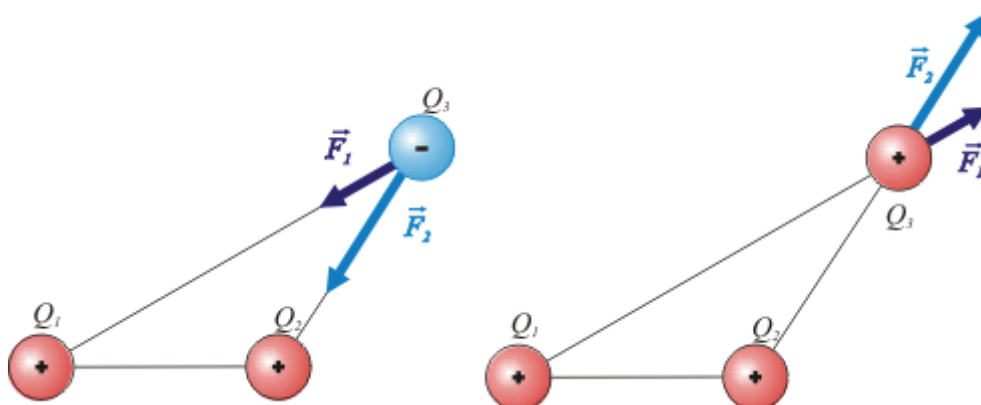
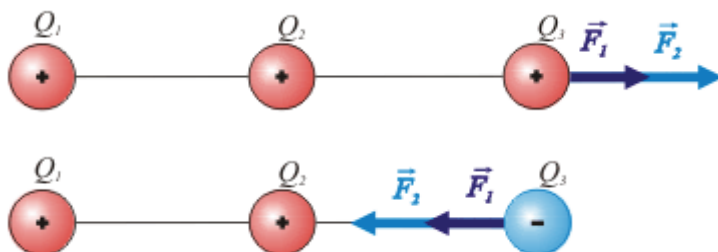
Pokud by měl náboj Q_3 opačné znaménko, měly by síly působící na něj pouze opačný směr. Velikost sil by byla stále stejná. Náboj Q_3 by se proto ustálil opět uprostřed.



Rovnováha by ale byla labilní, protože při jakémkoli vychýlení náboje ze středu by výsledná síla směřovala od středu ven.

Mohl by být náboj Q_3 v rovnováze i někde jinde?

Třetí náboj nemůže být v rovnováze jinde než na úsečce spojující první dva náboje, protože nikdy nedostaneme nulovou výslednici sil od obou nábojů. Prohlédněte si následující obrázky.



Sbírka řešených úloh z fyziky *Elektrina a magnetismus*

Letící elektron v homogenním poli

Elektron vlétl do homogenního pole proti směru siločar rychlostí 10 km s^{-1} . Intenzita elektrického pole je 20 V m^{-1} . Vypočtete rychlost elektronu poté, co v elektrickém poli urazí dráhu 9 cm .

Poznámka: Tento příklad je vyřešen dvěma způsoby:

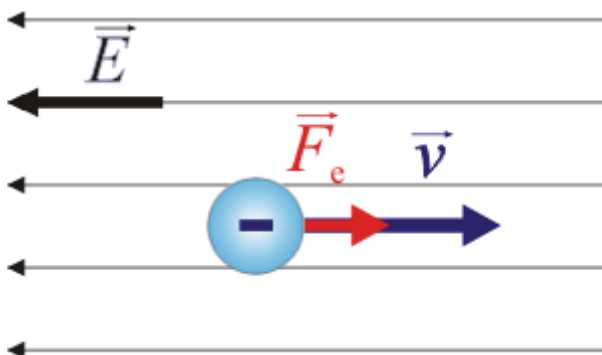
- I. zkoumáním pohybu elektronu
- II. pomocí zákona zachování energie

I. Náповěda 1

Jak velká síla na elektron působí a jaký má směr?

Rozmyslete si, o jaký pohyb se jedná.

Obrázek



I. Náповěda 2

Zrychlení elektronu můžeme spočítat z 2. Newtonova zákona.

I. Rozbor

Na pohybující se elektron bude působit elektrická síla úměrná intenzitě homogenního pole. Protože elektron má záporný náboj, bude mít síla opačný směr než vektor elektrické intenzity. To znamená, že síla bude působit ve směru pohybu elektronu a elektron bude touto silou urychlován.

K výpočtu rychlosti elektronu použijeme vztah pro dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu, kde nesmíme zapomenout na počáteční rychlost elektronu. Zrychlení vyjádříme pomocí 2. Newtonova zákona a dobu pohybu si spočítáme pomocí vztahu pro rychlost rovnoměrně zrychleného pohybu.

I. Řešení: Pohyb elektronu

Na elektron bude působit elektrická síla o velikosti

$$F_e = eE. \quad (1)$$

Protože náboj elektronu je záporný, bude mít síla opačný směr než elektrická intenzita \vec{E} . Síla tedy bude mířit ve směru pohybu a elektron bude rovnoměrně zrychlovat. Pomocí 2. Newtonova zákona vyjádříme zrychlení a :

$$a = \frac{F_e}{m}$$

Za elektrickou sílu můžeme dosadit ze vzorce (1)

$$a = \frac{eE}{m}. \quad (2)$$

Elektron se pohybuje rovnoměrně zrychleně, pro jeho rychlost platí vztah

$$v = at + v_0$$

v_0 jsme si označili počáteční rychlost elektronu.

Z této rovnice si vyjádříme neznámý čas t .

$$t = \frac{v - v_0}{a} \quad (3)$$

Pro dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu platí vztah.

$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$$

Nyní můžeme dosadit za čas t ze vzorce (3):

$$s = \frac{1}{2}a\left(\frac{v - v_0}{a}\right)^2 + v_0\frac{v - v_0}{a}$$

Vztah budeme upravovat tak, abychom vyjádřili hledanou rychlost v .

$$s = \frac{1}{2}\frac{(v - v_0)^2}{a} + \frac{v_0(v - v_0)}{a} \quad | \cdot 2a$$

$$2sa = (v - v_0)^2 + 2v_0(v - v_0)$$

Roznásobíme a zjistíme, že se nám některé členy odečtou.

$$2sa = v^2 - 2v_0v + v_0^2 + 2v_0v - 2v_0^2$$

$$2sa = v^2 - v_0^2 \quad | + v_0^2$$

$$v^2 = 2sa + v_0^2$$

$$v = \sqrt{2sa + v_0^2}$$

Do tohoto vzorce dosadíme za zrychlení a vztah (1) a získáme hledanou konečnou rychlost elektronu.

$$v = \sqrt{\frac{2seE}{m} + v_0^2}$$

II. Náповěda

Zauvažujte na tím, jak a proč se při pohybu v homogenním poli mění energie elektronu.

II. Rozbor

K výpočtu rychlosti využijeme zákon zachování energie.

Na letící elektron působí ve směru pohybu elektrická síla, která koná práci a tím zvětšuje kinetickou energii elektronu.

Poznámka: Práce vykonaná elektrickou silou odpovídá změně elektrické potenciální energie.

II. Řešení: Energie elektronu

Pro letící elektron platí zákon zachování energie.

$$E_{k2} = E_{k1} + W_e \quad (*)$$

Kinetické energie elektronu zjistíme ze vztahů

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2,$$

kde v_0 je počáteční rychlost elektronu.

W_e je práce, kterou musela vykonat elektrická síla, aby elektron urychlila. Protože je elektrická síla konstantní, můžeme ji vypočítat ze vztahu:

$$W_e = F_e s$$

Elektrická síla je přímo úměrná náboji elektronu e a intenzitě pole E : $F_e = eE$, tím dostáváme pro elektrickou práci vztah:

$$W_e = eEs$$

Vztahy pro jednotlivé členy dosadíme do zákona zachování energie (*) a vyjádříme neznámou rychlost v .

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + eEs \quad | \cdot \frac{2}{m}$$

$$v^2 = v_0^2 + \frac{2seE}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2seE}{m} + v_0^2}$$

Zápis a číselný výpočet

$$v_0 = 10 \text{ km s} = 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

$$E = 20 \text{ V m}^{-1}$$

$$s = 9 \text{ cm} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$v = ? \text{ (m s}^{-1}\text{)}$$

Z tabulek:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$v = \sqrt{\frac{2seE}{m} + v_0^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 20}{9,1 \cdot 10^{-31}} + (10^4)^2} \text{ m s}^{-1}$$

$$v \doteq 800 \text{ km s}^{-1}$$

Všimněte si, že i když není elektrické pole moc silné, získá elektron i na malé dráze velkou rychlost. Je to způsobeno tím, že elektron je velmi lehký, a proto k jeho urychlení stačí malé množství energie.

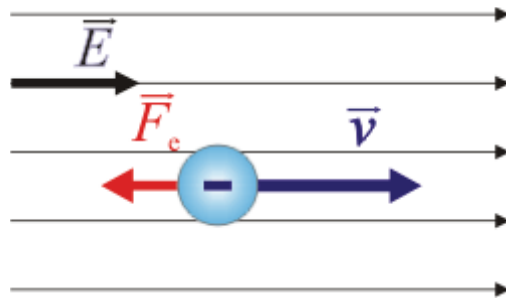
Odpověď

Po uražení dráhy 9 cm bude mít elektron rychlost

$$v = \sqrt{\frac{2seE}{m} + v_0^2} \doteq 800 \text{ km s}^{-1}.$$

Co by se změnilo, kdyby....

Co by se změnilo, pokud by elektron vletěl do stejného homogenního pole ve směru siločar?



V takovém případě by elektrická síla měla opačný směr než rychlost. Elektron by se pohyboval rovnoměrně zpomaleným pohybem.