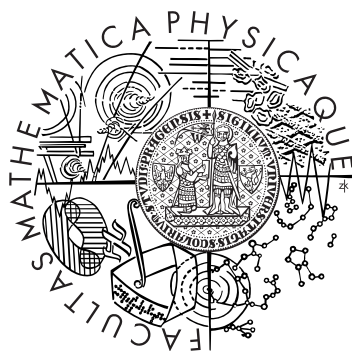


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Lenka Matějíčková

Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu – elektrostatika

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Zdeňka Koupilová, Ph.D.

Studijní program: Fyzika, Učitelství matematiky-fyziky pro SŠ

2010

Především bych chtěla poděkovat vedoucí diplomové práce RNDr. Zdeňce Koupilové, Ph.D. za její trpělivost, pomoc a cenné rady při zpracovávání textu a řešení úloh. Dále bych chtěla poděkovat doc. Josefu Hubeňákovi za poskytnutí zadání k zajímavým úlohám a všem lidem, kteří se podílí na rozvoji elektronické sbírky. Poděkování patří také mé rodině za podporu během celého studia.

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

V Praze dne 20. 7. 2010

Lenka Matějíčková

Obsah

Úvod	6
1 Elektronická sbírka řešených úloh z fyziky	7
1.1 Vznik a historie sbírky	7
1.2 Uživatelské a administrátorské rozhraní a jejich vývoj	7
1.3 Vlastní tvorba úloh	9
1.4 Kapitola elektrostatika na střední škole	16
1.5 Kapitola elektrostatika na vysoké škole	22
2 Sbírký úloh z fyziky	25
2.1 Fyzika – Sbírký úloh pro střední školy – Lepil	26
2.2 Sbírký úloh pro SOŠ a SOU – Miklasová	32
2.3 Sbírký úloh z fyziky pro žáky středních škol – Kružík	35
2.4 Sbírký úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ – Barták	39
2.5 Sbírký řešených úloh z fyziky pro střední školy – Bartuška	41
2.6 Sbírký úloh z fyziky pro gymnázia – kolektiv autorů	45
2.7 Sbírký úloh pro společnou část maturitní zkoušky – Macháček	49
2.8 Fyzikální úlohy pro střední školy – Žák	50
2.9 Fyzika v běžném životě – Nahodil	53
2.10 Srovnání sbírek	54
2.11 Internetové sbírký úloh	56
Závěr	58
Literatura	60
Přílohy	65
A Tabulky k jednotlivým sbírkám	66
A.1 Fyzika – Sbírký úloh pro střední školy – Lepil	66
A.2 Sbírký úloh pro SOŠ a SOU – Miklasová	72
A.3 Sbírký úloh z fyziky pro žáky středních škol – Kružík	78

<i>OBSAH</i>	4
A.4 Sbíрка úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ – Barták . . .	82
A.5 Sbíрка řešených úloh z fyziky pro střední školy – Bartuška . . .	86
A.6 Sbíрка úlohy z fyziky pro gymnázia – kolektiv autorů	91
A.7 Sbíрка úloh pro společnou část maturitní zkoušky – Macháček .	93
A.8 Fyzikální úlohy pro střední školy – Žák	94
A.9 Fyzika v běžném životě – Nahodil	95
B Vytvořené úlohy	96

Název práce: *Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu – elektrostatika*

Autor: *Lenka Matějčková*

Katedra (ústav): *Katedra didaktiky fyziky*

Vedoucí bakalářské práce: *RNDr. Zdeňka Koupilová, Ph.D.*

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

Abstrakt: Práce volně navazuje na bakalářskou práci Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu II, obhájenou na konci akademického roku 2007. Jedním z cílů této diplomové práce bylo zmapovat téma elektrostatika z hlediska výuky na střední škole a poté vytvořit soubor úloh z tohoto tématu, které budou vhodně pokrývat celé téma. Úlohy budou součástí elektronické sbírky úloh z elektřiny a magnetismu dostupné na webovém serveru KDF. Celkem bylo v rámci této práce vytvořeno 30 řešených úloh včetně strukturovaných nápověd, komentovaného řešení a vhodných obrázků. Dále byla práce zaměřena na porovnání stávajících tištěných sbírek úloh z fyziky na základě zvolených kritérií. Úkolem bylo zaměřit se na téma elektrostatika a na základě této analýzy formulovat vhodná doporučení ohledně používání sbírek ve výuce fyziky.

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

Title: *Electronic Collection of Solved Problems in Electromagnetism – Electrostatics*

Author: *Lenka Matějčková*

Department: *Department of Physics Education*

Supervisor: *RNDr. Zdeňka Koupilová, Ph.D.*

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

Abstract: This thesis is a follow-up to the bachelor thesis titled Electronic Collection of Solved Problems in Electromagnetism II. The first goal of the thesis is to explore Electrostatics as a part of physics education at high school. The second goal of the thesis is to create solved tasks which would cover entire Electrostatics at high school level. These tasks are part of the electronic "Collection of Solved Problems in Physics" available at the web server of Department of Physics Education. The outcome of this thesis is 30 solved problems including hints, detailed solutions and suitable pictures. A few samples of these tasks are appended to the thesis. The third goal of the thesis is to make an analysis of existing collections of problems focused on electrostatics. Both printed and electronics collection were analyzed. On the basis of gained knowledge evaluation of suitability of various collections will be made.

Keywords: *electrostatics, electronic collection, solved problems, collection of problems*

Úvod

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zmapovat tématickou oblast elektrostatika z hlediska výuky na střední škole a vybrat z tohoto tématu vhodné úlohy. K těmto úlohám poté vytvořit strukturovaná řešení a úlohy zveřejnit v elektronické sbírce řešených úloh, která je dostupná na webovém serveru KDF na adrese www.fyzikalniulohy.cz. Po dokončení této práce by měly vzniklé úlohy spolu se stávajícími úlohami pokrývat celé téma elektrostatika.

Dalším dílčím cílem této práce je porovnat podle zvolených kritérií stávající středoškolské sbírky úloh z fyziky. Výsledek tohoto srovnání by měl být interpretován z hlediska vhodnosti použití jednotlivých sbírek na středních školách. Vzhledem k hlavnímu cíli celé práce se celá analýza sbírek podrobněji zaměřila právě na úlohy z tématu elektrostatika.

Téma diplomové práce jsem si vybrala tak, abych navázala na svou bakalářskou práci Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu II [1]. V rámci bakalářské práce bylo přidáno do elektronické sbírky deset úloh z tématu elektrostatika. Jak již bylo uvedeno výše, mým dalším cílem bylo vytvořit nové úlohy a rozšířit tak téma elektrostatika ve sbírce. Po nastoupení na střední průmyslovou školu na místo učitelky jsem při výuce fyziky automaticky začala používat sbírku úloh, ze které jsem se sama dříve na gymnáziu učila. Po krátké době jsem zjistila, že je třeba mít v zásobě větší množství úloh, a tedy využívat i jiné sbírky. Nikde jsem ale bohužel nenašla jejich charakteristiku či to, jestli se od sebe jednotlivé sbírky úloh liší nebo naopak jsou velmi podobné. Proto jsem si vybrala toto téma, abych se se sbírkami blíže seznámila a vhodné porovnání sbírek vytvořila.

Diplomová práce je rozdělena do dvou kapitol. První kapitola se věnuje elektronické sbírce řešených úloh, jejímu vzniku, rozvoji, tvorbě úloh do sbírky a přehledu látky probírané na střední a vysoké škole v tématu elektrostatika. Druhá kapitola se věnuje popisu a porovnání existujících, zejména tištěných sbírek úloh z fyziky.

Kapitola 1

Elektronická sbírka řešených úloh z fyziky

1.1 Vznik a historie sbírky

Elektronická sbírka řešených úloh z fyziky, která je dostupná na serveru KDF, začala vznikat v roce 2006. V rámci mé bakalářské práce [1] a bakalářské práce Marie Snětinové [2] bylo navrženo rozhraní sbírky a struktura jednotlivých úloh. Naprogramování sbírky nebylo součástí prací. Po dokončení těchto prací obsahovala sbírka 20 úloh z elektřiny a magnetismu. V současné době se každým rokem sbírka rozrůstá o úlohy, které vytvářejí studenti v rámci svých bakalářských prací, diplomových prací a studentských projektů. V době odevzdání práce (červenec 2010) obsahuje sbírka přibližně 170 úloh z elektřiny a magnetismu, 90 úloh z mechaniky a 70 úloh z termodynamiky a molekulové fyziky.

1.2 Uživatelské a administrátorské rozhraní a jejich vývoj

Stránka s úlohou, tak jak ji vidí uživatel, je rozdělena na několik částí. V horní části má čtenář možnost si vybrat tématickou oblast fyziky a jazyk. V levé části stránky se nachází rozbalovací menu se seznamem úloh (tvoří obsah a zároveň rozcestník sbírky). Samotná úloha se zobrazuje v pravé části stránky. Pod zadáním úlohy jsou „rozklikávací“ lišty s názvy oddílů, ze kterých se skládá řešení úlohy (typy oddílů jsou podrobněji rozebrány v mé bakalářské

práci [1]). Požadovaný oddíl se rozbalí vždy přímo pod příslušnou lištu a lze jej poklepáním na lištu opět zavřít.

Úlohy jsou rozděleny podle náročnosti do kategorií ZŠ (úlohy zvládnutelné na základní škole), SŠ (úlohy řešitelné na střední škole), SŠ++ (úlohy na pomezí mezi SŠ a VŠ, převážně z rozšiřujícího učiva SŠ) a VŠ (vysokoškolské úlohy). Obtížnost je u každé úlohy uvedena (ikonou vpravo vedle zadání). Dále může být úloha zařazena do speciální kategorie – úloha řešená graficky, úloha řešená úvahou, komplexní úloha, úloha řešená neobvyklým „trikem“ a úloha s teorií. Toto zařazení je opět ikonkou u každé úlohy vyznačeno.

Oproti stavu v roce 2007, který je popsán v bakalářské práci Marie Snětinové [2] nastalo ve sbírce několik změn, na které bych chtěla upozornit.

Nejprve se budu věnovat uživatelskému rozhraní. Prvním rozšířením je nová tématická oblast *Termodynamika a molekulová fyzika*. Dále bych chtěla zmínit, že úlohy nevznikají pouze v češtině, ale postupně se překládají do angličtiny a polštiny. V případě zájmu zahraničních kolegů je rozhraní sbírky připraveno na úlohy v dalších jazycích.

Vedle zadání úlohy přibyly dvě nové ikonky. První vyznačuje úlohy, u kterých je třeba dohledat nějaké údaje neuvedené přímo v zadání, ale potřebné k jejich vyřešení, jedná se například o konstanty v tabulkách. Druhá ikonka je vlastně odkazem na webovou stránku v Multimediální encyklopedii fyziky [3]. Protože tato možnost označení úloh je funkční krátkou dobu (od června 2010), nejsou zatím všechny stávající úlohy ve sbírce správně označeny.

Kromě „normálních“ oddílů mohou úlohy obsahovat takzvané skryté oddíly, jejichž lišty se zobrazí až poté, co „rozklikneme“ nadřazený oddíl. Jako skryté oddíly jsou ve sbírce hlavně řešení nápověd. Toto uspořádání by mělo čtenáře přimět přečíst si nejdříve nápovědu a zkusit pomocí ní úlohu vyřešit samostatně a až poté si zkontrolovat, zda je toto řešení správné.

Protože nové v jednotlivých kapitolách je už větší množství úloh, jsou nyní jednotlivé kapitoly rozděleny na podkapitoly. (Rozdělení kapitoly Elektrostatika je uvedeno v kapitole 1.3 na straně 9 této práce.) S tímto rozdělením úloh do menších celků přibyla také možnost zařadit úlohu do více různých podkapitol, pokud se týká více částí dané fyzikální oblasti.

Novou funkcí je také filtrování úloh podle obtížnosti a zařazení do speciálních kategorií. Uživatel si může tedy zobrazit pouze menší množství úloh, které ho konkrétně zajímají. Zároveň má také možnost zobrazit si rovnou určitou úlohu, pokud zná její kód.

Administrátorské rozhraní je běžnému uživateli skryté, proto ho nebudu popisovat podrobně. Chtěla bych jen upozornit na změny od roku 2007.

Nové administrátorské rozhraní je celé v anglickém jazyce, tuto změnu si vyžádala spolupráce se zahraničními kolegy. Novinky v uživatelském rozhraní se musely projevit i zde. Přibyla možnost zařazení úlohy do více podkapitol a seřazení úloh v rámci podkapitoly. Zobrazení seznamu úloh je možné filtrovat podle zadavatele, předmětu a podkapitoly. Tvůrce úlohy si také může přímo zobrazit úlohu s daným kódem.

Pomocí funkce *Check before publishing* je možné úlohu před zveřejněním zkontrolovat – zda je úloha zařazena (do kapitoly, podkapitoly, speciální kategorie, obtížnosti), zda jsou správně označeny oddíly (nápověda, řešení, ..., normální, skrytý, ...) a jestli text zadání i všech oddílů řešení splňuje normu XHTML.

Při vzniku tohoto nového rozhraní jsem přispívala svými nápady k obsahu tak, aby bylo rozhraní pro zadavatele co nejvíce pohodlné. Poté co bylo rozhraní naprogramováno, podílela jsem se na testování jeho funkčnosti.

Obrázky k úlohám do sbírky vznikají zejména v programu Corel Draw. Protože ne každý zadavatel má s tímto programem zkušenosti, vytvořila jsem proto krátký návod *Jak na Corel X3*, který je dostupný v nápovědě administrátorského rozhraní. Nejedná se o odborný text, nýbrž o jednoduché tipy a postupy, které se při vytváření obrázků nejvíce používají. Vycházela jsem z vlastních zkušeností při práci na obrázcích do sbírky. Zároveň vznikl také *ukázkový obrázek*, ve kterém jsou použity časté způsoby označení veličin jako vektory, označení s dolními a horními indexy, atd. Tento soubor umožňuje kopírování částí obrázku a měl by tak ušetřit práci ostatním zadavatelům, kteří tak nemusí obrázek vytvářet úplně od začátku.

1.3 Vlastní tvorba úloh

Důležitým cílem této diplomové práce bylo vytvořit soubor podrobně řešených úloh. Kapitulu elektrostatika z tématické oblasti elektřina a magnetismus, které se úlohy týkají, jsem si zvolila již ve své bakalářské práci [1]. Zadání nových úloh jsem vybírala tak, aby spolu s původními pokrývaly co nejlépe kapitolu elektrostatika.

Protože po dokončení diplomové práce měla kapitola obsahovat přibližně 40 úloh, bylo třeba ji rozdělit na menší podkapitoly, aby pro čtenáře zůstala přehledná. Při navrhování těchto podkapitol jsem vycházela ze středoškolské učebnice Fyzika pro gymnázia [4] (přehled středoškolské látky a podkapitol je uveden v části 1.4 této práce). Protože sbírka obsahuje i úlohy vysokoškolské úrovně, bylo třeba doplnit některé podkapitoly vhodné právě pro tyto úlohy.

Kapitolu elektrostatika jsem tedy rozdělila na následující podkapitoly:

1. Síly v elektrickém poli, Coulombův zákon
2. Intenzita elektrického pole
3. Elektrický potenciál, potenciální energie
4. Práce v elektrickém poli
5. Gaussova věta
6. Zapojování kondenzátorů, kapacita
7. Elektrické pole a energie kondenzátoru
8. Elektrický dipól a elektrické pole v látkách

Po rozdělení kapitoly a na základě analýzy obsahu tématu elektrostatika jsem začala vytvářet, vyhledávat a upravovat vhodná zadání úloh. Inspirací mi byly zadání fyzikálních olympiád, středoškolské a vysokoškolské sbírky úloh ([5] až [13]). Zadání jsem se snažila vybrat tak, aby úlohy co nejlépe pokrývaly celou látku probíranou v kapitole elektrostatika.

Po vybrání vhodných úloh následovalo vymýšlení jejich strukturovaného řešení. Úlohy jsou rozděleny na oddíly, které jsou podrobněji popsány v bakalářské práci [1]. Zadání úloh jsem pozměňovala tak, aby byla srozumitelná a přehledná. Každá úloha obsahuje alespoň jednu nápovědu, slovní rozbor fyzikální situace, podrobně komentované řešení a odpověď. Některé úlohy obsahují komentář, ve kterém je například uveden alternativní postup řešení, přehled využitých matematických vzorců, vysvětlení teorie, případně je popsáno, jak moc se změní řešení, pokud pozměníme zadání atd. Související úlohy jsou navzájem provázány odkazy. Většina úloh je doplněna názornými obrázky, které jsem vytvářela v programu *Corel Draw X3*.

Všechny úlohy jsem přepsala do formátu, ve kterém se vkládají do databáze. Veškerý text je psán v XHTML a vzorce jsou psány ve formátu \LaTeX . Každá úloha je označena unikátním kódem, podle kterého můžeme úlohu jednoznačně identifikovat.

Na následujících stránkách je uveden popis 30 úloh, které vznikly v rámci této diplomové práce. V závorce za názvem úlohy je uveden kód úlohy, její obtížnost a sbírka úloh, ve které se nachází úloha, jež byla inspirací pro konkrétní zadání. U úloh, které se týkají Gaussovy věty není uvedena sbírka, která by byla zdrojem, protože se jedná o základní úlohy probírané k tématu Gaussova věta. Nalezneme je tedy ve většině vysokoškolských učebnic a sbírek (např. v [5] a [6]). Úlohy jsou řazeny podle prvního výskytu ve sbírce (některé úlohy jsou totiž zařazeny ve více podkapitolách současně).

1. **Elektrické kyvadélko v poli nabité koule (velká výchylka)** (153, SŠ+, [7])

Úloha využívá Coulombova zákona. Obtížnost úlohy je způsobena hlavně složitějším matematickým postupem, ve kterém je třeba využít podobnosti trojúhelníků, goniometrických funkcí a sinové věty.

2. **Elektrické kyvadélko v poli nabité koule (malá výchylka)** (89, SŠ, [7])

Jednodušší varianta předchozí úlohy. Zanedbáním úhlu při malé výchylce kyvadélka se matematický postup v úloze zjednoduší.

3. **Osm nábojů ve vrcholech osmiúhelníku** (267, SŠ+, [8])

V této úloze se počítá síla, která působí na náboj ve středu pravidelného osmiúhelníka a devítiúhelníka, v jejichž vrcholech jsou umístěné bodové náboje. První část úlohy je řešena dvěma způsoby (využitím symetrie situace a obecněji vektorovým sčítáním). Je zde také uveden komentář, jak by se úloha změnila pro pravidelný n -úhelník.

4. **Čtverec** (268, SŠ, [9])

Úloha je zaměřena na výpočet elektrické intenzity ve středu čtverce, v jehož vrcholech se nacházejí stejné náboje. V druhé části úlohy je třeba umístit do středu čtverce náboj tak, aby síla působící na všechny náboje byla rovna nule. V budoucnu by bylo možné úlohu rozšířit o výpočet, zda je takové uspořádání nábojů ve stabilní nebo labilní rovnováze.

5. **Intenzita elektrického pole čtyř nábojů** (93, SŠ, [10])

Úloha je zaměřena na grafické sčítání vektorů elektrické intenzity. Zadání je uzpůsobeno tak, aby se dala vyřešit i úvahou, tj. bez výpočtů.

6. Intenzita pole nabitého balónu (166, SŠ+, [10])

Úloha se zabývá elektrickým polem nabitě kulové slupky (balónu). V první části úlohy je třeba vypočítat poloměr balónu, jestliže známe rychlost jeho nafukování, a v druhé intenzitu elektrického pole v dané vzdálenosti od balónu.

7. Pole rovnoměrně nabitě koule (269, VŠ)

Tato úloha využívá Gaussovu větu při výpočtu elektrické intenzity vně a uvnitř nabitě koule. Jelikož se jedná o první úlohu, která se týká Gaussovy věty, je zde v samostatném oddílu vysvětleno, jak je vhodné volit Gaussovu plochu. Ostatní úlohy využívající Gaussovu větu na tento oddíl odkazují. Úloha je doplněna grafy a odkazem na obtížnější úlohu, ve které je koule nabita nerovnoměrně.

8. Pole rovnoměrně nabitě sféry (270, VŠ)

Toto je úloha na výpočet intenzity a potenciálu vně a uvnitř nabitě sféry, tzn. velmi tenké kulové vrstvy, pomocí Gaussovy věty. Úloha je opět doplněna grafy.

9. Pole nabitě kulové vrstvy (446, VŠ)

Úloha využívá Gaussovu větu. V samostatných oddílech je vypočítána intenzita elektrického pole nabitě kulové sféry a koule jako speciální případy této úlohy. Úloha je tedy provázána odkazy s úlohami *Pole rovnoměrně nabitě sféry* a *Pole rovnoměrně nabitě koule*

10. Nerovnoměrně nabitá koule (272, VŠ)

Úloha je velmi podobná úloze *Pole rovnoměrně nabitě koule*, liší se pouze nerovnoměrným rozložením náboje v objemu koule.

11. Pole nabitého válce (444, VŠ)

Úloha opět využívá Gaussovu větu pro výpočet intenzity elektrického pole. Druhou část tvoří výpočet potenciálu. Samostatný oddíl tvoří okomentované grafy.

12. Pole nabitě válcové plochy (445, VŠ)

Další úloha na využití Gaussovy věty.

13. Pole rovnoměrně nabitě roviny (443, VŠ)

V této úloze se počítá intenzita a potenciál v okolí nabitě roviny, tzn. velmi tenké vrstvy, pomocí Gaussovy věty. Úloha je doplněna grafy.

14. Pole tlusté nabitě desky (447, VŠ)

Úloha se zabývá výpočtem intenzity v okolí tlusté homogenně nabitě desky pomocí Gaussovy věty a také výpočtem potenciálu tohoto pole. Úloha je provázána s předchozí úlohou *Pole rovnoměrně nabitě roviny* a v samostatném oddíle je využít výsledek této úlohy k výpočtu intenzity elektrického pole tlusté nabitě desky alternativním způsobem pomocí principu superpozice. Úloha je opět doplněna grafy.

15. Dvojice rovnoběžných nabitých desek (482, VŠ)

Úkolem řešitele v této úloze je prozkoumat elektrické pole dvou nabitých desek, a to jak pro případ souhlasného, i nesouhlasného znaménka náboje obou desek. Úloha využívá výsledky úlohy *Pole rovnoměrně nabitě roviny* a obsahuje velké množství názorných obrázků. Úloha je řešená dvěma způsoby: pomocí výpočtu a graficky

16. Nabitá úsečka (275, VŠ)

V této úloze se počítá intenzita v okolí nabitě úsečky a je rozdělena na tři části. V první části je vypočítána intenzita v obecném bodě nad úsečkou. Jako speciální případ je v druhé části úlohy určena elektrická intenzita nad středem úsečky a poslední část se věnuje intenzitě elektrického pole nad přímkou, tzn. nad nekonečně dlouhou úsečkou.

17. Pole nabitě přímky (534, VŠ)

Tato úloha jako poslední využívá Gaussovy věty k výpočtu elektrické intenzity. Úloha je provázána s úlohou *Nabitá úsečka*, kde je intenzita elektrického pole vypočítaná přímou integrací.

18. Přímý vodič (274, VŠ, [11])

V této úloze se počítá intenzita elektrického pole úsečky v bodě, který leží na stejné přímce jako úsečka. Úloha je zadaná i číselně.

19. Nabitá koule spojené drátem (43, SŠ+, [12])

Při řešení této úlohy je třeba si uvědomit, že pokud spojíme dvě nabitá vodivá tělesa, přerozdělí se na nich náboj tak, aby obě tělesa měla stejný potenciál.

20. Práce vykonaná při přenesení náboje (180, SŠ+, [10])

Úloha se zabývá výpočtem práce, kterou je třeba vykonat při přenesení náboje v elektrickém poli. V komentáři je vysvětlen rozdíl mezi prací, kterou koná elektrická a vnější síla.

21. Čtyři náboje (271, SŠ+, [8])

V této úloze řešitel počítá práci, kterou je třeba vykonat, abychom přidali náboj do již daného seskupení tří nábojů, a práci na seskupení všech čtyř nábojů. Kromě výpočtu využívajícího potenciál je uveden alternativní postup výpočtu práce přímou integrací a pomocí potenciální energie soustavy. V komentáři úlohy je uveden rozdíl mezi prací s kladným a záporným znaménkem.

22. Elektron v obrazovce osciloskopu (71, SŠ+, [11])

Úloha se zabývá vychylováním pohybujícího se elektronu pomocí elektrického pole, kterého se využívá například v obrazovkách osciloskopů. Úloha souvisí úzce z mechanikou, protože trajektorie pohybu elektronu je stejná jako při vodorovném vrhu.

23. Jak spojit kondenzátory (178, SŠ+, [10])

Úkolem řešitele je vymyslet, jak zapojit kondenzátory, abychom získali zadanou celkovou kapacitu. Zároveň je uveden komentář, jak pozměnit zapojení, pokud by nalezené zapojení nevydrželo potřebné napětí.

24. Propojení dvou kondenzátorů (273, SŠ, [11])

V této úloze je třeba vypočítat, jak se změní energie dvou kondenzátorů, pokud spojíme jeden nabitý a jeden nenabitý kondenzátor.

25. Kondenzátor s deskou na pružině (81, SŠ+, [13])

Úloha popisuje, jak se mění poloha jedné desky kondenzátoru zavěšené na pružině v závislosti na napětí připojeném mezi oběma deskami. Závislost napětí na posunutí desky je zakreslena do grafu. Je zde také vysvětleno, kdy jsou desky ve stabilní a kdy v labilní rovnováze.

26. Kondenzátor s olejem (88, SŠ+, [11])

V této rozsáhlejší úloze se počítá kapacita deskového kondenzátoru, který je z části vyplněn olejem, a změny energie, které nastanou, pokud olej stoupne do určité výšky kondenzátoru. Zároveň je zde uvažována i možnost, že kondenzátor je olejem vyplněn celý. V této úloze je uveden alternativní postup výpočtu výšky hladiny s použitím výsledků úlohy *Dielektrický výtah* (tuto úlohu vytvořil Petr Pošta v rámci diplomové práce [14]), se kterou je úloha provázána odkazem.

27. Válcový kondenzátor (449, VŠ)

Tato úloha je zaměřena na výpočet kapacity válcového kondenzátoru. V samostatných oddílech je vysvětleno, proč je intenzita elektrického pole vně kondenzátoru rovna nule a alternativní způsob jak vypočítat intenzitu elektrického pole mezi elektrodami.

28. Kulový kondenzátor (492, VŠ)

V této úloze se počítá kapacita kulového kondenzátoru a kapacitní a influenční koeficienty soustavy dvou soustředných kulových elektrod. Kapacita je vypočítaná třemi různými způsoby.

29. Energie kondenzátorů (176, SŠ+, [10])

Úloha se věnuje problematice paralelně zapojených kondenzátorů, které se využívají k akumulování energie. Kromě energie kondenzátorů je vypočítaná i cena, jakou by stálo nabití této soustavy kondenzátorů na dané napětí.

30. Změna energie kondenzátoru (177, SŠ+, [10])

V této úloze je třeba vypočítat, jak se mění energie deskového kondenzátoru, jestliže měníme vzdálenost desek nebo napětí na deskách. Oproti většině úloh, které na toto téma nalezneme ve sbírkách, jsou v této úloze změny vzdálenosti, resp. napětí zadány v procentech. Úloha je tím pro středoškolské studenty obtížnější.

V kapitole elektrostatika jsou zařazeny i další úlohy, které nejsou popsány ani zde, ani v bakalářské práci [1]. Jedná se zejména o obtížnější vysokoškolské úlohy, které jsem nevytvořila. Většina z nich vznikla v rámci diplomové práce Petra Pošty [14].

1.4 Kapitola elektrostatika na střední škole

V této kapitole je uveden přehled látky, která se probírá na středních školách v tématu elektrostatika. Tento přehled jsem zpracovala podle učebnice pro gymnázia [4]. Rozdělení přehledu na jednotlivé části odpovídá dělení první kapitoly **Elektrický náboj a elektrické pole** na jednotlivé podkapitoly.

Kromě přehledu probíraných vztahů a pojmů v jednotlivých podkapitolách uvádím u každé podkapitoly úlohy, které se hodí k procvičení dané látky. Úlohu zařazuji vždy až ke kapitole, kde jsou studenti schopni vyřešit všechny její části. Proto se může stát, že pokud spolu dvě kapitoly úzce souvisí, tak se úlohy objeví až u druhé z nich, protože je třeba znát vztahy jak z první, tak z druhé podkapitoly.

K podkapitolám jsou přiřazeny všechny úlohy vhodné obtížnosti, které jsem do sbírky vytvořila, tzn. 10 úloh z bakalářské práce [1] a 30 úloh z této diplomové práce. U každé úlohy je v závorce uveden její kód, aby bylo možné úlohu ve sbírce rychle vyhledat.

Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Tato podkapitola seznamuje studenty se základními vlastnostmi elektrického náboje. Jsou zde vysvětleny pojmy *vodič*, *izolant*, *elektroskop*, *elektrometr* a *elementární náboj*. Z důležitých fyzikálních zákonitostí zde nalezneme definici jednotky *coulomb*, *zákon zachování náboje* a také velikost elementárního náboje $e \approx 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Protože tato podkapitola se věnuje základním představám o náboji a jeho chování, není do sbírky zařazena žádná úloha, která by se věnovala pouze této problematice. Uvedené poznatky jsou využívány v úlohách v následujících podkapitolách.

Elektrostatické silové působení bodových nábojů. Coulombův zákon.

V této podkapitole je odvozena závislost elektrické síly na velikosti a vzdálenosti dvou bodových nábojů. Výsledkem je *Coulombův zákon* ve tvaru:

$$F_e = k \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}. \quad (1.1)$$

Dále jsou zde vysvětleny pojmy *bodový náboj*, *permitivita vakua* a *relativní permitivita látky*.

Úlohy vhodné k této části:

- Zavěšené nabité kuličky (8)
- Kuličky na niti ponořené do benzenu (26)
- Rovnováha tří nábojů (36)
- Elektrické kyvadélko v poli nabitě koule (malá výchylka) (89)
- Elektrické kyvadélko v poli nabitě koule (velká výchylka) (153)
- Osm nábojů ve vrcholech osmiúhelníku (267)

Elektrické pole. Intenzita elektrického pole.

Nejdůležitější částí této podkapitoly je zavedení intenzity elektrického pole jako vektorové veličiny popisující elektrické pole pomocí vztahu:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}. \quad (1.2)$$

Použitím Coulombova zákona dostaneme vztah pro velikost intenzity elektrického pole ve vzdálenosti r od bodového náboje:

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}. \quad (1.3)$$

Vysvětleny jsou v této podkapitole také pojmy *siločára* a *radiální a homogenní pole*.

Úlohy vhodné k této části:

- Intenzita ve vrcholu trojúhelníku (18)
- Intenzita elektrického pole čtyř nábojů (93)
- Intenzita pole nabitého balónu (166)
- Čtverec (268)

Práce v elektrickém poli. Elektrické napětí.

Z pokusu, ve kterém dochází k přenášení náboje mezi rovnoběžnými nabitými deskami pomocí vodivé kuličky, je odvozen vztah pro práci, kterou vykoná elektrická síla:

$$W = F_e d = |q|Ed, \quad (1.4)$$

na jehož základě je zavedena nová veličina – elektrické napětí:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}. \quad (1.5)$$

Nalezneme zde také odvození jednotky intenzity $[E] = \text{V m}^{-1}$ ze vztahu:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (1.6)$$

který platí pro homogenní pole.

Práce a napětí úzce souvisí s potenciálem, proto se některé úlohy na výpočet práce objeví až v následující podkapitole.

Úlohy vhodné k této části:

- Kapička mezi kovovými deskami (19)
- Letící elektron v homogenním poli (31)
- Elektron v obrazovce osciloskopu (71)

Potenciální energie v elektrickém poli. Elektrický potenciál.

Na začátku této podkapitoly je uvedena souvislost mezi vykonanou prací a potenciální energií.

$$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} \quad \Rightarrow \quad U_{AB} = \frac{E_{pA}}{q} - \frac{E_{pB}}{q} \quad (1.7)$$

Následuje zavedení potenciálu

$$\varphi = \frac{E_p}{q}, \quad (1.8)$$

a vyjádření napětí jako rozdílu potenciálů

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B. \quad (1.9)$$

Posledním vztahem této podkapitoly je vzorec pro výpočet potenciálu elektrického pole bodového náboje:

$$\varphi = k \frac{Q}{r}. \quad (1.10)$$

Novým pojmem v této podkapitole je dále *ekvipotenciální plocha*.

Úlohy vhodné k této části:

- Potenciál bubliny a kapky (35)
- Nabité koule spojené drátem (43)
- Práce vykonaná při přenesení náboje (180)
- Čtverec (268)
- Čtyři náboje (271)

Elektrické pole nabitého vodivého tělesa ve vakuu. Rozložení náboje na vodiči.

V této podkapitole je vysvětleno, jak se náboj rozkládá na vodivém tělese. Konkrétně je zde popsán příklad nabité vodivé koule, pro kterou zde najdeme vztah pro intenzitu pole vně a uvnitř koule a také pro potenciál uvnitř koule.

Nově je zde zavedena plošná hustota náboje:

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S} \quad (1.11)$$

a díky této veličině je zde uveden vztah pro velikost intenzity v blízkosti nabitě plochy:

$$E = \frac{|\sigma|}{\varepsilon_0}, \quad (1.12)$$

což je vlastně zjednodušená podoba Gaussovy věty. (Tento název, ale v učebnici uveden není.) Vztah je odvozen pouze pro homogenně nabitou kulovou plochu, i když platí obecně.

Úloha, která by se zabývala pouze touto částí středoškolské látky, ve sbírce zařazena není. Vztah pro výpočet plošné hustoty náboje je součástí složitějších úloh. Sbíрка samozřejmě obsahuje úlohy na Gaussovu větu, ale jedná se o úlohy vysokoškolské obtížnosti.

Vodič a izolant v elektrickém poli.

Tato kapitola obsahuje více teorie a nových pojmů než prostoru pro řešení úloh. Jsou zde popsány hlavní rozdíly mezi chováním vodiče a izolantu v elektrickém poli. K vysvětlení jsou využívány hlavně obrázky.

Novými pojmy v této kapitole jsou *elektrostatická indukce*, *indukovaný náboj*, *dielektrikum*, *atomová polarizace dielektrika*, *orientační polarizace dielektrika* a *elektrický dipól*.

Kapacita vodiče. Kondenzátor.

V této kapitole je zavedena nová veličina – kapacita osamocené vodiče:

$$C = \frac{Q}{\varphi}. \quad (1.13)$$

Jako příklad je vypočítána kapacita osamělého kulového vodiče.

Poprvé se v této kapitole také setkáváme s pojmem *deskový kondenzátor* a s odvozením jeho kapacity.

$$C_0 = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad (1.14)$$

Je zde také odvozeno, že deskový kondenzátor vyplněný dielektrikem má větší kapacitu C , než je kapacita C_0 stejného kondenzátoru bez dielektrika. Poměr obou těchto kapacit se rovná relativní permitivitě dielektrika mezi deskami.

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0}. \quad (1.15)$$

Úloha, která by se zabývala pouze kapacitou kondenzátoru, ve sbírce není. Jsou zde ale zařazeny složitější úlohy, ve kterých se řeší zapojování kondenzátorů nebo je třeba dopočítat například i energii kondenzátoru, proto jsou úlohy obsahující výpočet kapacity uvedeny až v následující podkapitole.

Technické kondenzátory. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Na začátku kapitoly jsou popsány elektrolytické a otočné kondenzátory. Následují schémata pro sériové a paralelní zapojení dvou kondenzátorů a odvození vztahů pro výpočet celkové kapacity.

$$C = C_1 + C_2 \quad \text{pro paralelní zapojení,} \quad (1.16)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{pro sériové zapojení.} \quad (1.17)$$

Na konci kapitoly je popsáno nabíjení a vybíjení kondenzátoru a odvozen vztah pro energii kondenzátoru:

$$E_e = \frac{1}{2} CU^2. \quad (1.18)$$

Úlohy vhodné k této části:

- Síla působící na desky kondenzátoru (38)
- Jak spojit kondenzátory (178)
- Energie kondenzátorů (176)
- Změna energie kondenzátoru (177)
- Propojení dvou kondenzátorů (273)
- Kondenzátor částečně vyplněný dielektrikem (28)
- Kondenzátor s olejem (88)
- Kondenzátor se deskou na pružině (81)

1.5 Kapitola elektrostatika na vysoké škole

V této části práce uvádím přehled látky probírané na vysoké škole dle učebnice elektřiny a magnetismu [5]. Protože úlohy, které jsem do sbírky vytvářela, jsou především středoškolské (vysokoškolské úlohy se týkají hlavně tématu Gaussova věta), není zde uveden přehled vzorců jako u látky středoškolské. Veškeré znalosti získané na střední škole se na vysoké škole prohlubují a probírají podrobněji. Rozdíl je hlavně v použití vyšší matematiky, zejména vektorového zápisu vzorců, diferenciálního a integrálního počtu, ale také diferenciálních vektorových operátorů. V následujícím přehledu jsem se zaměřila na poznatky, které jsou na vysoké škole zcela nové.

Elektrický náboj

Kromě podrobnějšího rozebrání vlastností elektrického náboje a Coulombova zákona se na vysoké škole probírá podrobněji hustota elektrického náboje. Úplně nově se mluví o potenciální energii soustavy bodových nábojů.

Elektrostatické pole ve vakuu

V této kapitole se prohlubují znalosti, které se týkají intenzity a potenciálu elektrického pole. Zavádí se veličina tok intenzity elektrického pole, hustota energie elektrostatického pole a odvozuje Gaussova věta, která na střední škole není zmiňována. Dalšími novými zákony jsou Poissonova a Laplaceova rovnice.

Elektrický dipól

Elektrické dipóly jsou na střední škole pouze zmíněny v souvislosti s chováním izolantu v elektrickém poli. Tato látka je tedy úplně nová. Zavedena je potenciál a intenzita elektrického pole dipólu. V samostatných podkapitolách je probírán multipólový rovoj elektrostatického pole, elektrická dvojvrstva, tj. plošné rozložení dipólů, a objemové rozložení dipólů

Elektrostatické pole nabitých vodičů

Na začátku této kapitoly je vysvětlen rozdíl mezi vodiči, nevodiči a polovodiči. Podrobněji je zde vysvětleno chování vodičů v elektrickém poli a nepřímo

je zde ověřen Coulombův zákon. Část kapitoly se zabývá základní úlohou elektrostatiky. Podrobněji je zde probrána kapacita a energie soustavy nabitých vodičů.

Elektrostatické pole v dielektrikách

V této kapitole se podrobněji mluví o chování dielektrika v elektrostatickém poli, o jeho polarizaci, Gaussově větě a energii elektrostatického pole v dielektriku. Kromě permitivity, kterou studenti znají už ze střední školy, se zde mluví také o susceptibilitě.

Vysokoškolské úlohy ve sbírce

Vysokoškolské úlohy, které jsem vytvořila do sbírky, se týkají hlavně tématu Gaussova věta. Tyto úlohy jsou zároveň zařazeny do podkapitol týkajících elektrické intenzity a potenciálu. Úlohami z druhé velké oblasti elektrostatiky, která je pro studenty na vysokoškolské úrovni nová, tj. úlohy týkající se elektrického dipólu a elektrického pole v látkách, se zabývá ve své práci Petr Pošta [14].

Následuje seznam úloh vysokoškolské obtížnosti, kde u každé úlohy je v závorce uveden její kód. V seznamu jsou pro úplnost uvedeny také úlohy, které vznikly v rámci již zmíněné práce Petra Pošty. Tyto úlohy jsou označeny písmenem P. Úlohy jsou uvedeny jen jednou, a to v první podkapitole, ve které se ve sbírce vyskytují.

Gaussova věta

- Pole rovnoměrně nabitě koule (269)
- Pole rovnoměrně nabitě sféry (270)
- Pole nabitě kulové vrstvy (446)
- Nerovnoměrně nabitá koule (272)
- Pole nabitého válce (444)
- Pole nabitě válcové plochy (445)
- Pole rovnoměrně nabitě roviny (443)
- Pole tlusté nabitě desky (447)
- Nabitá úsečka (275)
- Pole nabitě přímky (534)

Intenzita elektrického pole

- Dvojice rovnoběžných nabitých desek (482)
- Přímý vodič (274)

Zapojování kondenzátorů, kapacita

- Válcový kondenzátor (449)
- Kulový kondenzátor (492)
- Dielektrický výtah (242, P)

Elektrické pole a energie kondenzátoru

- Dielektrický výtah (242, P)

Elektrický dipól a elektrické pole v látkách

- Koeficient polarizovatelnosti (185, P)
- Koeficient polarizovatelnosti atomu vodíku (198, P)
- Vzájemné působení dvojice dipólů (199, P)
- Elektrický dipól a bodový náboj (237, P)
- Pole homogenně polarizované koule (264, P)
- Energie pole homogenně polarizované koule (238, P)
- Homogenně polarizovaný válec (239, P)
- Izolovaná kovová koule (240, P)

Kapitola 2

Sbírky úloh z fyziky

V této kapitole se budu věnovat zejména tištěným sbírkám úloh z fyziky, které jsou v současné době dostupné v knihkupectvích, nebo se jedná o sbírky vydané sice dříve, ale stále je nalezneme na školách. Každé sbírce je věnována samostatná část této kapitoly, ve které je sbírka podrobně popsána. V závěru kapitoly se věnuji jejich srovnání.

Pro popis a porovnání jednotlivých sbírek jsem zvolila následující kritéria:

1. Jak je sbírka dělená?
2. Obsahuje sbírka úlohy s postupem řešení?
3. Obsahuje sbírka výsledky úloh?
4. Je u úloh rozlišena obtížnost?
5. Je uvedeno jak správně řešit úlohy (strategie řešení)?
6. Obsahuje sbírka souhrn teorie nebo přehled vzorců?
7. Jakého typu jsou úlohy?

Jako první je u každé sbírky rozebráno rozdělení na jednotlivé kapitoly a podkapitoly. Toto dělení je vždy převzato přímo z jednotlivých sbírek včetně názvů jednotlivých částí a jejich číslování. Podrobněji je popsán úvod sbírky, kde bývá vysvětlena strategie řešení, obtížnost úloh, atd. Dále už jsou pak hodnoceny sbírky podle jednotlivých kritérií.

Podrobněji jsem se v této analýze věnovala tématu elektrostatika. U každé sbírky jsou jednotlivé úlohy popsány v tabulce. Snažila jsem se porovnat jednotlivé úlohy z jednotlivých sbírek a zachytit, zda se úlohy ve sbírkách opakují nebo zda má každá sbírka úlohy vlastní. U každé úlohy je uveden typ úlohy podle metody řešení (v závorce je uvedena zkratka, která je použita dále v textu):

- 1. číselně zadané úlohy (č)** – úlohy, jejichž vyřešením získáme číselný výsledek
- 2. obecně zadané úlohy (o)** – úlohy, jejichž řešením je obecný vztah
- 3. graficky zadané úlohy (gz)** – úlohy, jejichž zadání obsahuje graf a k vyřešení úlohy je třeba z grafu vyčíst potřebné údaje nebo také některé zákonitosti týkající se zadaného děje
- 4. úlohy vyžadující grafické řešení (gř)** – k řešení těchto úloh je vždy třeba nakreslit graf či použít jinou grafickou metodu řešení
- 5. problémové úlohy (p)** – úlohy ve většině případů řešené logickou úvahou, někdy graficky nebo experimentálně, často se opíráme o slovní vyjádření fyzikálních zákonů, výsledkem je slovní odpověď
- 6. experimentální úlohy (e)** – úlohy, k jejichž vyřešení je třeba provést experiment

Toto rozdělení úloh podle typu je převzato z učebnice pro gymnázia [4], stejné dělení je uvedeno i v [16].

Závěry týkající se obtížnosti a srozumitelnosti úloh uvádím pouze u tématu elektrostatika, jelikož zde jsem jednotlivé úlohy srovnávala podrobněji. Předpokládám, že tyto závěry by se daly rozšířit vždy na celou sbírku, ale ověření je již nad rámec této diplomové práce.

V závěru kapitoly se věnuji také stručně sbírkám elektronickým. Jejich podrobné zkoumání by mohlo být námětem pro další práci.

2.1 Fyzika – Sbírka úloh pro střední školy – Lepil

Jako první bych se ráda věnovala sbírce úloh od Oldřicha Lepila [15]. Tuto sbírku řadím v popisu na první místo, protože s ní mám největší zkušenosti.

Při studiu na gymnáziu jsem pracovala právě s touto sbírkou a nyní podle této sbírky učím na střední průmyslové škole. Zároveň si myslím, i když tento názor nemám podložený vhodným výzkumem, že je tato sbírka jednou z nejpoužívanějších sbírek na středních školách, obzvláště na gymnáziích.

V současné době je možné zakoupit sbírku i s přiloženým CD, které obsahuje úlohy v elektronické podobě. Protože mezi elektronickou a tištěnou verzí sbírky jsou určité rozdíly, budu se věnovat každé části zvlášť.

Tištěná verze sbírky

Ačkoli to není přímo ve sbírce napsané, navazuje tato sbírka na osmidílnou sadu učebnic Fyzika pro gymnázia [4]. Tomu také odpovídá její dělení na kapitoly a podkapitoly. Celá sbírka je rozdělena do devíti kapitol. První kapitola popisuje samotné řešení fyzikálních úloh a dalších osm kapitol odpovídá jednotlivým tématům fyziky, které se na střední škole probírají. Každé téma je rozděleno na kapitoly a rozsáhlejší kapitoly jsou dále děleny na podkapitoly.

Kapitoly (témata):

1. Úvod k řešení fyzikálních úloh
2. Mechanika
3. Molekulová fyzika a termika
4. Mechanické kmitání a vlnění
5. Elektřina a magnetismus
6. Optika
7. Speciální teorie relativity
8. Fyzika atomu
9. Astrofyzika

Kapitola **Úvod k řešení fyzikálních úloh** je rozdělena na tři části. V první části **K čemu slouží sbírka fyzikálních úloh** je popsáno jak a proč se sbírkou pracovat. Je zde vysvětleno, že ve fyzice nejde pouze o „naučení vzorečků“, ale je třeba se naučit je používat a správně porozumět probírané látce. Pokud si student tuto část přečte, měla by ho motivovat k řešení úloh.

V další části nazvané **Které typy fyzikálních úloh sbírka obsahuje** jsou fyzikální úlohy rozděleny na šest typů podle metody řešení (viz úvod této

kapitoly diplomové práce). Je zde vysvětleno, jak se od sebe jednotlivé typy úloh liší a u každého typu je uveden příklad úlohy.

V poslední části **Jak budeme řešit fyzikální úlohy** je podrobně uveden postup řešení fyzikálních úloh a zároveň je zde uvedeno, že řešené úlohy v této sbírce nedodrží celý tento postup, ale jsou uvedeny pouze nejdůležitější kroky. Dle mého názoru bohužel vynechání některých kroků může u studentů vést k dojmu, že tyto kroky nejsou při řešení úlohy podstatné a studenti je budou zcela automaticky vynechávat také. Strategie řešení fyzikálních úloh je rozdělena na osm kroků:

1. porozumění obsahu úlohy
2. zápis úlohy
3. fyzikální rozbor situace
4. obecné řešení úlohy
5. určení jednotky výsledku
6. řešení pro dané hodnoty
7. diskuze řešení
8. formulace odpovědi

Opět je u každého kroku uveden příklad, jak tento krok vypadá přímo při řešení určité úlohy. Tato strategie řešení fyzikálních úloh je podle [16] vhodná i z didaktického hlediska.

V dalších kapitolách ve sbírce nalezneme úlohy rozdělené podle jednotlivých témat. Úlohy nemají nijak rozlišenou obtížnost. Ve většině kapitol nalezneme většinu úloh neřešených, jejichž číselný výsledek je uveden na konci sbírky. Z celkového počtu 1 336 úloh je pouze 122 úloh řešených, což je přibližně 9%.

Přehled rozdělení témat na kapitoly a podkapitoly je uvedeno v příloze v tabulkách A.1 až A.6. U jednotlivých podkapitol je uváděn počet úloh v podkapitole a také kolik úloh z tohoto množství je řešených.

Elektronická verze sbírky

Sbírka úloh z fyziky pro střední školy na CD-ROM je elektronickou podobou 3. vydání sbírky [15]. Elektronická verze sbírky obsahuje stejné úlohy jako verze tištěná, ale nalezneme zde několik rozdílů.

Veškerý text, který naleznete v knize, naleznete i na CD včetně **Úvodu**, do kterého přibyla část týkající se ovládání elektronické verze sbírky. Sbírka umožňuje zobrazit najednou všechny úlohy z jednoho tématu a k nim příslušná řešení, případně si můžeme zobrazit každou úlohu a její řešení zvlášť. Číslování úloh a témat odpovídá číslování v knize, pouze před číslo úlohy bylo přidáno také číslo tématu. Ze sbírky úplně vymizely podkapitoly, čím se sbírka stala dle mého názoru méně přehlednou.

Největší změnou je, že všechny úlohy ve sbírce jsou řešené. Každá číselně zadaná úloha obsahuje zápis a stručné řešení. Jednodušší úlohy obsahují pouze vzorec, do kterého je třeba dosadit, a výslednou číselnou hodnotu. Složitější úlohy obsahují většinou i postup, ale stále jen velice stručný.

Úlohy byly nově rozděleny do tří úrovní. Nejvíce jsou zastoupeny úlohy nejjednodušší úrovně – *základní*, které nejsou označeny. Další jsou úlohy *vyšší* úrovně, které jsou označeny číslem jedna v modrém čtverečku, a úlohy *nejvyšší* úrovně, které jsou označeny číslem dva v červeném čtverečku. Přehled počtu úloh v jednotlivých kapitolách je uveden v tabulce A.7.

Dalším rozdílem oproti tištěné verzi je přidání teorie. Samostatnou částí elektronické verze této sbírky je tzv. **Lexikon**, který obsahuje vysvětlení nejdůležitějších pojmů středoškolské fyziky. Zároveň slouží lexikon jako nápověda k jednotlivým úlohám. U každé úlohy jsou uvedeny pojmy potřebné k úspěšnému vyřešení úlohy. Tyto pojmy fungují při kliknutí jako přímý odkaz do lexikonu.

Další částí elektronické sbírky, která není v knize, jsou fyzikální **Tabulky** obsahující přehled jednotek SI, jejich převody a důležité konstanty.

Elektronická verze také umožňuje vytvoření **prověrky** z vybraných úloh, kterou lze následně vytisknout. Zároveň se zadáním úloh je vytvořen druhý soubor s řešením vybraných úloh.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce

Elektrostatikou se ve sbírce zabývají úlohy 1–57 podkapitoly **2.1 Elektrické pole** a její podkapitoly (viz tabulka A.4). V následující části je popsáno, čemu konkrétně se věnují jednotlivé úlohy a zároveň je uvedeno jakého typu je úloha (viz zkratky na začátku této kapitoly).

Z tabulky 2.1 můžeme vidět, že většina úloh je zadaná číselně (75 %) a že úlohy jsou často stavěné pouze na prostém dosazení do vzorce, který byl odvozen v učebnici, než na aplikaci i dalších znalostí nebo alespoň kombinaci více známých vzorců.

Na konci knihy jsou řešení úloh, kde ke každé číselně zadané úloze je uveden pouze číselný výsledek. Elektronická verze sbírky se trochu liší. Jak již bylo uvedeno, k úlohám je kromě číselného výsledku uveden zápis úlohy a upravený vzorec, do kterého je třeba dosadit. Více komentované jsou pouze úlohy týkající se grafického sčítání vektorů elektrických intenzit, ale i zde je komentář řešení velmi stručný a chybí zde obrázky.

Na začátku podkapitoly jsou uvedeny nejpoužívanější konstanty potřebné při řešení úloh (permitivita vakua, velikost elementárního náboje a konstanta z Coulombova zákona), ostatní konstanty musí studenti vyhledat ve fyzikálních tabulkách

Úloha (typ)	Popis úlohy
Elektrický náboj	
1.–2. (p, e)	Praktické úlohy týkající se zeledrování předmětů (pravítka, tyč) a jejich chování (odpuzování, přitahování).
3.–5. (p)	
6.–7. (č)	Výpočet počtu nabitých částic z velikosti náboje.
Coulombův zákon	
8.–9. (o)	Základní úlohy na využití Coulombova zákona (1.1) a uvědomění si, jak závisí velikost el. síly na vzdálenosti nábojů.
10.–12. (č)	Vyjadřování jednotlivých veličin z Coulombova zákona (1.1).
13. (č, p)	K výpočtu el. síly je třeba zjistit, jak velký náboj má proton.
14. (č)	Rozdíl ve velikosti el. síly působící ve vakuu a v petroleji.
15. (č)	Přemístění náboje mezi nabitými vodivými tělesy, jestliže se navzájem dotknou.
Intenzita elektrického pole	
16.–17. (č)	Využití vztahu pro výpočet intenzity (1.2) a vyjádření jednotlivých veličin.
18. (č)	Intenzita elektrického pole bodového náboje (1.3).
19. (gr)	Sestrojení grafu závislosti el. intenzity na vzdálenosti.
20.–21. (č)	Procvičení operací s vektory – určení celkové intenzity pomocí grafického sčítání vektorů.
22. (č, p)	
23.–24. (č)	
Práce v elektrickém poli, elektrický potenciál a napětí	
25.–26. (č)	Výpočet práce při přenášení elektrického náboje (1.4).

Úloha (typ)	Popis úlohy
27.–31. (č)	Úlohy na kombinaci vztahů (1.5) a (1.9). K výpočtu je třeba si uvědomit, že napětí je rozdíl potenciálů.
32.–33. (č)	Úlohy na souvislost napětí mezi rovnoběžnými deskami, intenzitou a vykonanou prací (1.5), (1.6). Úloha 32 je řešená, úloha 33 je její obdobou, pouze se ze vzorce vyjadřuje jiná neznámá.
34. (č)	Úloha na využití vztahů pro výpočet intenzity(1.6) a (1.2).
35.–37. (č)	Úlohy se od sebe liší pouze vyjádřením různých neznámých ze vzorce pro intenzitu(1.6).
38. (č)	Úloha na využití souvislosti intenzity el. pole s plošnou hustotou náboje (1.12).
39.–40 (č)	Výpočet intenzity a potenciálu na povrchu a uvnitř nabitě kovové koule.
Kapacita vodiče a kondenzátor	
41.–42. (p)	Otázky týkající se změny kapacity, jejichž odpovědi můžeme ve školním prostředí ověřit experimentem.
43.–44. (č)	Úlohy na výpočet kapacity, případně potenciálu ze vztahu (1.13)
45. (č)	Obdoba úlohy 44 jen je třeba si uvědomit, že pokud je deska kondenzátoru uzemněná, pak je vlastně potenciál neuzemněné desky stejný jako rozdíl potenciálů na deskách, tj. napětí mezi deskami.
46. (č)	Potřebným poznatkem k vyřešení úlohy je, že pokud spojíme dvě vodivá tělesa, přemístí se náboje tak, aby měla obě tělesa stejný potenciál.
47. (č)	Výpočet kapacity kulového vodiče.
48.–49. (č)	Úlohy na souvislost kapacity deskového kondenzátoru s jeho rozměry (1.14).
50. (o)	
51. (č)	Počítání napětí na deskovém kondenzátoru, jestliže známe jeho rozměry a náboj (1.14).
52. (č)	Výpočet kapacity a napětí na kondenzátoru po vložení dielektrika, jestliže zůstává náboj na deskách kondenzátoru stejný (1.14), (1.15).
53. (č)	Výpočet energie kondenzátoru (1.18).
54. (č)	Spojování kondenzátorů a výpočet celkové kapacity zapojení (1.16),(1.17).
55. (p, o)	
56.–57. (č)	

Tabulka 2.1: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve sbírce O. Lepila [15], jedná se o úlohy z části 2.1 Elektrické pole rozdělené do podkapitol

2.2 Sbírký úloh pro SOŠ a SOU – Miklasová

Sbírký úloh pro střední odborné školy a střední odborná učiliště od Věry Miklasové [17] navazuje na dvoudílnou učebnici Fyzika pro střední školy ([18], [19]) a je vhodná pro školy technického zaměření.

Sbírký je členěna velmi podobným způsobem jako sbírký předchozí. Celá sbírký je rozdělena na sedm kapitol (témat), která odpovídají jednotlivým odvětvím fyziky, a ta jsou dále členěna na kapitoly a podkapitoly. Výjimkou jsou tři podkapitoly, které obsahují ještě podrobnější členění.

Ve sbírce nalezneme úlohy neřešené, ke kterým je uveden pouze výsledek na konci knihy. Řešené úlohy jsou ve sbírce zastoupeny v menším množství, z celkového počtu 1 795 úloh je pouze 82 úloh řešených, což není ani 5 %. Dále jsou úlohy rozděleny podle obtížnosti na základní (jednoduché) a obtížnější, které jsou označeny hvězdičkou a tvoří více než třetinu sbírky (607 úloh, tj. 34 %).

Dělení jednotlivých témat na kapitoly a podkapitoly naleznete v tabulkách A.8 až A.13. Sbírký neobsahuje úlohy ze speciální teorie relativity a astrofyziky.

Narozdíl od předchozí sbírky není v této sbírce uvedena strategie řešení fyzikálních úloh ani dělení úloh podle způsobu řešení. Je zde pouze jednostránková předmluva, ve které je popsáno, jak je sbírký členěna, jak jsou řazeny úlohy a jakým způsobem jsou označeny obtížnější úlohy.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce V. Miklasové [17]

Elektrostatikou se ve sbírce zabývají úlohy 1–86 v kapitole **5.1 Elektrické pole** a její podkapitoly (viz tabulka A.11). Stejně jako u předchozí sbírky je v následující tabulce popsáno, čemu konkrétně se každá úloha věnuje a zároveň jakého typu je. Oproti předchozí sbírce jsou úlohy dle mého názoru různorodější. Používané vztahy jsou sice stejné, ale zadání více úloh je zaměřeno na využití poznatků v praxi. Například při počítání kapacity kondenzátoru je zmiňováno více druhů kondenzátorů. Ačkoli student používá pořád stejný vztah, musí se alespoň zamyslet, jak daný kondenzátor vypadá. Je zde také více problémových úloh (8 úloh). Úlohy označené písmenem **L** nalezneme ve velmi podobném znění i ve sbírce Oldřicha Lepila [15]

Úloha (typ)	Popis úlohy
Elektrický náboj, silové působení mezi náboji	
1. (p)	Funkce elektroskopu.
2.–4. (č)	Výpočet počtu nabitých částic z velikosti náboje.
5.–10. (p)	Praktické úlohy týkající se zeledrování předmětů a předcházení tomuto jevu (hřeben, benzín a kovové nádoby atd.)
11. (p, e)	Propojování dvou elektroskopů vodičem a nevodičem.
12. (p)	Přitažlivé síly mezi nabitými kapičkami při stříkání barvy.
13.–15. (č)	Úlohy na použití Coulombova zákona (1.1) a vyjádření jednotlivých neznámých.
16. (č)	Aplikace Coulombova zákona (1.1) na elektron v atomu vodíku. Student musí dohledat velikost el. náboje. (Podobná úloha: L13)
17. (gr)	Sestrojení grafu závislosti velikosti el. síly na vzdálenosti nábojů.
18. (č)	Rozdíl ve velikosti elektrické síly působící ve vakuu a v olivovém oleji. (Podobná úloha: L14)
19. (č)	Porovnání gravitační a elektrické síly působící mezi dvěma protony. Je třeba vyhledat hmotnost a náboj protonu.
20. (č)	Porovnání gravitační a elektrické síly působící mezi protonem a elektronem v atomu vodíku. Nutnost dohledání hmotností a nábojů.
21. (č)	Určení velikosti nábojů kuliček tak, aby výslednice elektrické a gravitační síly byla nulová.
Intenzita elektrického pole	
22.–26. (č)	Úlohy na aplikaci vztahu pro výpočet intenzity (1.2) a vyjádření jednotlivých veličin. V úlohách 23 a 24 je navíc třeba vyhledat náboj elektronu.
27. (č)	Pohyb elektronu v homogenním elektrickém poli. Výpočet zrychlení, dráhy a kinetické energie.
28. (č)	Zrychlení elektronu na dané dráze v homogenním elektrickém poli.
29. (č)	Určení znamének bodových nábojů ze zakreslených siločar.
30.–31. (č)	Výpočet intenzity elektrického pole bodového náboje (1.3).
32.–33. (č)	Úlohy na využití vztahů pro výpočet intenzity (1.2) a (1.3).
Potenciál, napětí	
34.–35. (č)	Úlohy na výpočet napětí ze vztahu (1.5) a (1.9). K výpočtu je třeba si uvědomit, že napětí je vlastně rozdíl potenciálů.
36. (č)	Práce při přenesení elektronu. Je třeba dohledat náboj elektronu.

Úloha (typ)	Popis úlohy
37.–38. (č)	Úlohy na kombinaci vztahů pro výpočet napětí (1.5) a (1.9). K výpočtu je třeba si uvědomit, že napětí je vlastně rozdíl potenciálů.
39.–40. (č)	Úlohy na výpočet intenzity z napětí a vzdálenosti (1.6).
41.–42. (č)	Intenzita elektrického pole v dielektriku (1.6).
43.–46. (č)	Úlohy týkající napětí mezi rovnoběžnými deskami a intenzity homogenního pole mezi nimi (1.6).
47. a 49. (č)	Úloha na souvislost napětí mezi rovnoběžnými deskami, intenzitou a vykonanou prací (1.5), (1.6).
48. (č)	Úloha podobná předchozí, pouze je třeba dohledat náboj elektronu.
50. (č)	Úloha na souvislost vztahů pro výpočet intenzity (1.6) a (1.2).
51. (č)	Urychlování elektronu v Röntgenově trubici. Výpočet napětí, zrychlení a doby pohybu elektronu.
52. (č)	Pohyb protonu v homogenním poli. Využití vztahů pro výpočet intenzity (1.6) a (1.2).
Vodič a izolant v elektrickém poli	
53. (p)	Vysvětlení působení elektrického pole na vodič a izolant.
54. (p)	Proč je bezpečné zůstat při bouřce uvnitř auta.
55. (č)	Rozdíl mezi homogenním elektrickým polem mezi rovnoběžnými deskami ve vakuu a v terpentýnu.
Kapacita, kondenzátory	
56.–57. (č)	Převody jednotek kapacity.
58. (č)	Porovnání dvou kondenzátorů (1.14).
59. (č)	Úloha na vyjádření jednotlivých veličin ze vztahu pro výpočet kapacity (1.14).
60. (č)	Velikost náboje na osamoceném vodiči (1.14).
61.–63. (č)	Vyjádření různých veličin ze vztahu pro výpočet kapacity kondenzátoru (1.14).
64. (č)	Změna kapacity kondenzátoru při ponoření do petroleje. (Podobná úloha L52)
65. (č)	Využití vztahu pro výpočet kapacity kondenzátoru (1.14) a navíc výpočet počtu elementárních nábojů na deskách.
66. (č)	Porovnání dvou kondenzátorů.
67.–70. (č)	Výpočet kapacity z rozměrů kondenzátoru (1.14).
71.–72. (č)	Kondenzátor s dielektrikem.
73.–74. (č)	Kapacita různých kondenzátorů (otočný, svitkový).

Úloha (typ)	Popis úlohy
75.–77. (č)	Deskový kondenzátor s více deskami.
78.–80. (č)	Různé kondenzátory (svitkový, ze skla a staniolu, otočný).
81.–83. (č)	Složitější úlohy s kondenzátory, nutno kombinovat více vztahů.
84. (č)	Výpočet napětí mezi mrakem a zemí.
85. (p)	Izolant v otočném kondenzátoru
86. (p)	Rozdíl mezi leidenskou lahví a svitkovým kondenzátorem.

Tabulka 2.2: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve sbírce V. Miklasové [17], jedná se o úlohy z části 5.1 Elektrické pole, v tabulce je uvedeno i jejich dělení na jednotlivé podkapitoly

2.3 Sbírký úloh z fyziky pro žáky středních škol – Kružík

Sbírký Miroslava Kružíka [12] se v současné době již hůře dostupná. Mezi sbírky porovnávané sbírky jsem ji zařadila proto, že může být dobrým zdrojem dalších úloh pro učitele, i když je pro studenty již nedostupná.

Celá sbírka obsahuje sedm kapitol (témat), které opět odpovídají jednotlivým oblastem fyziky a jsou dále členěny na kapitoly a podkapitoly. V úvodu sbírky je popsáno, jak se sbírkou pracovat a jakým způsobem řešit jednotlivé úlohy. Je zde vysvětlena strategie řešení úloh, která je stejná jako v první popisované sbírce [15]. Strategie není uvedena ve formě jednotlivých bodů, ale je popsána v textu.

Podle obtížnosti jsou úlohy v této sbírce rozděleny do tří skupin. Základní úlohy, které tvoří nejpočetnější skupinu úloh (1 549 úloh z celkového počtu 1 605, což je přibližně 83 %), úlohy méně snadné, které jsou označeny tečkou • (156 úloh, tj. 10 %) a úlohy obtížnější označené dvěma tečkami •• (57 úloh, tj. 4 %).

Oproti již popsaným sbírkám nalezneme na začátku každé kapitoly stručné shrnutí látky spolu s přehledem vzorců, které se daného tématu týkají. Za tímto přehledem jsou uvedeny řešené úlohy. Jejich počet se u jednotlivých kapitol liší, ale ve většině případů se jedná o jednu nebo dvě úlohy. Celkem je ve sbírce pouze 56 řešených úloh, což odpovídá přibližně 3,5 % z celkového počtu. Dále už ve sbírce nalezneme pouze úlohy neřešené, které tvoří většinu všech úloh

(96,5 %). K těmto úlohám je na konci knížky uveden číselný výsledek a u úloh obtížnějších úloh (úloh označených ●●) je naznačen postup řešení.

Přehled rozdělení na kapitoly a podkapitoly naleznete v tabulkách A.14 až A.19. U každé podkapitoly je uveden celkový počet úloh, počet řešených úloh, počet úloh označených ● a ●●.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce M. Kružíka [12]

Elektrostatice se v této sbírce věnuje 79 úloh neřešených (úlohy 967–1 045) a dvě úlohy řešené (úloha 965 a 966) z kapitoly Elektrický náboj a elektrické pole (viz tabulka A.17). V následující tabulce jsou opět popsány jednotlivé úlohy. Většina úloh je zadána číselně (60 %), ale nalezneme zde také problémové úlohy (23 úloh) a úlohy experimentální (7 úloh). Úlohy označené písmenem **L** nalezneme také ve sbírce O. Lepila [15].

Úloha (typ)	Popis úlohy
965	Výpočet el. síly působícími mezi nabitými kuličkami v petroleji (1.1).
966	Výpočet kapacity kondenzátoru z části vyplněného dielektrikem.
967–968 (p, e)	Praktické úlohy týkající se zelectrování předmětů a jejich chování (např. pravítka) a tomu, jak zabránit nechtěnému zelectrování předmětů (povrch letadla, v tiskárně atd.).
969–972 (p)	
973 (p, e)	
974 (p)	
975–976 (č)	Výpočet počtu elementárních částic z velikosti náboje a naopak (podobná úloha L7).
977 (p)	Vzájemné působení nabitě a nenabitě koule.
978 (p)	Úloha se zabývá problémem, zde se mohou přitahovat dvě kladně nabitě koule. (Podobná úloha L11)
979 (č)	Výpočet síly působící mezi protony v jádře hélia (1.1). (Podobná úloha L13)
980 (č)	Úloha na výpočet vzdálenosti z Coulombova zákona (1.1).
981 (e)	Pokus s elektroskopem.
982 (p, o)	Změna velikost elektrické síly, jestliže změníme velikost nábojů, vzdálenost, nebo prostředí. (1.1)
983 (o)	Rovnovážná poloha tří nábojů.
984 (č)	Síla působící mezi náboji v petroleji. (1.1) (podobná úloha L14 část a).
985 (o, e)	Nakreslení siločar el. pole, ověření pokusem.

Úloha (typ)	Popis úlohy
986 (p)	Pohyb náboje v elektrickém poli.
987 (č)	Výpočet intenzity el. pole bodového náboje (1.3) (podobná úloha L18).
988. (č)	Úloha na využití vztahů pro výpočet intenzity (1.2) a (1.3).
989 (č)	Výpočet síly ze zadané intenzity (1.2) (podobná úloha L17).
990 (gr)	Vytvoření grafu závislosti intenzity elektrického pole na vzdálenosti (podobná úloha L19).
991 (č)	Urychlování elektronu v homogenním elektrickém poli. Výpočet rychlosti elektronu a intenzity el. pole.
992 (č)	Závislost intenzity el. pole bodového náboje na prostředí.
993–994 (o)	Práce vykonaná při posouvání náboje po uzavřené křivce.
995 (č)	Práce vykonaná při přenosu náboje mezi rovnoběžnými deskami. Trajektorie pohybu nesvívá se siločarami pravý úhel.
996–998 (č)	Úlohy na kombinaci vztahů pro výpočet napětí (1.5) a (1.9). K výpočtu je třeba si uvědomit, že napětí je rozdíl potenciálů. (Úloha 996 je podobná L27, úloha 997 je podobná L28.)
999. (č)	Výpočet hmotnosti nabité kapky vznášející se v homogenním poli.
1 000 (p, č)	Výpočet rozdílu potenciálů mezi chodidly a hlavou člověka.
1 001 (č)	Intenzita elektrického pole mezi rovnoběžnými nabitými deskami (1.6) (úloha podobná L33).
1 002–1 003 (č)	Výpočet vzdálenosti desek u deskového a otočného kondenzátor (1.6) (úloha 1002 je podobná L35).
1 004 (č)	Výpočet potenciálu na povrchu nabité koule (úloha podobná L39 a L40).
1 005 (p)	Jak získat pomocí jediného náboje mnohonásobně větší náboj.
1 006 (č)	Napětí mezi bodem na povrchu a uvnitř nabité duté koule.
1 007 (č)	Rozdělení náboje na dvě propojené vodivé koule.
1 008–1 009 (č)	Elektrické pole nabité kovové koule.
1 010 (č)	Rozdíl mezi potenciálem nabité bubliny a kapky.
1 011 (o)	Velikost vykonané práce při přemístění náboje.
1 012 (p)	Přenos náboje z jedné koule na druhou.
1 013 (č, p)	Přenos náboje mezi vodiči.
1 014 (p)	Znaménko indukovaného náboje.
1 015 (p)	Povrch vodiče a ekvipotenciální plocha.
1 016 (e)	Ionizace vzduchu.

Úloha (typ)	Popis úlohy
1 017–1 018 (p)	Nabíjení leidské láhve.
1 019 (č)	Výpočet kapacity vodiče (1.13) (úloha podobná L43)
1 020 (č, p)	Určení přibližné kapacity lidského těla.
1 021 (č)	Přemístění náboje mezi spojenými vodivými tělesy.
1 022 (č)	Kapacita deskového kondenzátoru z jeho rozměrů (1.14).
1 023–1 024 (č)	Změna kapacity kondenzátoru při změně vzdálenosti desek.
1 025 (č)	Změna kapacity při ponoření kondenzátoru do petroleje.
1 026 (č)	Výpočet kapacity leidské láhve.
1 027 (č)	Vzduchový kondenzátor s více deskami a proměnnou kapacitou.
1 028 (o)	Síla působící na desky kondenzátoru.
1 029 (č)	Změna síly působící na desky kondenzátoru po jeho ponoření do petroleje.
1 030 (o)	Změna síly působící na desky kondenzátoru při vložení dielektrika.
1 031 (č)	Výpočet energie kondenzátoru (1.18).
1 032 (č)	Intenzita elektrického pole v dielektriku.
1 033 (č)	Výkon výboje kondenzátoru použitého při sváření drátku.
1 034 (č)	Výpočet napětí mezi mrakem a zemí, náboje mraku a intenzity elektrického pole.
1 035 (p)	Zacházení s obvody s kondenzátory.
1 036 (č)	Kapacita sériově a paralelně zapojených kondenzátorů (úloha podobná L57).
1 037 (č)	Určení kapacity jednotlivých kondenzátorů na schématu.
1 038 (č)	Určení náboje na jednotlivých kondenzátorech na schématu.
1 039 (č)	Paralelně a sériově spojené leidské láhve.
1 040 (o)	Energie kondenzátorů při paralelním zapojení.
1 041 (č)	Kapacita kondenzátoru částečně vyplněného dielektrikem.
1 042 (č)	Změna vnitřní energie kondenzátoru a vykonaná práce při vložení dielektrika.
1 043 (č)	Ustálení dielektrika na pružině mezi deskami kondenzátoru.
1 044 (e, p)	Princip činnosti dynamometru.
1 045 (o)	Vtahování dielektrika do kondenzátoru.

Tabulka 2.3: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve sbírce M. Kružika [12], jedná se o úlohy z části Elektrický náboj a elektrické pole

2.4 Sbírka úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ – Barták a kol.

Tato sbírka úloh [20] je určena pro střední odborné školy. V současné době už se tato sbírka nevydává a byla nahrazena sbírkou Věry Miklasové [17].

Celá sbírka úloh je rozdělena do devíti kapitol. První kapitola se věnuje samotnému řešení fyzikálních úloh obdobně jako ve sbírce O. Lepila [15]. Další osm kapitol (témat) odpovídá jednotlivým oblastem fyziky. Každé toto téma je opět děleno na menší kapitoly a někdy i podkapitoly. Jak pracovat se samotnou sbírkou nalezneme popsáno v předmluvě.

Úvodní kapitola nazvaná **Fyzikální úlohy** je v podstatě úplně stejná jako úvodní kapitola ve sbírce O. Lepila (viz kapitola 2.1), pouze některé věty jsou mírně pozměněny. Zůstává tedy i stejné rozdělení úloh podle typu a stejná strategie řešení.

Následují jednotlivé úlohy rozdělené do kapitol a podkapitol. Úlohy jsou rozděleny podle obtížnosti. Největší skupinu tvoří úlohy, které by měly zvládnout všichni žáci. Z celkového počtu 1 170 úloh je to 890 úloh (tj. 76 %). Další skupinou jsou úlohy, které vyžadují složitější fyzikální úvahu. Tyto úlohy jsou označeny tečkou • a tvoří 15 % (tj. 181 úloh) celé sbírky. Poslední skupinou jsou úlohy označené písmenem **S**, které jsou nejtěžší a jsou určeny pro řešení například v rámci seminářů. Těchto úloh je ve sbírce nejméně (necelých 9 %, tj. 99 úloh)

Většina úloh je neřešená. Číselný výsledek těchto úloh nalezneme na konci sbírky. Řešených úloh je v celé sbírce 111, což je přibližně 9,5 %.

Přehled rozdělení témat do jednotlivých kapitol a podkapitol naleznete v tabulkách A.20 až A.26, kde je uveden celkový počet úloh, počet řešených úloh, počet úloh označených • a počet úloh označených **S**.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce [20]

Elektrostatikou se ve sbírce zabývají úlohy 1–42 v kapitole **5.1 Elektrické pole** (viz tabulka A.23). Většinu úloh nalezneme ve velice podobném znění v Lepilově sbírce [15] (31 úloh ze 42). Zadání úloh jsou buď úplně stejná, občas mírně přeformulována, a nebo jsou pozměněna zadaná čísla (někdy pouze řádově).

V následující tabulce naleznete přehled jednotlivých úloh. Tentokrát je v tabulce uveden převážně pouze typ úlohy a číslo stejné úlohy v jiné sbírce. Úlohy

označené písmenem **L** nalezneme ve sbírce Oldřicha Lepila [15], úlohy označené **K** ve sbírce Miroslava Kružíka [12] a úlohy označené **M** ve sbírce Věry Miklasové [17]. Většina úloh je zadána číselně (36 úloh). V celé kapitole nalezneme pouze jednu úlohu řešenou graficky, čtyři úlohy problémové a dvě úlohy zadané obecně.

Úloha (typ)	Popis úlohy
1. (p)	L2
2. (p)	L1
3. (p)	L4
4. (p)	K974, trochu jiná formulace. Zde se ptají Co se děje, Kružík se ptá: Proč se to děje
5. (č)	M4
6. (č)	K975
7. (č)	L10, změněná čísla v zadání.
8. (č)	K980
9. (č)	L12
10. (č)	L13
11. (č)	L14, trochu jinak formulováno
12. (č)	L15 Změněná čísla v zadání.
13. (č)	Kuličky zavěšené na niti. Použití Coulombova zákona.
14. (č)	M32, podobná úloha.
15. (č)	L16, změněná čísla v zadání.
16. (č)	L17, trochu jinak formulováno
17. (gr)	K990
18. (č)	L23
19. (č)	L20, čísla v zadání se pouze o řád liší.
20. (č)	L22 část a)
21. (č)	L27, změněná čísla v zadání.
22. (č)	L28
23. (č)	L29, změněná čísla v zadání.
24. (č)	L31
25. (č)	L32
26. (č)	L34, změněná čísla v zadání.
27. (č)	L36
28. (č)	K1011
29. (č)	L44, čísla v zadání se pouze o řád liší.
30. (č)	L43, změněná čísla v zadání.

Úloha (typ)	Popis úlohy
31. (č)	L45, změněná čísla v zadání.
32. (o)	L50 část a)
33. (č)	L46
34. (č)	L51, navíc se počítá kapacita kondenzátoru.
35. (č)	K1024
36. (č)	L52
37. (o)	Změna napětí na kondenzátoru, jestliže změníme vzdálenost desek a přidáme dielektrikum.
38. (č)	L54
39. (č)	L55
40. (č)	L56
41. (č)	Obdoba úlohy 40 pro paralelní zapojení
42. (č)	L57

Tabulka 2.4: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve sbírce F. Bartáka [20], jedná se o úlohy z části 5.1 Elektrické pole

2.5 Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy – Bartuška

Čtyřdílná sbírka Karla Bartušky [21], [22], [9], [23] je jediná sbírka, která obsahuje pouze řešené úlohy. V jednotlivých knihách naleznete tato témata:

- Sbírka řešených úloh z fyziky I
 1. Mechanika
- Sbírka řešených úloh z fyziky II
 2. Molekulová fyzika a termika
 3. Mechanické kmitání a vlnění
- Sbírka řešených úloh z fyziky III
 4. Elektřina a magnetismus
- Sbírka řešených úloh z fyziky IV

5. Optika
6. Speciální teorie relativity
7. Fyzika mikrosvětá
8. Astrofyzika

Na začátku každé knihy je krátká předmluva, ve které je popsáno řazení úloh ve sbírce a úmluva ohledně zadávání hodnot. První díl sbírky navíc obsahuje úvodní kapitolu nazvanou **Postup při řešení fyzikálních úloh**, která se věnuje strategii řešení úloh. Postup je rozdělen na tyto kroky:

1. čtení textu,
2. zápis zadání úlohy,
3. rozbor úlohy,
4. obecné řešení úlohy,
5. číselný výpočet,
6. diskuze řešení,
7. kontrola správnosti řešení,
8. odpověď.

Srovnáním se strategií uvedenou v Lepilově sbírce [15] (a tedy i v [16]) nalezneme několik rozdílů. Postup při rozboru úlohy je v této sbírce popsán podrobněji a navíc jsou zde uvedeny příklady otázek, na které se při rozboru snažíme odpovědět. Určení jednotky výsledku je v Lepilově sbírce samostatným krokem, zde se stalo součástí číselného výpočtu. Ve sbírce je také popsána důležitost zaokrouhlování na určitý počet platných číslic. Navíc je zde sedmý krok – kontrola správnosti řešení.

Na začátku každé kapitoly této sbírky je uvedeno krátké shrnutí látky s přehledem vzorců, které se daného tématu týkají. Sbírká obsahuje 753 řešených úloh.

Rozdělení témat na jednotlivé kapitoly a podkapitoly spolu s počtem úloh naleznete v tabulkách A.27 až A.33.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce K. Bartušky [9]

Tématem elektrostatika se zabývají úlohy 1–61 ve třetím díle knihy v kapitole **4.1 Elektrický náboj a elektrické pole** (viz tabulka A.30). Jak už bylo řečeno, všechny úlohy jsou řešené. Každá úloha tedy obsahuje zápis veličin, okomentovaný postup řešení a odpověď. U některých úloh na konci nalezneme poznámku, která například upozorňuje na jiný způsob řešení nebo na důležité kroky při řešení, případně propojuje úlohu s praxí. Úlohy jsou zadané číselně nebo obecně, žádná úloha není graficky zadána, ani řešena.

Protože jsou úlohy řešené, jedná se spíše o obtížnější úlohy. Pouze na začátku podkapitol bývají úlohy, kde stačí pouze dosadit hodnoty do vzorce.

Úloha (typ)	Popis úlohy
Elektrický náboj a Coulombův zákon	
1. (č)	Výpočet počtu nabitých částí z velikosti náboje a hmotnosti částic (podobná úloha K975).
2 (č)	Výpočet elektrické síly působící na náboje ve vakuu a v petroleji 1.1 (podobná úloha K979 a K982 část c).
3. (o)	Jak se mění síla, když měním vzdálenost nábojů (obdoba K982).
4. (č)	Úloha velice podobná úloze L15
5. (č)	Jak musím změnit vzdálenost, aby na sebe náboje působili v oleji stejnou elektrickou silou jako ve vzduchu.
6. (o)	Úloha na výpočet poměrů sil a využití Coulombova zákona (1.1).
7.–8. (č)	Úlohy na využití Coulombova zákona (1.1) a sčítání vektorů. Úloha 8 je podobná úloze K983.
9. (o)	
10.–11. (č)	
Intenzita elektrického pole	
12.–13. (č)	Úlohy na využití vztahu (1.2) a (1.3). (Úloha 12 je podobná K989 a úloha 13 úloze K988)
14. (č)	Intenzita v okolí nabitě koule.
15.–19. (č)	Úlohy využívající sčítání vektorů a vztahů pro výpočet intenzity.
20.–21. (č)	Pohyb částice v homogenním poli.
22.–23. (č)	Plošná hustota náboje na kouli.
Práce v elektrickém poli. Elektrické napětí a potenciál.	
24. (č)	Úloha na výpočet práce ze vztahu (1.4).
25. (p)	Práce po uzavřené křivce (podobná úloha K993).
26.–27. (č)	Výpočet práce ze vztahu (1.5). (Úloha 26 je podobná K997)
28. (č)	Výpočet práce, když elektrická síla svírá se siločarami nenulový úhel.

Úloha (typ)	Popis úlohy
29.–30. (č)	Úlohy na procvičení vztahu (1.8). Úloha 30 je podobná K996.
31. (č)	Změna intenzity a potenciálu při zvětšení vzdálenosti od náboje.
32. (č)	Práce při přemístění náboje.
33. (č)	Napětí mezi dvěma body na různých ekvipotenciálních plochách.
34. (č)	Výpočet potenciálu v okolí kulového vodiče.
35. (č)	Potenciální energie bodového náboje.
36. (č)	Pohyb nabitě kuličky v okolí náboje.
37. (č)	Vyjádření síly z potenciálu.
38. (č)	Vyjádření plošné hustoty z potenciálu (podobná úloha K1009).
39. (č)	Intenzita elektrického pole ve středu čtverce.
40. (č)	Práce potřebná na přiblížení dvou nabitých kuliček.
41. (č)	Intenzita elektrického pole mezi deskami (obdoba K1002).
42. (č)	Millikanův pokus (podobná úloha K999).
Kapacita vodiče. Kondenzátory	
43.–44. (č)	Úlohy na procvičení vztahu pro výpočet kapacity (1.13)
45. (č)	Výpočet rozměrů deskového kondenzátoru z kapacity (podobná úloha K1022).
46. (č)	Jak se změní veličiny, když ponoříme kondenzátor do oleje (podobná úloha K1025).
47. (č)	Změna kapacity při změně vzdálenosti desek kondenzátoru (podobná úloha K1023).
48. (č)	Intenzita elektrického pole kondenzátoru.
49.–50. (č)	Síla působící na desky kondenzátoru.
51.–53. (č)	Určení celkové kapacity zapojení. (Úloha 51. je podobná úloze K1038)
54.–55. (č)	Určení náboje a napětí na různě zapojených kondenzátorech.
56. (č)	Kapacita kondenzátoru z části vyplněného dielektrikem.
57. (č)	Změna kapacity při přidání dielektrika.
58. (č)	Napětí na sériově zapojených kondenzátorech.
Energie kondenzátoru	
59. (č)	Energie uvolněná při vybití kondenzátoru.
60. (č)	Změna energie kondenzátoru při změně náboje.
61. (č)	Výpočet práce potřebné na oddálení desek kondenzátoru odpojeného od zdroje.

Tabulka 2.5: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky z části 4.1 El. náboj a el. pole ve sbírce K. Bartušky [9]

2.6 Sbírký úloh z fyziky pro gymnázia – kolektiv autorů

Sbírký úloh z fyziky pro gymnázia je dvoudílná sbírka [25], [26], která v současné době již není k dostání. Na první pohled se sbírka liší od ostatních svým rozdělením. Sbírký není dělená podle témat, ale je rozdělena na čtyři kapitoly podle ročníků, ve kterých se dané učivo probíralo. Další rozdělení na kapitoly je už podobné z ostatními sbírkami. Dělení úloh podle ročníku je v současné době již nepraktické, protože každá škola si může pořadí probíraných témat upravit.

Úvodní kapitola nazvaná **Poznámky k řešení fyzikálních úloh** je rozdělena na několik menších částí. **Proč řešíme fyzikální úlohy** je část, kde je vysvětleno, proč je důležité řešit fyzikální úlohy, obdobně jako v některých ostatních sbírkách. V části **Jak a proč hledáme fyzikální problémy** je na jedné úloze popsáno, jak i u jednoduché úlohy nás může napadat velké množství otázek k přemýšlení. V části **Jak řešíme problémy** je uvedena podobně jako v Lepilově sbírce [15] (a tedy i v [16]) strategie řešení a jednotlivé kroky jsou popsány na řešení jedné úlohy. Strategie řešení úloh je rozdělena na následující kroky:

1. zápis textu úlohy,
2. čtení zápisu, objevení problému a jeho nová slovní formulace,
3. vyslovení domněnky (hypotézy) řešení,
4. analýza fyzikální situace zadané v úloze,
5. shromáždění dalších potřebných údajů a doplnění daných hodnot,
6. obecné řešení,
7. řešení pro dané hodnoty,
8. závěr (porovnání výsledku s hypotézou a s výsledky analýzy) a slovní formulace závěru,
9. diskuze o výsledku a o jeho experimentálním ověření,
10. hledání dalších fyzikálních, popř. jiných souvislostí mezi výsledkem úlohy a známými fyzikálními jevy.

Strategie řešení se v této sbírce mírně liší od ostatních sbírek. Jednotlivé kroky jsou zde podrobněji popsány. Pracuje se zde s pojmy *analýza* a *hypotéza*, které v ostatních sbírkách používány nejsou. Dle mého názoru je strategie popsaná například v Lepilově sbírce pro studenty lépe zapamatovatelná, protože je stručnější, přitom ale obsahuje všechny důležité kroky. Tato strategie řešení je uvedena i v druhém díle sbírky, ale je popsána na jiné úloze. Ostatní části úvodu jsou pouze v prvním díle sbírky.

Za touto úvodní kapitolou následují už samotné úlohy rozdělené do kapitol podle ročníku, ve kterém se dříve probíraly, a podkapitol podle tématu, kterého se týkají. Rozdělení kapitol naleznete v tabulkách A.34 až A.37.

V celé sbírce nalezneme celkem 1 365 úloh. Většina úloh je neřešená (150 úloh je řešených, což je přibližně 11 %), k neřešeným úlohám je uveden na konci sbírky číselný výsledek, případně slovní odpověď. Obtížnější úlohy jsou označeny hvězdičkou. Ve sbírce nalezneme 113 obtížnějších úloh, což je přibližně 8 % z celkového počtu úloh.

Na začátku každé podkapitoly je uvedeno shrnutí látky a vzorců, které se v daném tématu probírají.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce [25]

Úlohami z elektrostatiky se zabývá 46 úloh (úlohy 249–294) v podkapitole **8. Elektrické pole** v prvním díle sbírky. Několik úloh týkajících se dielektrika nalezneme také v kapitole **8. Vznik elektrického proudu** v druhém díle sbírky.

Úlohy v této sbírce považují za obtížnější. Zadání většiny úloh jsou dlouhá a vyžadují mnohem pozornější čtení. U úloh je třeba častěji vypočítat více veličin a tedy použít i více vztahů.

Úloha (typ)	Popis úlohy
249 (p)	Vlastnosti el. nábojů
250 (p)	M10
251 (p)	Jak předat celý náboj z vodiče na nevodič.
252 (o)	L8
253 (p)	Uvažte, zda je 1 C „velký“ nebo „malý“ náboj.
254 (p)	Zdůvodnění proč se dělají duté vodiče.
255 (č)	Oběh elektron v atomu vodíku, výpočet rychlosti z poloměru kružnice.
256 (p)	Problémy při spojování jader. Jak se liší při vyšších teplotách.

Úloha (typ)	Popis úlohy
257 (č)	Výpočet el. síly působící mezi protony z Coulombova zákona (1.1).
258 (č)	Určení počtu elektronů z celkové velikosti náboje.
259 (č)	Určení plošné hustoty náboje na Zemi.
260 (č)	Výpočet intenzity elektrického pole.
261 (č)	Výpočet síly působící na proton v el. poli a jeho zrychlení.
262 (č)	Dopočítání velikosti nábojů ze zadaného místa s nulovou intenzitou.
263 (č)	Výpočet intenzity el. pole mezi deskami.
264 (č)	L18, pouze změněná čísla.
265 (p)	Vysvětlení různých trajektorií u Rutherfordova experimentu.
266 (p)	Souvislost mezi pohybem volného elektronu a siločarami.
267 (č)	M12
268 (č)	Výpočet práce při přenášení náboje.
269 (gr)	Zakreslení siločar podle ekvipotenciálních ploch.
270 (č)	Urychlování elektronu. Výpočet práce a kinetické energie.
271 (č)	Velikost práce v závislosti na tvaru trajektorie náboje.
272 (č)	Podobná úloha L30.
273 (č)	Určení potenciálu mezi deskami kondenzátoru ze zakreslených ekvipotenciálních ploch.
274 (č)	Millikanův pokus.
275 (gr, p)	Zakreslení ekvipotenciálních ploch a určení práce při přenosu náboje.
276 (č)	Výpočet práce při přenosu náboje mezi koulí a zemí.
278 (č)	Výpočet kinetické energie z napětí.
279 (č)	Převod jednotek z eV, MeV, GeV na jouly.
280 (č, gz)	Určení zrychlení a síly působící na náboj z obrázku ekvipotenciálních ploch.
281 (č)	Pohyb elektronu mezi deskami. Určení jeho hmotnosti.
282 (č, gz)	Určení potenciálu el. pole z nakreslené dráhy náboje.
283 (p)	Elektronová čočka – proč může být stejná čočka spojkou i rozptylkou.
284 (č)	Výpočet kapacity kondenzátoru.
285 (č)	Výpočet náboje na deskách kondenzátoru.
286 (č)	Jak se mění kapacita se vzdáleností desek kondenzátoru.
287 (č)	Jak se mění napětí se vzdáleností desek kondenzátoru.

Úloha (typ)	Popis úlohy
288 (p)	Jak spojit dva kondenzátory, aby byla kapacita poloviční nebo dvojnásobná.
289 (č)	Výpočet celkové kapacity zapojení kondenzátorů.
290 (č)	Určení napětí a náboje na sériově zapojených kondenzátorech.
291 (č)	Výpočet energie kondenzátoru.
292 (č)	Jaká je intenzita el. pole mezi mrakem a zemí.
293 (p)	Jak lze měnit energii otočného kondenzátoru.
294 (č)	Výpočet celkové energie po spojení nabitého a nenabitého kondenzátoru.

Tabulka 2.6: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve Sbírce úloh pro gymnázia [25], jedná se o úlohy pro 1. ročník z části 8. Elektrické pole

Úloha (typ)	Popis úlohy
532 (č)	Výpočet síly působící mezi dvěma náboji v terpentýnu.
533 (p)	Proč působí jiná síla mezi ionty soli ve vodě a na vzduchu.
534 (č)	Kapacita a náboj na svitkovém kondenzátoru.
535 (o)	Určení permitivity dielektrika ze známé změny kapacity.
536 (p)	Využití různé permitivity látek ve stavebnictví.
537 (č)	Určení kapacity deskového kondenzátoru ponořeného do petroleje.

Tabulka 2.7: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve Sbírce úloh pro gymnázia [25], jedná se o úlohy pro 2. ročník z části 8. Vznik elektrického proudu

2.7 Fyzika – sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky – Macháček

Sbírka Martina Macháčka [24] se od ostatních sbírek, které zde uvádím velice liší. Sbírka vznikla v roce 2001, aby pomohla s přípravou na společnou část maturitní zkoušky z fyziky, která měla být zavedena v roce 2004. (V době psaní této práce společná část maturitní zkoušky ještě zavedena není.)

Na začátku sbírky je celkem dlouhý úvod, který vysvětluje princip společné části maturit, a tedy i důvod, proč jsou úlohy odlišné od jiných sbírek.

Úlohy nejsou zaměřeny na pouhé dosazení do jednoho vzorce, ale nutí řešitele k zamyšlení a hlavně k pochopení tématu. Ve většině úloh je třeba kombinovat více vzorců a dohledávat potřebné konstanty v tabulkách, úlohy jsou tedy náročnější.

Sbírka obsahuje 247 úloh, které jsou podobně jako v ostatních sbírkách rozděleny do osmi kapitol, které odpovídají jednotlivým tématům fyziky. Kapitoly už dále děleny nejsou. Úlohy lze podle jejich formální podoby dělit do dvou skupin: *uzavřené* a *otevřené* (tyto pojmy jsou převzaty přímo z této sbírky úloha). Uzavřené úlohy obsahují nabídku několika možných odpovědí (ve většině případů šesti), ze kterých je vždy právě jedna správná. Otevřené úlohy musí studenti vyřešit samostatně. Ve sbírce je polovina úloh otevřených a polovina uzavřených. Malé množství úloh (pouze osm) je označeno hvězdičkou. Jedná se o složitější úlohy, které se více blíží reálným situacím, obsahují více početních kroků.

Ke každé úloze je v další části knihy uvedena krátká nápověda, která studentovi poradí, například jakou veličinu má vyhledat v tabulkách nebo jaký je první krok řešení. Za nápovědami nalezneme řešení úloh, které je oproti ostatním sbírkám podrobnější. Řešení neobsahují zápis, ale postup je okomentovaný slovně a do vzorců je číselně dosazeno.

Vzhledem k tomu, že měla sbírka připravovat na společnou část maturitní zkoušky, je u každé úlohy uveden kód, který označuje dovednost (cílovou kompetenci), kterou daná úloha ověřuje. Na konci sbírky je pak uveden seznam těchto cílových kompetencí a tematických okruhů.

Rozdělení úloh naleznete v tabulce A.38, kde je u každé kapitoly uveden celkový počet úloh, počet uzavřených úloh a počet úloh obtížnějších.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce M. Macháčka [24]

Elektrostatikou se ve sbírce zabývají úlohy 1–15 v kapitole **Elektřina a magnetismus**. Jak už bylo uvedeno výše, každá úloha má svou nápovědu a na konci knihy je popsán způsob řešení, který je slovně okomentován. V následující tabulce naleznete přehled, čemu se jednotlivé úlohy věnují. Zároveň je uvedeno, zda se jedná o úlohu s možnostmi, tedy úlohu uzavřenou (u).

Úloha (typ)	Popis úlohy
1. (č, u)	Úloha na využití Coulombova zákona (1.1). Je třeba vyhledat relativní permitivitu vody.
2. (č, u)	Intenzita pole bodového náboje. Je třeba dohledat relativní permitivitu vody.
3. (č, u)	Výpočet potenciálu homogenního pole Země.
4. (č, u)	Určení napětí mezi dvěma body v poli bodového náboje.
5. (gz)	Určení intenzity ze známých ekvipotenciálních ploch.
6. (č, u)	Určení kapacity elektrolytického kondenzátoru.
7. (p, u)	Tvar ekvipotenciální plochy v okolí vodiče.
8. (č, u)	Vyjádření napětí mezi deskami z náboje a vzdálenosti desek.
9. (č)	Intenzita el. pole mezi deskami kondenzátoru.
10. (č, u)	Výpočet obsahu desek kondenzátoru s dielektrikem.
11. (č)	Kapacita zapojení kondenzátorů.
12. (č)	Rychlost elektronu v rentgence.
13. (č, u)	Úloha týkající se elektrolytického kondenzátoru.
14. (č)	Energie kondenzátoru.
15. (č, u)	Vybíjení akumulátoru.

Tabulka 2.8: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve sbírce M. Macháčka [24], jedná se o úlohy z části Elektřina a magnetismus

2.8 Fyzikální úlohy pro střední školy – Žák

Sbírký úloh V. Žáka [27] by měla vyjít v nakladatelství Prometheus na přelomu léta a podzimu 2010. V době psaní této práce jsem měla k dispozici elektronickou verzi rukopisu textu sbírky a jednotlivých obrázků. Dle vyjádření autora se nyní (červen 2010) provádí poslední korektury textu. Fyzikální podstata jednotlivých úloh ve sbírce by se již měnit neměla, může ale dojít k jazykovým úpravám, což pro porovnávání sbírek v této práci není podstatné.

Sbírký začíná jednostránkovým úvodem, ve kterém je vysvětleno rozdělení sbírky a jsou popsány jednotlivé typy úloh. Dále je sbírka rozdělena na tři části. Největší část tvoří samotné úlohy spolu s řešením. Další částí jsou **Fyzikální tabulky**, ve kterých studenti mohou vyhledávat potřebné konstanty k vyřešení úloh. Poslední částí jsou **Požadavky na znalosti a dovednosti maturantů a maturantek**. Zde je uveden očíslovaný seznam požadavků na znalosti studentů.

Část sbírky obsahující úlohy je rozdělena na sedm oddílů, které odpovídají jednotlivým tématům fyziky a jsou dále děleny na kapitoly. Celkem sbírka obsahuje 413 úloh.

V každém oddílu nalezneme úlohy dvojího druhu. *Úlohy A* na začátku oddílu jsou řešené. Následují neřešené *úlohy B*, ke kterým je na konci oddílu uveden pouze výsledek. Číslování úloh odpovídá očíslování seznamu požadavků v závěrečné části knihy. Podle čísla úlohy si tedy můžeme ověřit, jakou dovednost úloha procvičuje. Na procvičení každé dovednosti je zaměřena jedna úloha A a jedna úloha B. Celkem obsahuje sbírka 189 úloh typu A a stejné množství úloh typu B.

Posledním typem úloh jsou *úlohy C*, které jsou náročnější. Úloh C je ve sbírce 35 a nejsou zařazeny do jednotlivých oddílů, ale nalezneme je ve společném oddíle. Ke každé úloze tohoto typu je uvedena nápověda, číselné řešení nebo odpověď.

Úlohy z elektrostatiky ve sbírce V. Žáka [27]

Elektrostatikou se zabývá šest úloh typu A a B, které nalezneme v kapitole **1 Elektrický náboj a elektrické pole** v oddíle Elektřina a magnetismus, a také úloha C35.

Úlohy jsou sestaveny tak, aby studenti při jejich vyřešení prokázali, že ovládají všechny důležité dovednosti týkající se tohoto tématu. Následuje přehled dovedností, které spadají do tématu elektrostatika a které jsou uvedeny v závěrečné části sbírky. (Očíslovaný seznam je převzat přímo z této sbírky)

Žák (student) dovede:

- 1.1 vypočítat z Coulombova zákona velikost elektrické síly, kterou jeden náboj působí na druhý, a určit její směr,
- 1.2 vypočítat velikost intenzity elektrického pole bodového náboje v daném bodě a velikost intenzity homogenního elektrického pole mezi rovnoběžnými deskami, mezi nimiž je stálé napětí,
- 1.3 vypočítat práci vykonanou elektrickou silou při přenesení bodového náboje a určit v jednoduchých případech elektrický potenciál v daném bodě a elektrické napětí mezi dvěma body,
- 1.4 vypočítat kapacitu osamocené kulového vodiče a kapacitu deskového kondenzátoru,

1.5 vypočítat celkovou kapacitu kondenzátorů spojených za sebou a vedle sebe,

1.6 znázornit elektrické pole siločarovým modelem a ekvipotenciálními plochami.

U většiny bodů jsou vždy dva požadavky. Sbírka je tedy sestavena tak, aby úloha typu A byla zaměřena na jeden požadavek a úloha typu B na druhý požadavek.

Úlohy nejsou zaměřeny na pouhé dosazení číselných hodnot do vzorečku. Využívají příkladů z praxe, ve kterých si řešitel musí uvědomit, jak daná situace vypadá a případně musí dohledat potřebné konstanty. Velmi často je také třeba vyčíst informace z obrázku nebo obráček nakreslit.

Úloha (typ)	Popis úlohy
A1.1 (č, p)	Jak se přemístí náboj mezi nabitými tělesy, jestliže se navzájem dotknou.
B1.1 (č, o)	Jak se změní síla, jestliže změním vzdálenost a náboj. Zadání je ve zlomcích a procentech.
A1.2 (č, p)	Výpočet intenzity pomocí vztahu (1.3) a sčítání vektorů.
B1.2 (č, p)	Výpočet intenzity elektrického pole mezi mrakem a zemí.
A1.3 (gz, p)	Určení intenzity a potenciálu v daných bodech z obrázku ekvipotenciálních ploch. Určení napětí mezi body
B1.3 (č, p)	Výpočet práce při přenesení elektronu mezi mrakem a zemí.
A1.4 (č, p)	Výpočet kapacity kondenzátoru s využitím vztahů (1.14), (1.6). Zadané nejsou rozměry kondenzátoru, ale objem prostoru mezi deskami.
B1.4 (č, p)	Výpočet kapacity Země.
A1.5 (o, p)	Výpočet kapacity dvou podobných zapojení kondenzátorů.
B1.5 (č, p)	Výpočet kapacity zapojení na obrázku.
A1.6 (gř, p)	Zakreslení siločar, jestliže do homogenního pole vložíme vodič.
B1.6 (gř, p)	Znázornění siločar a ekvipotenciálních ploch u dvou nábojů.
C35 (gř, p)	Zakreslení siločar kvadrupólu.

Tabulka 2.9: Popis jednotlivých úloh z elektrostatiky ve sbírce V. Žáka [27], jedná se o úlohy z části 1 Elektrický náboj a elektrické pole

2.9 Fyzika v běžném životě – Nahodil

Knihy Fyzika v běžném životě od Josefa Nahodila [28] je zcela odlišná od ostatních sbírek uvedených v této diplomové práci. Nejedná se o sbírku úloh jako takovou, ale spíše o soubor zajímavých otázek. Mezi porovnávané sbírky jsem ji zařadila, protože dle mého názoru o této zajímavé knize mnoho učitelů neví a já sama jsem byla velice nadšena, když jsem ji objevila.

Ve sbírkách úloh většinou nalezneme úlohy, které jsou početní a ne vždy jsou propojeny s praktickým využitím. Tato kniha může být tedy vhodným doplňkem k úlohám tohoto typu. Místo klasických početných úloh jsou zde uvedeny otázky, které se týkají praktického využití znalostí, jež studenti při hodinách získají. Studentům je zde často kladena otázka, proč se něco děje.

V ostatních sbírkách většinu prostoru zabírají samotné úlohy, ke kterým nalezneme na konci sbírky řešení. V této knize je to naopak. Samotné otázky zabírají pouze třetinu celé knihy a většina prostoru je věnována odpovědím.

Velkou výhodou této knihy je, že umožňuje propojení učební látky s praxí. Jako nevýhodu můžeme brát, že jsou kladeny větší nároky na učitele. Pokud jsou studenti zvědaví, budou je při zodpovídání každé otázky napadat otázky nové, které s tématem souvisí. V knize jsou sice uvedeny správné odpovědi na otázky, které jsou v případě potřeby doplněny i obrázkem, ale tyto odpovědi jsou v některých případech zjednodušeny. Je tedy vhodné mít o daném tématu hlubší znalosti, ne si jen přečíst odpověď na konkrétní otázku.

Knihy je rozdělena na několik kapitol, které se velmi neliší od dělení ostatních sbírek. Rozdělení naleznete v tabulce A.40, kde je uveden i počet otázek v každé kapitole.

Otázky z elektrostatiky ve sbírce J. Nahodila [28]

V knize nalezneme 24 otázek, které se týkají tématu elektrostatika. Jak už bylo řečeno, všechny otázky jsou z praxe. Některé otázky se týkají jevů, které jsou studentům více známe, například jak se chová blesk, proč se ježí vlasy při česání nebo proč se na gramofonovou desku chytá prach. Na druhou stranu zde ale můžeme nalézt otázky, které se týkají využití elektrostatiky tam, kde bychom to nečekali, například při stříkání předmětů barvou, uzemňování plováku v benzínové nádrži nebo vybití trupu letadla při letu.

2.10 Srovnání sbírek

V závěru této kapitoly bych chtěla shrnout poznatky o jednotlivých sbírkách. Na základě analýzy, kterou jsem provedla, zde uvedu doporučení, týkající se využití jednotlivých sbírek. V tabulce 2.10 je uveden přehled jednotlivých sbírek, jež jsem srovnávala, a shrnutí dat, která se sbírek týkají.

Sbírkky	Počet úloh	Řešené úlohy	Výsledky úloh	Dělení podle obtížnosti	Shrnutí teorie	Strategie řešení úloh	Členění úloh podle typu	Zařazení uzavřených úloh
Lepil [15]	1 336	9 %	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne
Miklasová [17]	1 795	5 %	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
Kružík [12]	1 605	3,5 %	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
Barták [20]	1 170	9,5 %	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne
Bartuška [21][22][9][23]	753	100 %	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne
Kol. autorů [25][26]	1 365	11 %	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
Macháček [24]	247	100 %	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano
Žák [27]	413	46 %	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
Nahodil [28]	725	100 %	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne

Tabulka 2.10: Závěrečný přehled sbírek. Ve sloupci *Strategie řešení úloh* je zaznamenáno, zda je v úvodu sbírky popsáno, jak se mají řešit fyzikální úlohy. Ve sloupci *Členění úlohy podle typu* je uvedeno, zda je vysvětlen rozdíl mezi úlohami zadanými číselně, obecně atd (viz kapitola 2)

Dle mého názoru nelze vybrat jednu sbírku, která by byla nejlepší pro vyučování. Je důležité si uvědomit, k čemu má daná sbírka sloužit. Až poté můžeme vybírat určitou sbírku pro konkrétní použití.

Mají-li si studenti osvojit řešení takových úloh, které se zakládají hlavně na nalezení správného vzorce a vyjádření neznámé, budou z dostupných sbírek vhodná sbírka O. Lepila [15] a V. Miklasové [17]. Tyto sbírky obsahují úlohy, u nichž je nejdůležitější dovedností vybrat správný vzorec a dosadit zadané

hodnoty. U obtížnějších úloh je třeba zkombinovat více vzorců. Dle mého názoru jsou si tyto dvě sbírky velice podobné. Ve sbírce V. Miklasové se úlohy snaží více využívat příkladů z praxe a zadání jsou srozumitelněji formulována. Bohužel zde ale chybí některé obtížnější úlohy, v elektrostatice například není žádná úloha, která by využívala skládání vektorů. Je to dáno tím, že sbírka je určena odborným školám a nikoli gymnáziím.

Pokud potřebujeme úlohy pro studenty k samostudiu, je vhodná čtyřdílná sbírka K. Bartušky [21],[22],[9],[23], kde jsou všechny úlohy řešené. Na začátku každé podkapitoly jsou jednodušší úlohy, dále jsou úlohy, které bych zařadila mezi obtížnější.

Sbírkky [12], [25] a [26] se v současné době již nevydávají, ale některé zůstaly na školách. Mohou tedy posloužit jako zdroj úloh pro vyučující, kteří tak získávají úlohy, jež studenti ve svých sbírkách nemají, což je využitelné například v testech. Úlohy ve dvoudílné sbírce [25], [26] jsou dle mého názoru obtížnější. Zadání úloh vyžadují mnohem větší pozornost při čtení, protože jsou mnohem delší.

Sbírka F. Bartáka [20] již také není v prodeji a může posloužit jako zdroj úloh. Sbírka je ale velice podobná sbírce O. Lepila a zadání jednotlivých úloh se v obou sbírkách velmi často vůbec neliší.

Od všech uvedených sbírek se liší sbírky M. Macháčka [24] a V. Žáka [27]. Obě sbírky nejsou tak obsáhlé jako ostatní uvedené sbírky, ale úlohy v těchto sbírkách jsou „netypické“. Většinou je třeba se nad problémem více zamyslet, nejen dosadit zadané hodnoty do určitého vzorce. Studenti musí dohledávat informace potřebné k vyřešení úlohy např. v tabulkách a využívat i znalostí z praxe. Menší rozsah sbírek studentům neumožňuje vypočítat velké množství podobných úloh, například při procvičování látky před testem, ale na druhou stranu neobvyklostí úloh donutí studenty uvažovat nad problémem a lépe pochopit fyzikální principy potřebné k vyřešení úlohy.

Nejvíce se od ostatních liší kniha J. Nahodila [28], která vlastně není sbírkou úloh, tedy neobsahuje klasické výpočtové úlohy k řešení, ale je v ní uvedeno množství zajímavých otázek z praxe. Kniha by tedy mohla být dobrým zdrojem otázek, které bychom studentům měli klást, aby lépe dokázali propojit získané fyzikální poznatky z praxí.

Námětem pro další práci by bylo provést průzkum mezi jednotlivými učiteli a zjistit, jaké sbírky úloh používají, a zda s doporučeními v této diplomové práci souhlasí. Při psaní této práce jsem takový průzkum neprováděla a nedařilo se mi ani nalézt, že by již někdo výzkum týkající se sbírek úloh z fyziky prováděl.

2.11 Internetové sbírky úloh

Kromě tištěných sbírek úloh, jsou v dnešní době dostupné na internetu sbírky elektronické. Studenti při své přípravě na vyučování vyhledávají většinu informací právě na internetu. Toho využívají někteří učitelé. Na vlastní webové stránky nebo webové stránky školy umísťují vhodné učební materiály. Jedním z těchto materiálů mohou být i úlohy k procvičení. Vznikají tak vlastně menší sbírky úloh, které často obsahují výběr úloh ze sbírek tištěných.

Uvádím zde stručný přehled několika sbírek nebo souborů úloh, které jsem našla na internetu. Sbírkky jsem rozdělila do čtyř skupin podle toho, zda se jedná o sbírky umístěné na webových stránkách vysokých, středních škol, nebo je přímo vytváří učitelé. Poslední skupinou jsou sbírky, které se nacházejí na stránkách věnujících se fyzice a nelze je zařadit do žádné z předchozích kategorií.

Podrobnější prozkoumání internetových je nad rámec obsahu této diplomové práce a může posloužit jako námět práce pro další práci.

Sbírkky dostupné na stránkách středních škol

Na stránkách Gymnázia Chomutov [29] naleznete několik desítek neřešených úloh z elektřiny a magnetismu a z mechaniky tekutin a plynů.

Soubor přibližně padesáti neřešených úloh bez číselných výsledků je dostupný na stránkách Gymnázia Karla Čapka v Dobříši [30].

Sbírkky dostupné na stránkách středoškolských učitelů

Na stránkách učitele Vladimíra Vašćáka [31] nalezneme velice zajímavou elektronickou sbírku řešených úloh (obsahuje cca. 260 úloh). U úloh můžeme zobrazit celé řešení, případně řešení odkrývat postupně. Velice mě zaujalo, že u některých úloh můžeme měnit číselné hodnoty v zadání (například u úloh na rovnoměrný přímočarý pohyb). Při změně hodnoty v zadání se automaticky změní i číselné výpočty v řešení a jednoduše tedy můžeme vidět, jak která veličina ovlivňuje různé části řešení.

Na stránkách učitele Jaroslava Reichla [32] jsou umístěny čtyři sbírky úloh určené pro jednotlivé ročníky technického lycea na SPŠ ST Panské v Praze. Sbírkka pro čtvrtý ročník je zároveň určena pro opakování k maturitě. Zdrojem úloh do této sbírky byly různé existující sbírky úloh, přijímací zkoušky na vysoké školy, ale jsou zde uvedeny i úlohy, které vymyslel sám autor.

Na stránkách učitele Martina Krynického [33] vzniká učebnice pro gymnázia. U každé kapitoly je uvedeno několik úloh. Nalezneme zde také sbírku úloh, která v současné době obsahuje úlohy pouze z mechaniky [34]. Řešení úloh obsahují i fyzikální rozbor situace.

Na stránkách učitele Jaroslava Svobody [35] nalezneme několik stovek úloh z několika oblastí fyziky. Stránka je určena především studentům Gymnázia Jana Blahoslava a Střední pedagogické školy v Přerově.

Neřešené úlohy z fyziky nalezneme na webových stránkách Jana Voženilky [36], učitele na Gymnáziu F. X. Šaldy.

Na webových stránkách *www.priklady.eu* [37] několik stovek úloh z různých témat fyziky i s řešením. Úlohy shromáždil během své praxe učitel Mgr. Roman Hestic. Úlohy se postupně překládají ze slovenštiny do češtiny.

Na stránkách Petra Hockicka [38] najdete 51 řešených úloh, které byly vybrány ze sbírky úloh Fyzika v příkladech, která je v elektronické podobě na stránkách také dostupná a obsahuje přibližně 400 úloh.

Sbírký dostupné na stránkách vysokých škol a jejich učitelů

Na těchto internetových stránkách [40], [41] najdete zadání několika set úloh, které jsou určeny studentům na katedře fyziky a materiálového inženýrství na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

Elektronická sbírka úloh vzniká také na VŠCHT v Praze [43]. Tato sbírka byla popsána již v bakalářské práci [1], protože posloužila jako inspirace při vzniku elektronické sbírky na KDF. Ve sbírce nalezneme 80 úloh, které slouží studentům k procvičení látky z přednášek z Fyziky I. K další části přednášek je na stránkách umístěna Sbírká příkladů z fyziky II [42] ve formátu pdf s dalšími desítkami úloh.

Sbírká úloh ve slovenštině je dostupná na internetové stránce *infovek.sk* [44]. Úlohy nejsou sice řešené, ale u každé je podrobný „návod“, který studentovi pomáhá postupně přijít na jednotlivé kroky řešení. Sbírká obsahuje přibližně 300 úloh.

Na stránkách Petra Kulhánka [45] je 63 vysokoškolských řešených úloh z několika oblastí fyziky. Jedná se o materiály k přednášce Fyzika II na ČVUT v Praze.

Ostatní dostupné sbírky úloh

Na *Fyzikálních webových stránkách* [46] jsou uvedeny jak úlohy řešené, tak neřešené ze všech oblastí fyziky. Jedná se o obtížnější středoškolské úlohy nebo úlohy vysokoškolské.

Na internetových stránkách *e-fyzika.cz* [47] je dostupných několik desítek řešených středoškolských úloh z různých oblastí fyziky rozdělených podle témat, či ročníků.

Středoškolské řešené úlohy i úlohy pouze s výsledkem jsou dostupné také na stránkách *resenafyzika.ic.cz* [48]. Na stránkách je umístěno přibližně 40 úloh.

Na webových stránkách *Fyzika kolem nás* [49] nalezneme 152 otázek z praktického života a odpovědi na ně, například Jak vidí zajíc?, Proč je za větru chladněji? atd.

Na webových stránkách *www.fyzikalniulohy.cz* [50] naleznete již zmiňovanou sbírku řešených úloh, která vzniká na katedře didaktiky fyziky matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Sbírcce je věnována první kapitola této diplomové práce.

Závěr

V rámci diplomové práce byla zmapována oblast elektrostatiky z hlediska učiva probíraného na středních a vysokých školách. Kapitola *Elektrostatika* v elektronické sbírce úloh byla rozdělena na osm podkapitol. Do těchto podkapitol bylo vytvořeno 30 nových úloh včetně strukturovaných nápověd, komentovaného řešení a vhodných obrázků. Úlohy jsou středoškolské a vysokoškolské úrovně a spolu s již dříve vytvořenými úlohami pokrývají danou oblast učiva elektrostatika. Tím byl splněn hlavní cíl této práce.

Elektronická sbírka [50] je každý rok prezentována na několika konferencích určených pro učitele, například od roku 2007 na veletrhu nápadů učitelů fyziky. Představena byla i na několika mezinárodních konferencích např. GIREP a DIDFYZ.

Dále byla v rámci této práce provedena analýza existujících sbírek úloh. Bylo vytipováno několik vhodných kritérií a na základě těchto kritérií byly porovnány dostupné tištěné sbírky úloh. Z této analýzy plyne, že je důležité si uvědomit, k jakému účelu sbírku úloh student, případně učitel potřebuje. Část sbírek je velice obsáhlá a nejlépe se hodí k procvičování řešení „klasických“ úloh na použití vhodného vzorce a dosazení zadaných hodnot. K samostudiu jsou vhodné sbírky řešených úloh. Existují také sbírky s menším množstvím úloh, které ale obsahují úlohy „netypické“ úlohy. Bylo zmíněno i několik sbírek a souborů úloh, které jsou dostupné na internetu.

V budoucnu bych se ráda dále podílela na rozvoji sbírky a přidávání nových úloh, s velkou pravděpodobností už ne z pozice studenta vysoké školy, ale z pozice pedagoga na střední škole. Již ve školním roce 2009/2010 jsem se snažila využívat sbírku při výuce fyziky na SPŠ ST Panská v Praze, zatím pouze v rámci samostudia a dobrovolných prací studentů. V dalších letech bych využití sbírky ráda rozšířila. Doufám, že také poznám názory studentů a pedagogů, které pomohou zlepšovat funkčnost i obsah sbírky.

Literatura

- [1] MATĚJÍČKOVÁ L.: *Elektronická sbírka řešených příkladů z elektřiny a magnetismu II*, bakalářská práce, vedoucí: Z. Broklová, KDF MFF UK, Praha, 2007
- [2] SNĚTINOVÁ M.: *Elektronická sbírka řešených úloh z elektřiny a magnetismu I*, bakalářská práce, vedoucí: Z. Broklová, KDF MFF UK, Praha, 2007
- [3] *Multimediální encyklopedie fyziky* [online], poslední aktualizace 20. 8. 2009, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]
<http://fyzika.jreichl.com/index.php>
- [4] LEPIL O., ŠEDIVÝ P.: *Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus*, Prometheus, Praha, 1998
- [5] SEDLÁK B., ŠTOLL I.: *Elektřina a magnetismus*, Academia, Český Těšín, 2002
- [6] BAKULE R. A KOL.: *Příklady z elektřiny a magnetismu*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1971.
- [7] *Fyzikální olympiády*, 46. ročník 1. kolo kategorie A, dostupné na WWW [cit. 20. 7. 2010]: <http://fo.cuni.cz/archiv/zadani-a-reseni>
- [8] GRIFFITHS D. J.: *Introduction to Electrodynamics*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999
- [9] BARTUŠKA K.: *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy III*, Prometheus, Praha, 2002.
- [10] HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J.: *Fyziky – Část 3: Elektřina a magnetismus*, VUTIUM, Brno, 2003

- [11] HUBEŇÁK J.: *Řešené úlohy z elektřiny a magnetismu. Pro seminář z fyziky na střední škole a studující učitelství fyziky v I. ročníku*, MAFY, Hradec Králové, 1997
- [12] KRUŽÍK M.: *Sbírka úloh z fyziky pro žáky středních škol*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1978.
- [13] *Fyzikální olympiády*, 39. ročník 1. kolo kategorie B, dostupné na WWW [cit. 20.7.2010]: <http://fo.cuni.cz/archiv/zadani-a-reseni>
- [14] POŠTA P.: *Řešené úlohy z elektromagnetismu pro elektronickou sbírku*, diplomová práce, vedoucí: Z. Koupilová, KDF MFF UK, Praha, v přípravě
- [15] LEPIL O. A KOL.: *Fyzika – Sbírka úloh pro střední školy*, Prometheus, Praha, 1999
- [16] SVOBODA E., KOLÁŘOVÁ R.: *Didaktika fyziky základní a střední školy: vybrané kapitoly*, Karolinum, Praha, 2006
- [17] MIKLASOVÁ V.: *Sbírka úloh z fyziky pro SOŠ a SOU*, Prometheus, Praha, 1999
- [18] LEPIL O., BEDNAŘÍK M., HÝBLOVÁ R.: *Fyzika I pro střední školy*, Prometheus, Praha, 2001
- [19] LEPIL O., BEDNAŘÍK M., HÝBLOVÁ R.: *Fyzika II pro střední školy*, Prometheus, Praha, 2009
- [20] BARTÁK F. A KOL.: *Sbírka úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ*, SPN, Praha, 1988
- [21] BARTUŠKA K.: *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy I*, Prometheus, Praha, 2004
- [22] BARTUŠKA K.: *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy II*, Prometheus, Praha, 2004
- [23] BARTUŠKA K.: *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy IV*, Prometheus, Praha, 2003
- [24] MACHÁČEK M.: *Fyzika – sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky*, Tauris, Praha, 2001
- [25] TOMANOVÁ E. A KOL.: *Sbírka úloh z fyziky pro gymnázia – I.díl*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1988.

- [26] KOUBEK V. A KOL.: *Sbírka úloh z fyziky pro gymnázia – II.díl*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1989.
- [27] ŽÁK V.: *Fyzikální úlohy pro SŠ*, Prometheus, v tisku, předpokládaný termín vydání: léto/podzim 2010
- [28] NAHODIL J.: *Fyzika v běžném životě*, Prometheus, Praha, 1996
- [29] *Gymnázium Chomutov – výukové materiály* [online], poslední aktualizace 8. 6. 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
<http://www.gymcv.cz/search.php?rsvelikost=sab&rstext=all-phpRS-all&rstema=8&stromhmenu=6>
- [30] *Gymnázium Karla Čapka – Maturita z fyziky* [online], poslední aktualizace 24. 6. 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
<http://web.gymkc.cz/files/10-maturitni-priklady.pdf>
- [31] *Vladimír Vaščák – Fyzika pro žáky* [online], poslední aktualizace 2005, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
<http://www.spszl.cz/~vascak/modules/news/priklady.php>
- [32] *Jaroslav Reichl* [online], poslední aktualizace 24. 6. 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
<http://jreichl.com/fyzika/vyuka/vyuka.htm>
- [33] KRYNICKÝ M.: *Učebnice fyziky pro gymnázia* [online], poslední aktualizace 23. 4. 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
<http://www.ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/>
- [34] KRYNICKÝ M.: *Sbírka příkladů z fyziky pro gymnázia*, poslední aktualizace 9. 2. 2009, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
<http://www.ucebnice.krynicky.cz/>
- [35] *Mgr. Jaroslav Svoboda – Příklady k písemce* [online], poslední aktualizace 5. 7. 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
http://www.jaroslavsvoboda.ic.cz/index_soubory/Page1758.htm
- [36] *Jan Voženílek – Fyzikální materiály* [online], poslední aktualizace 17. 7. 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
http://jan.gfxs.cz/studium/mater_f.htm
- [37] *Fyzika – příklady.eu – Sbírka příkladů z matematiky a fyziky pro střední školy* [online], poslední aktualizace 12. 2. 2006, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://www.priklady.eu/cs/Fyzika.alej>

- [38] HOCKICKO P.: *Fyzika v príkladoch*, 2006, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://hockicko.utc.sk/>
- [39] KUČEROVÁ A., MÜLLEROVÁ J.: *Fyzika v príkladoch*, Vojenská akadémia, Liptovský Mikuláš, 2002, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://hockicko.utc.sk/Books/fvp.pdf>
- [40] *Fyzika I – výběr příkladů* [online], dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://fyzika.ft.utb.cz/ucebni/fyzprik/vyber.php?f=1>
- [41] *Výběr příkladů* [online], dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://fyzika.ft.utb.cz/ucebni/fyzprik/vyber.php?f=2>
- [42] HOFFMAN J., ALEXA P.: *Sbírka příkladů z fyziky II* [online], poslední aktualizace neuvedena, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/hofmannj/docs/elsbirka.FII.pdf>
- [43] *Příklady z fyziky* [online], poslední aktualizace 12. 2. 2006, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/hofmannj/epFYZ/index.html>
- [44] BEŇUŠKA J.: *Zbírka úloh z fyziky*, 1997, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://www.infovek.sk/predmety/fyzika/zbierka/index.html#21>
- [45] *Petr Kulháněk – Fyzika II* [online], poslední aktualizace březen 2001, poslední aktualizace 12. 2. 2006, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://www.aldebaran.cz/studium/fyzika/>
- [46] *Fyzikální webové stránky – webfyzika* [online], poslední aktualizace neuvedena, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/0prikklady.htm>
- [47] *e-Fyzika.cz* [online], poslední aktualizace 11. 4. 2009, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: www.e-fyzika.cz/prikklady/
- [48] *Řešené příklady do fyziky* [online], poslední aktualizace 2008, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://resenafyzika.ic.cz/>
- [49] *Fyzika kolem nás* [online], poslední aktualizace neuvedena, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]: <http://www.quido.cz/fyzika/uvod.htm>

- [50] *Sbírka řešených úloh z fyziky* [online], poslední aktualizace červenec 2010, dostupné na WWW [cit. 15. 7. 2010]:
www.fyzikalniulohy.cz

Přílohy

Příloha A

Tabulky k jednotlivým sbírkám

V této příloze naleznete tabulky, ve kterých je popsáno rozdělení témat v jednotlivých sbírkách na menší části. Je zde také uveden počet úloh v jednotlivých kapitolách (případně podkapitolách). Tabulky jsem se snažila pro přehlednost umístit vždy celé na jednu stránku. Bohužel tak vznikly před celostránkovými tabulkami velké prázdné plochy.

A.1 Fyzika – Sbíрка úloh pro střední školy – Lepil

V následujících tabulkách naleznete rozdělení témat ve sbírce O. Lepila na jednotlivé kapitoly a podkapitoly. Výjimku tvoří témata Molekulová fyzika a termika (tabulka A.2) a Fyzika atomu (A.6), které neobsahují podkapitoly, a také témata Speciální teorie relativity a Astrofyzika (A.6), která nejsou rozdělena ani na podkapitoly. U každé podkapitoly je uveden celkový počet úloh a počet řešených úloh. V tabulce A.7 je uveden počet úloh jednotlivých obtížností v elektronické podobě této sbírky.

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh	
		celkem	řešené
2.1 Kinematika	Průměrná rychlost	12	2
	Rovnoměrný pohyb	24	2
	Pohyb rovnoměrně zrychlený	22	4
	Volný pád	9	0
	Rovnoměrný pohyb po kružnici	11	0
2.2 Dynamika	První pohybový zákon	10	0
	Druhý pohybový zákon	22	2
	Síly působící proti pohybu	15	1
	Třetí pohybový zákon	13	0
	Vztažné soustavy. Setrvačné síly	7	1
	Dostředivá a odstředivá síla	15	1
2.3 Mechanická práce a energie	Mechanická práce	13	2
	Práce, výkon, účinnost	17	3
	Mechanická energie	20	2
2.4 Gravitační pole	Gravitační zákon	20	1
	Pohyby v homogenním tíhovém poli Země	15	2
	Pohyby v centrálním gravitačním poli	15	1
2.3 Mechanika tuhého tělesa		47	4
2.4 Mechanika tekutin	Tlak v kapalinách a plynech	23	1
	Archimedův zákon	19	2
	Proudění tekutin	17	1

Tabulka A.1: Rozdělení mechaniky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce O. Lepila [15]

Kapitola	Počet úloh	
	celkem	řešené
3.1 Základní poznatky	26	2
3.2 Vnitřní energie, práce a teplo	37	4
3.3 Ideální plyn	47	4
3.4 Pevné látky	22	1
3.5 Kapaliny	21	2
3.6 Změny skupenství látek	20	1

Tabulka A.2: Rozdělení molekulové fyziky a termiky na jednotlivé kapitoly ve sbírce O. Lepila [15]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh	
		celkem	řešené
4.1 Kmitání mechanického oscilátoru	Perioda a frekvence kmitání	5	0
	Kinematika harmonického kmitání	18	2
	Složené kmitání	5	1
	Dynamika mechanického oscilátoru	13	2
	Kyvadlo	14	2
	Energie mechanického oscilátoru	7	1
	Nucené mechanické kmitání	7	0
4.2 Mechanické vlnění	Postupné vlnění v řadě bodů	19	1
	Interference vlnění	4	0
	Rychlost zvuku	5	1

Tabulka A.3: Rozdělení mechanického kmitání a vlnění na kapitoly a podkapitoly ve sbírce O. Lepila [15]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh	
		celkem	řešené
5.1 Elektrické pole	Elektrický náboj	7	0
	Coulombův zákon	8	0
	Intenzita elektrického pole	9	2
	Práce v elektrickém poli, elektrický potenciál a napětí	16	1
	Kapacita vodiče a kondenzátor	17	1
5.2 Elektrický proud v pevných látkách	Elektrický proud v kovech	8	1
	Odpor vodiče	18	2
	Ohmův zákon pro část obvodu	12	0
	Ohmův zákon pro celý obvod	29	4
	Elektrické obvody	45	7
	Práce a výkon elektrického proudu	41	4
	Elektrický proud v polovodičích	17	0
	Elektrický proud v elektrolytech, v plynech a ve vakuu	15	3
5.3 Magnetické pole	Elektrický proud v plynech a ve vakuu	8	1
	Magnetické pole vodiče s proudem	16	1
	Vzájemné působení vodičů s proudem	5	0
	Částice s náboje v magnetickém poli	15	0
	Magnetické jevy v praxi	4	0
	Elektromagnetická indukce	20	2
5.4 Střídavý proud	Indukčnost vodiče	8	1
		78	9
5.5 Elmag. kmitání a vlnění	Elektromagnetické kmitání	18	3
	Elektromagnetické vlnění	31	3

Tabulka A.4: Rozdělení elektřiny a magnetismu na kapitoly a podkapitoly ve sbírce O. Lepila [15]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh	
		celkem	řešené
6.1 Základní pojmy optiky	Šíření světla	8	0
	Odraz světla	7	1
	Lom světla	30	2
6.2 Vlnové vlastnosti světla		3	0
	Interference světla	10	2
	Ohyb světla	8	1
6.3 Zobrazení zrcadlem a čočkou	Zobrazení zrcadlem	20	2
	Zobrazení čočkou	30	1
	Optické přístroje	19	1
6.4 Energie záření	Fotometrie	10	1
	Kvantová optika	11	0

Tabulka A.5: Rozdělení optiky na kapitoly a podkapitoly ve sbírce O. Lepila [15]

Téma	Kapitola	Počet úloh	
		celkem	řešené
7 Speciální teorie relativity		20	1
8 Fyzika atomu	8.1 Elektronový obal atomu	17	1
	8.2 Jádro atomu	38	6
9 Astrofyzika		24	2

Tabulka A.6: Rozdělení speciální teorie relativity, fyziky atomu a astrofyziky na kapitoly ve sbírce O. Lepila [15]

Téma	Kapitola	Počet úloh úrovně	
		vyšší	nejvyšší
2 Mechanika	Kinematika	0	5
	Dynamika	3	5
	Mechanická práce a energie	0	0
	Gravitační pole	9	2
	Mechanika tuhého tělesa	10	6
	Mechanika tekutin	6	2
3 Molekulová fyzika a termika	Základní poznatky	1	0
	Vnitřní energie, práce a teplo	3	0
	Ideální plyn	11	5
	Pevné látky	0	1
	Kapaliny	0	5
	Změny skupenství látek	0	2
4 Mechanické kmitání a vlnění	Kmitání mechanického oscilátoru	7	17
	Mechanické vlnění	0	4
5 Elektřina a magnetismus	Elektrické pole	0	0
	Elektrický proud v pevných látkách	24	23
	Magnetické pole	8	6
	Střídavý proud	23	8
	Elektromagnetické kmitání a vlnění	15	6
6 Optika	Základní pojmy optiky	0	6
	Vlnové vlastnosti světla	9	2
	Zobrazení zrcadlem a čočkou	12	12
	Energie záření	10	0
7 Speciální teorie relativity		1	3
8 Fyzika atomu	Elektronový obal atomu	0	0
	Jádro atomu	8	7
9 Astrofyzika		0	2

Tabulka A.7: Počet úloh vyšší a nejvyšší obtížnosti v jednotlivých kapitolách elektronické verze sbírky O. Lepila [15]

A.2 Sbíрка úloh pro SOŠ a SOU – Miklasová

V následujících tabulkách je uvedeno rozdělení témat na kapitoly a podkapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]. 7 kapitol není rozděleno na menší celky (tabulky A.10, A.12, A.13), a naopak 2 podkapitoly jsou rozděleny na menší sekce (tabulky A.9, A.10). U jednotlivých podkapitol naleznete celkový počet úloh, počet řešených úloh a počet obtížnějších úloh označených hvězdičkou *.

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh		
		celkem	řešené	s *
2.1 Kinematika	Hmotný bod, klid, pohyb	6	0	0
	Základní pojmy a veličiny z kinematiky	33	1	9
	Rovnoměrný pohyb	14	1	3
	Nerovnoměrný pohyb	29	2	22
	Rovnoměrný pohyb po kružnici	14	0	2
	Skládání pohybů	4	0	0
2.2 Dynamika	Síla a její účinky	7		0
	Newtonovy pohybové zákony a jejich důsledky	68	5	31
	Dostředivá síla	4	0	3
	Síly působící proti pohybu	18		6
2.3 Mechanická práce a energie	Mechanická práce	19	1	3
	Mechanická energie	32	2	19
	Výkon	26	1	12
	Účinnost	15	1	10
2.4 Gravitační pole	Gravitační pole, gravitační síla	12	1	4
	Svislý vrh vzhůru	13	1	6
	Vodorovný vrh	23	2	7
	Pohyby těles v radiálním gravitačním poli Země	11	1	10
	Gravitační pole Slunce	6	0	6
2.5 Mechanika tuhého tělesa	Moment síly vzhledem k ose	14	1	3
	Skládání a rozklad sil	44	3	32
	Těžiště, stabilita tělesa	13	1	4
	Jednoduché stroje	32	1	7
2.6 Mechanika tekutin	Tlak a tlaková síla	51	3	15
	Vztlaková síla	21	1	18
	Proudění tekutin	46	3	21

Tabulka A.8: Rozdělení mechaniky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh		
		celkem	řešené	s *
3.1 Základní poznatky	Teplota a její měření	7	0	0
	Teplotní roztažnost	50	3	22
	Částicové složení látek různých skupenství	9	0	7
	Teplota a vnitřní energie	67	2	24
3.2 Plyny		1	0	0
	izotermický děj	10	1	5
	izobarický děj	4	0	1
	izochorický děj	15	1	2
	Stavová rovnice ideálního plynu	22	2	10
	Tepelné motory	27	1	8
3.3 Pevné látky	Deformace	12	0	0
	Hookův zákon	54	4	20
3.4 Kapaliny a páry	Povrchová energie, povrchové napětí	13	0	0
	Kapilarita	18	1	6
3.5 Změny skupenství látek	Tání, tuhnutí	41	2	19
	Vypařování, var, kondenzace	36	2	11
	Sublimace, desublimace	2	0	0
	Fázový diagram	5	0	0
	Vlhkost vzduchu	12	1	5

Tabulka A.9: Rozdělení molekulové fyziky a termiky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]

Kapitola	Podkapitola		Počet úloh		
			celkem	řešené	s *
4.1 Mechanické kmitání	Kinematika harmonického pohybu		25	2	10
	Dynamika mechanického oscilátoru	Těleso na pružině	16	1	9
		Kyvadlo	15	1	9
	Nucené mechanické kmitání		7	1	0
4.2 Mechanické vlnění			18	3	5
4.3 Akustika			32	0	2

Tabulka A.10: Rozdělení mechanického kmitání a vlnění na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh		
		celkem	řešené	s *
5.1 Elektrické pole	Elektrický náboj, silové působení mezi náboji	21	1	5
	Intenzita elektrického pole	12	0	5
	Potenciál a napětí	19	1	2
	Vodič a izolant v elektrickém poli	3	0	0
	Kapacita, kondenzátory	31	2	14
5.2 Elektrický proud v pevných látkách	Elektrický proud v kovech, jednoduchý elektrický obvod	16	0	0
	Odpor vodiče	24	1	15
	Ohmův zákon pro část obvodu	23	1	10
	Ohmův zákon pro celý obvod	9	1	5
	Spojování rezistorů	29	2	16
	Práce a výkon elektrického proudu	47	1	9
	Teplo odevzdané tepelným elektrickým spotřebičem	21	1	15
	Vodivost polovodičů	6	0	0
5.3 Elektrický proud v kapalinách a plynech	Elektrický proud v kapalinách	25	0	1
	Elektrický proud v plynech a ve vakuu	19	0	3
5.4 Magnetické pole	Magnetické vlastnosti látek	18	0	0
	Magnetické pole vodiče s proudem	39	2	11
	Elektromagnetická indukce	7	0	0
	Indukčnost vodiče	23	1	2
5.5 Střídavý proud	Vznik a veličiny střídavého proudu	57	1	6
	Trojfázová soustava střídavého proudu, generátory, elektromotory	10	1	5
	Transformátory	15	1	3
	Elektrovodná síť	5	0	2
5.6 Elektronika, elmag. vlnění	Elektronika	14	0	0
	Elektromagnetické vlnění	21	1	6

Tabulka A.11: Rozdělení mechanického kmitání a vlnění na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh		
		celkem	řešené	s *
6.1 Světlo jako vlnění		11	0	0
6.2 Paprsková optika	Přímočaré šíření světla, odraz a lom	10	0	2
	Zrcadla	18	1	3
	Čočky	10	0	2
	Oko.Optické přístroje	10	0	2
6.3 Kvantová optika		8	0	4
6.4 Fotometrie		7	0	3

Tabulka A.12: Rozdělení optiky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]

Kapitola	Počet úloh		
	celkem	řešené	s *
7.1 Fyzika elektronového obalu	8	0	1
7.2 Jádro atomu	12	0	3
7.3 Radioaktivita, jaderná energie	17	0	6

Tabulka A.13: Rozdělení atomové fyziky na jednotlivé kapitoly ve sbírce V. Miklasové [17]

A.3 Sbíрка úloh z fyziky pro žáky středních škol – Kružík

V následujících tabulkách naleznete rozdělení témat ve sbírce M. Kružíka [12] na kapitoly. U každé podkapitoly je uveden celkový počet úloh, počet řešených úloh, počet úloh méně snadných označených tečkou • a počet úloh obtížnějších označených dvěma tečkami ••. Mechanika je jako jediná v této sbírce členěna podrobněji. Dvě kapitoly jsou dělené na podkapitoly. Některé části jsou pak rozděleny na menší oddíly, které nejsou ve sbírce uvedeny v obsahu. Protože řešené úlohy jsou uvedeny vždy na začátku kapitoly (případně podkapitoly) a nejsou zařazeny u jednotlivých oddílů, je počet řešených úloh uveden vždy u prvního oddílu a u ostatních oddílů je tato kolonka ponechána prázdná.

Kapitola	Podkapitola oddíl	Počet úloh			
		řešené	celkem	s •	s ••
Základní pojmy: hmotnost, objem, čas a hustota		1	15	2	0
Základy kinematiky	Rovnoměrný přímo- čarý pohyb	2	35	5	2
	Pohyb rovnoměrně zrychlený	1	40	8	4
Základy dynamiky		5	11	0	0
	Zákon síly		33	3	0
	Volný pád		13	0	0
	Zákon akce a reakce		18	1	0
	Pohyb hmotného bodu po kružnici		41	2	4
Mechanická práce a energie		2	16	0	3
	Mechanická energie		20	2	0
	Vzájemná přeměna potenciální energie tíhové a energie kinetické		19	0	0
	Výkon		21	3	0

Kapitola	Podkapitola oddíl	Počet úloh			
		řešené	celkem	s •	s ••
Gravitační pole	Vrh svislý vzhůru	1	11	3	0
	Vrh vodorovný		12	5	0
	Vrh šikmý		14	8	2
	Gravitační zákon a zákony Keplerovy		30	3	6
Mechanika tuhého tělesa		3	12	0	2
	Skládání sil, které působí v témž bodě tělesa. Rozkládání sil na různoběžné složky		27	0	0
	Skládání a rozklad rovnoběžných sil		12	4	0
	Těžiště tělesa		15	2	4
	Dvojice sil. Rovno- vážná poloha. Mo- ment setrvačnosti. Tření smykové a valivé		48	2	2
	Jednoduché stroje	2	46	11	2
Orientace na obloze a měření času		0	17	1	0
Mechanika kapalin a plynů		4	68	2	2

Tabulka A.14: Rozdělení mechaniky na jednotlivé kapitoly, podkapitoly a oddíly ve sbírce M. Kružíka [12]

Kapitola	Počet úloh			
	řešené	celkem	s •	s ••
Základní pojmy	1	12	0	0
Teplota a změna objemu tělesa	1	21	4	0
Teplo	1	44	2	1
Tepelné děje v plynech	2	64	9	3
Tepelné stroje	1	24	2	3
Molekulová stavba kapalin	1	26	3	0
Stavba pevných látek	2	34	0	0

Tabulka A.15: Rozdělení molekulové fyziky a termiky na jednotlivé kapitoly ve sbírce M. Kružíka [12]

Kapitola	Počet úloh			
	řešené	celkem	s •	s ••
Kmitání	1	34	3	1
Vlnění	1	17	0	0
Vlnění zvukové	1	31	1	1

Tabulka A.16: Rozdělení kmitání a vlnění na jednotlivé kapitoly ve sbírce M. Kružíka [12]

Kapitola	Počet úloh			
	řešené	celkem	s •	s ••
Elektrický náboj a elektrické pole	2	81	9	6
Elektrický proud v kovech	2	89	15	5
Elektrický proud v elektrolytech	1	11	0	0
Elektrický proud v polovodičích	1	8	0	0
Elektrický proud v plynech a ve vakuu	1	24	1	1
Magnetické pole	1	41	1	0
Elektromagnetická indukce	1	27	2	0
Střídavý proud	4	64	8	0
Elektrické kmity a elektromagnetické a vlnění	1	15	1	0

Tabulka A.17: Rozdělení elektřiny a magnetismu na jednotlivé kapitoly ve sbírce M. Kružíka [12]

Kapitola	Počet úloh			
	řešené	celkem	s •	s ••
Světlo – elektromagnetické vlnění	2	57	5	0
Fotometrie	1	23	1	1
Zobrazení zrcadlem a tenkou čočkou, optické přístroje	2	73	4	1
Elektromagnetické spektrum	1	15	0	0
Kvantová optika	1	16	0	0

Tabulka A.18: Rozdělení optiky na jednotlivé kapitoly ve sbírce M. Kružíka [12]

Kapitola	Počet úloh			
	řešené	celkem	s •	s ••
Stavba atomu a relativistická mechanika	2	65	6	1
Astronomie	0	31	11	0

Tabulka A.19: Přehled počtu úloh v kapitolách Stavba atomu a relativistická mechanika a Astronomie ve sbírce M. Kružíka [12]

A.4 Sbíрка úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ – Barták a kol.

V následujících tabulkách naleznete rozdělení témat ve sbírce F. Bartáka [20] na kapitoly. U každé podkapitoly je uveden celkový počet úloh, počet řešených úloh, počet obtížnějších úloh označených tečkou • a počet úloh určených pro seminář označených písmenem S.

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh			
		celkem	řešené	s •	s S
Úvod		11	3	0	0
2.1 Kinematika		53	5	4	6
2.2 Dynamika		58	6	17	1
2.3 Mechanická práce a energie	Mechanická práce	12	3	2	0
	Mechanická energie	19	2	6	1
	Výkon	8	2	1	1
	Účinnost	4	1	1	0
2.4 Gravitační pole		37	2	8	1
2.5 Mechanika tuhého tělesa		47	4	11	3
2.6 Mechanika tekutin		44	2	6	0

Tabulka A.20: Rozdělení úvodu a mechaniky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

Kapitola	Počet úloh			
	celkem	řešené	s •	s S
3.1 Základní poznatky	20	2	2	5
3.2 Přenos vnitřní energie	22	1	4	3
3.3 Plyny	44	0	6	14
3.4 Pevné látky	31	2	6	7
3.5 Kapaliny a páry	25	1	7	6

Tabulka A.21: Rozdělení molekulové fyziky a termodynamiky na jednotlivé kapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

Kapitola	Počet úloh			
	celkem	řešené	s •	s S
4.1 Mechanické kmitání	54	4	7	3
4.2 Mechanické vlnění	16	1	4	0
4.3 Akustika	27	3	3	3

Tabulka A.22: Rozdělení mechanického kmitání a vlnění na jednotlivé kapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh			
		celkem	řešené	s •	s S
5.1 Elektrické pole	Elektrický náboj	6	1	0	0
	Coulombův zákon	7	0	3	0
	Intenzita elektrického pole	7	2	3	0
	Elektrický potenciál a napětí	8	1	0	0
	Kapacita a kondenzátory	14	2	4	0
5.2 Elektrický proud v pevných látkách	Elektrický proud v kovech	7	0	1	0
	Odpor vodiče	17	2	1	1
	Ohmův zákon pro část obvodu	12	0	0	0
	Ohmův zákon pro celý obvod	23	3	3	0

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh			
		celkem	řešené	s •	s S
	Elektrické obvody	37	7	3	0
	Práce a výkon elektrického proudu	35	4	4	2
	Elektrický proud v polovodičích	17	0	1	0
5.3 El. proud v elektrolytech, v plynech a vakuu		15	3	0	0
	Elektrický proud v plynech a ve vakuu	9	1	0	1
5.4 Magnetické pole	magnetické pole proudu. Magnetická indukce.	15	1	1	2
	Vzájemné působení vodičů s proudem. Ampérův zákon	5	0	0	0
	Částice s nábojem v magnetickém poli	11	1	1	3
	Magnetické jevy v praxi	18	1	1	1
	Indukčnost vodiče	7	0	0	0
5.5 Střídavý proud. Elektromagnetické kmitání	Obvody střídavého proudu	29	2	2	0
	Efektivní hodnoty střídavého napětí a proudu. Výkon střídavého proudu	10	2	0	1
	Transformátor. Přenos elektrické energie	21	0	0	0
	Elektromagnetické kmitání	15	0	0	0

Tabulka A.23: Rozdělení elektřiny a magnetismu na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

Kapitola	Počet úloh			
	celkem	řešené	s •	s S
6.1 Světlo jako vlnění	57	6	10	6
6.2 Zobrazení zrcadlem a čočkou	63	10	15	14
6.3 Fotometrie	23	2	4	1
6.4 Kvantová optika	21	3	7	6

Tabulka A.24: Rozdělení optiky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

Kapitola	Počet úloh			
	celkem	řešené	s •	s S
7.1 Fyzika elektronového obalu	34	4	4	2
7.2. Fyzika atomového jádra	49	6	13	1

Tabulka A.25: Rozdělení fyziky elektronového obalu a atomového jádra na kapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

Kapitola	Počet úloh			
	celkem	řešené	s •	s S
8.1 Speciální teorie relativity	27	2	4	2
8.2 Astrofyzika	19	1	1	2

Tabulka A.26: Rozdělení tématu Závěr fyziky na kapitoly ve sbírce K. Bartáka [20]

A.5 Sbíрка řešených úloh z fyziky pro střední školy – Bartuška

V následujících tabulkách naleznete rozdělení témat ve sbírce K. Bartušky [21], [22], [9], [23] na kapitoly. U každé podkapitoly je uveden celkový počet úloh.

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh
1.1 Kinematika	Rovnoměrný přímočarý pohyb	6
	průměrná rychlost	3
	Rovnoměrný zrychlený pohyb	12
	Volný pád	5
	Rovnoměrně zpomalený pohyb	7
	Skládání pohybů a rychlostí	5
	Rovnoměrný pohyb po kružnici	8
1.2 Dynamika	Newtonovy pohybové zákony	21
	Třecí síla	8
	Hybnost. Zákon zachování hybnosti	8
	Dynamika rovnoměrného pohybu po kružnici	8
1.3 Práce, výkon a energie	Mechanická práce. Výkon a účinnost	7
	Mechanická energie	11
	Zákon zachování mechanické energie	7
1.4 Gravitační pole	Newtonův gravitační zákon	4
	pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země	9
	Pohyby v centrálním gravitačním poli Země a Slunce	4
1.5 Mechanika tuhého tělesa	Momenty sil. Skládání a rozklad sil	17
	Těžiště	5
	Kinetická energie tuhého tělesa	6
1.6 Mechanika kapalin a plynů	Tlak v kapalinách a plynech	9
	Archimedův zákon	10
	Hydrodynamika	8

Tabulka A.27: Rozdělení mechaniky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [21]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh	
2.1	Základní poznatky molekulové fyziky a termodynamiky	17	
2.2	Vnitřní energie, práce a teplo	Změna vnitřní energie konáním práce a tepelnou výměnou	18
		Výhřevnost paliva	4
		Kalorimetrická rovnice	8
		První termodynamický zákon	2
2.3	Struktura a vlastnosti plyn. skupenství látek	Kinetická teorie plynů	8
		Stavová rovnice pro ideální plyn	14
		Izotermický, izochorický a izobarický děj s ideálními plynem	14
		Stavové změny ideálního plynu z energetického hlediska	4
		Adiabatický děj s ideálním plynem	3
2.4	Práce plynu. Kruhový děj	Práce vykonaná plynem při stálém a proměnlivém tlaku	7
		Kruhový děj	3
		Účinnost kruhového děje. Druhý termodynamický zákon	7
2.5	Struktura a vlastnosti pevných látek	Krystalová mřížka	2
		Deformace pevného tělesa	8
		Teplotní roztažnost pevných těles	7
2.6	Struktura a vlastnosti kapalin	Povrchová síla a povrchové napětí	4
		Kapilární tlak. Kapilarita	4
		Teplotní a objemová roztažnost kapalin	3
2.7	Změny skupenství látek	Tání a tuhnutí	7
		Vypařování a kapalnění	6
		Vodní pára v atmosféře	2

Tabulka A.28: Rozdělení molekulové fyziky a termiky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [22]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh
3.1 Kmitání mechanického oscilátoru	Kinematika harmonického kmitavého pohybu	7
	Vztah pro periodu a frekvenci harmonického kmitavého pohybu	4
	Dynamika harmonického kmitavého pohybu	3
3.2 Mechanické vlnění	Postupné mechanické vlnění	7
	Zvukové vlnění	8

Tabulka A.29: Rozdělení mechanického kmitání a vlnění na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [22]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh
4.1 Elektrický náboj a elektrické pole	Elektrický náboj a Coulombův zákon	11
	Intenzita elektrického pole	12
	Práce v elektrickém poli. Elektrické napětí a potenciál	19
	Kapacita vodiče. Kondenzátor	16
	Energie kondenzátoru	3
4.2 Elektrický proud v kovech	Elektrický proud. Ohmův zákon pro část obvodu	6
	Model vedení elektrického proudu v kovovém vodiči	4
	Odpor kovového vodiče	3
	Závislost odporu kovového vodiče na teplotě	2
	Spojování rezistorů	9
	Ohmův zákon pro uzavřený obvod	9
	Ampérmetr a voltmetr	6
	Krichhoffovy zákony	3
	Elektrická práce a výkon	13
4.3 El. proud v polovodičích, v elektrolytech, v plynech a vakuu	Elektrický proud v polovodičích	4
	Elektrický proud v elektrolytech	8
	Elektrický proud v plynech	4
	Elektrický proud ve vakuu	3
4.4 Stacionární magnetické pole	Silové působení magnetického pole na vodič s proudem	5
	Magnetické pole vodičů s proudem	5
	Vzájemné silové působení rovnoběžných vodičů s proudem	2
	Částice s nábojem v magnetickém poli	6
4.5 Nestacionární magnetické pole	Elektromagnetická indukce	11
	Vlastní indukce	2
	Energie magnetického pole	2
4.6 Střídavý proud	Střídavé napětí. Obvod střídavého proudu s odporem	7
	Obvod střídavého proudu s indukčností	3
	Obvod střídavého proudu s kapacitou	4
	Složený obvod střídavého proudu Výkon střídavého proudu	7
	Střídavý proud v energetice	3
4.7 Elmag. kmitání a vlnění	Elektromagnetické kmitání	8
	Elektromagnetické vlnění	18

Tabulka A.30: Rozdělení elektřiny a magnetismu na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [9]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh
5.1 Paprsková optika	Odraz a lom světla	25
	Zrcadla	19
	Čočky	24
	Optické přístroje	17
5.2 Vlnová optika	Vlnová délka a frekvence světla	3
	Interference světla	10
	Ohyb světla	5
5.3 Fotometrie		11

Tabulka A.31: Rozdělení optiky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [23]

Kapitola	Podkapitola	Počet úloh
7.1 Základní pojmy kvantové fyziky	Foton	6
	Fotoelektrický jev	6
	Vlnové vlastnosti částic	2
7.2 Elektronový obal		7
7.3 Jaderná fyzika	Radioaktivita	4
	Jaderné reakce	2
	Jaderná energetika	3
	Fyzika částic	3

Tabulka A.32: Rozdělení fyziky mikrosvěta na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [23]

Téma	Kapitola	Podkapitola	Počet úloh
6 Speciální teorie relativity	6.1 Relativistická kinematika		7
	6.2 Relativistická dynamika		5
7 Astrofyzika	Astrofyzika		7

Tabulka A.33: Rozdělení speciální teorie relativity a astrofyziky na jednotlivé kapitoly a podkapitoly ve sbírce K. Bartušky [23]

A.6 Sbíрка úlohy z fyziky pro gymnázia – kolektiv autorů

V následujících tabulkách naleznete rozdělení témat ve sbírce pro gymnázia [25], [26] včetně celkového počtu úloh, počtu řešených a obtížných úloh.

Kapitola	Počet úloh		
	celkem	řešené	obtížné
1. Kinematika hmotného bodu	70	3	10
2. Dynamika přímočarých a křivočarých pohybů hmotného bodu a soustav hmotných bodů	51	6	7
3. Energie hmotných bodů	23	6	0
4. Mechanika tuhého tělesa	24	1	5
5. Mechanika kapalin a plynů	40	3	10
6. Gravitační pole	18	3	0
7. Pohyby v gravitačním poli	20	5	0
8. Elektrické pole	46	3	0

Tabulka A.34: Rozdělení učiva 1. ročníku ve sbírce [25]

Kapitola	Počet úloh		
	celkem	řešené	obtížné
Základní poznatky molekulové fyziky a termiky	42	4	0
1. Vnitřní energie, práce a teplo	39	3	4
2. Struktura a vlastnosti plynů	63	5	3
3. Kruhový děj s ideálním plynem	20	2	3
4. Struktura a vlastnosti pevných látek	40	3	3
5. Struktura a vlastnosti kapalin	20	1	2
6. Změny skupenství látek	13	2	0
7. Vznik elektrického proudu	11	0	0
8. Elektrický proud v kovech	67	3	5
9. Elektrický proud v polovodičích	28	1	0
10. Elektrický proud v elektrolytech	21	1	0
11. Elektrický proud v plynech a ve vakuu	18	1	0

Tabulka A.35: Rozdělení učiva 2. ročníku ve sbírce [25]

Kapitola	Počet úloh		
	celkem	řešené	obtížné
1. Stacionární magnetické pole	30	2	1
2. Nestacionární magnetické pole	25	4	4
3. Vlastní kmitání oscilátoru	90	12	11
4. Nucené kmitání oscilátoru	11	1	1
5. Střídavý proud	62	7	3
6. Střídavý proud v energetice	16	1	5
7. Mechanické vlnění	43	5	1
8. Elektromagnetické vlnění	31	3	5

Tabulka A.36: Rozdělení učiva 3. ročníku ve sbírce [26]

Kapitola	Počet úloh		
	celkem	řešené	obtížné
1. Optika	32	3	0
2. Optické soustavy	66	7	3
3. Vlnové vlastnosti světla	39	4	2
4. Elektromagnetické záření a jeho energie	21	3	1
5. Základy speciální teorie relativity	20	4	1
6. Základní pojmy kvantové fyziky	31	10	3
7. Elektronový obal atomu	29	12	10
8. Atomové jádro a elementární částice	35	4	4
9. Záření – zdroj informací o hvězdách a vesmíru	36	6	3
10. Zdroje energie, stavba a vývoj hvězd	23	4	2
11. Struktura a vývoj vesmíru	27	2	1
12. Fyzikální obraz světa	24	0	0

Tabulka A.37: Rozdělení učiva 4. ročníku ve sbírce [26]

A.7 Fyzika – sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky – Macháček

V následující tabulce naleznete rozdělení sbírky M. Macháčka [24] na jednotlivé kapitoly. U každé kapitoly je uveden celkový počet úloh, počet úloh s možnostmi (tzv. uzavřených úloh) a počet obtížných úloh.

Kapitola	Počet úloh		
	celkem	uzavřené	obtížné
Mechanika	71	24	2
Molekulová fyzika a termika	38	17	3
Mechanické kmitání a vlnění	19	7	1
Elektřina a magnetismus	60	35	1
Optika	17	10	0
Speciální teorie relativity	7	6	0
Fyzika mikrosvěta	20	13	1
Astronomie a astrofyzika	15	9	0

Tabulka A.38: Rozdělení sbírky M. Macháčka [24] na kapitoly

A.8 Fyzikální úlohy pro střední školy – Žák

V následující tabulce naleznete rozdělení sbírky úloh V. Žáka [27] na jednotlivá témata a kapitoly. U každé kapitoly je uveden celkový počet úloh, počet úloh typu A, který je stejný jako počet úloh typu B.

Téma	Kapitola	Počet úloh	
		celkem	typ A
Mechanika	1 Fyzikální veličiny a měření	18	9
	2 Kinematika hmotného bodu	18	9
	3 Dynamika hmotného bodu	18	9
	4 Mechanická práce, výkon, energie	18	9
	5 Gravitační pole a astrofyzika	10	5
	6 Mechanika tuhého tělesa	24	12
	7 Mechanika tekutin	18	9
Molekulová fyzika a termika	1 Základní poznatky z molekulové fyziky a termiky	8	4
	2 Vnitřní energie, práce, teplo	12	6
	3 Struktura a vlastnosti plynů, pevných látek a kapalin	32	16
	4 Změny skupenství látek	10	5
Kmitání a vlnění	1 Mechanické kmitání	16	8
	2 Mechanické vlnění	12	6
	3 Zvukové vlnění	6	3
Elektřina a magnetismus	1 Elektrický náboj a elektrické pole	12	6
	2 Elektrický proud v látkách	26	13
	3 Magnetické pole	22	11
	4 Střídavý proud	20	10
	5 Elektromagnetické kmitání a vlnění	12	6
Optika	1 Vlnové vlastnosti světla	16	8
	2 Zobrazování optickými soustavami	12	6
Speciální teorie relativity		10	5
Fyzika mikrosvěta	1 Základní poznatky kvantové fyziky	6	3
	2 Fyzika elektronového obalu	4	2
	3 Jaderná a částicová fyzika	18	9

Tabulka A.39: Rozdělení témat na kapitoly ve sbírce V. Žáka [27]

A.9 Fyzika v běžném životě – Nahodil

V následující tabulce naleznete rozdělení otázek do jednotlivých kapitol v knize J. Nahodila [28].

Kapitola	Počet otázek
Mechanika pohybu hmotného bodu	54
Energie, práce a výkon	17
Gravitační pole	16
Mechanika tuhá tělesa	35
Mechanika kapalin a plynů	72
Kinetická teorie látek	9
Vlastnosti plynů	21
Termika	38
Vlastnosti pevných látek	24
Vlastnosti kapalin	38
Změny skupenství látek	70
Mechanické kmitání a vlnění	51
Elektrostatika	24
Elektrický proud v kovech	20
Elektrický proud v různých látkách	27
Magnetické pole	21
Střídavý proud	15
Elektromagnetické kmitání a vlnění	26
Jevy spojené se šířením světla	51
Optické zobrazování	62
Elektromagnetické záření	24
Atomová fyzika	10

Tabulka A.40: Počet otázek u jednotlivých kapitol ve sbírce J. Nahodila [28]

Příloha B

Vytvořené úlohy

K diplomové práci je přiloženo jako ukázka 5 vytvořených úloh. Tyto úlohy jsou vytištěny přímo z elektronické sbírky, proto následující strany nejsou očíslovány a úlohy nejsou ideálně zobrazeny. Úlohy jsou uzpůsobeny pro čtení na monitoru, nikoli pro tisk.

Všechny úlohy vytvořené v rámci diplomové práce jsou dostupné na internetové adrese www.fyzikalniulohy.cz a na přiloženém CD.

Elektron v obrazovce osciloskopu

Elektron byl urychlen napětím 600 V. Pak vletne doprostřed mezi vychylovací destičky obrazovky. Desky jsou od sebe vzdáleny 4 mm a jejich délka je 16 mm.

Při jakém vychylovacím napětí by elektron dopadl na konec vychylovací desky?

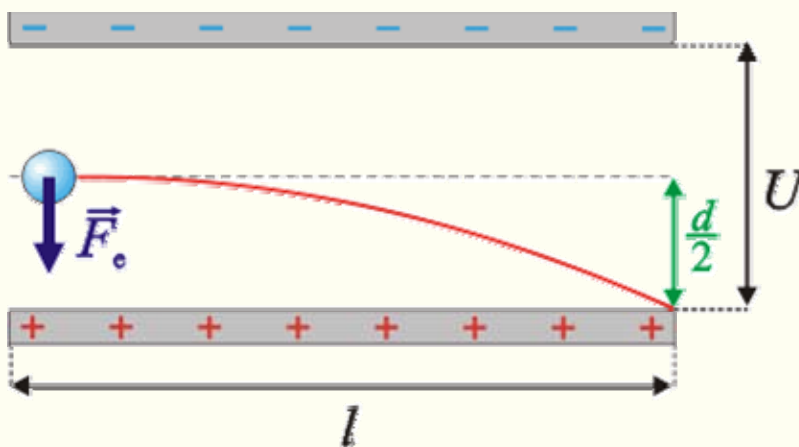
Nápověda 1

Nakreslete si obrázek celé situace. Jaká síla působí na elektron mezi deskami?

O jaký pohyb se jedná?

Obrázek

Červenou čarou je vyznačena trajektorie pohybu elektronu mezi vychylovacími deskami.



Pozn.: Tíhovou sílu při řešení úlohy zanedbáváme, protože v porovnání s elektrickou silou je velmi malá (viz komentář na konci úlohy).

► Nápověda: Vodorovný vrh

Na elektron působí směrem dolů konstantní síla, stejně jako působí tíhová síla na těleso při vodorovném vrhu. Trajektorie elektronu bude proto stejná jako při vodorovném vrhu. Pohyb můžeme tedy rozložit na dvě složky:

1. Rovnoměrný vodorovný pohyb, kdy elektron urazí dráhu l
2. Svislý rovnoměrně zrychlený pohyb, kdy elektron urazí dráhu $d/2$

Nápověda 2

Zrychlení elektronu můžeme vyjádřit z druhého Newtonova zákona, do kterého dosadíme elektrickou sílu. Ta je přímo úměrná intenzitě elektrického pole a náboji elektronu.

Nápověda 3

Při urychlování vykoná zdroj napětí práci a tím dodá elektronu kinetickou energii. Vykonaná práce závisí na napětí zdroje a náboji elektronu.

Rozbor

Při urychlování elektronu napětím U zdroj tohoto napětí vykoná práci a elektron tak získá kinetickou energii. Z této energie můžeme zjistit rychlost, kterou elektron vletne mezi vychylovací destičky.

Poté co vletne elektron mezi vychylovací desky, začne na něj kolmo na směr pohybu působit elektrická síla (viz obrázek). Situace je stejná jako když v gravitačním poli hodíme vodorovně například míček. Trajektorie elektronu bude tedy stejná jako při vodorovném vrhu, tj. bude jí parabola.

Pohyb elektronu můžeme rozdělit na dvě části:

1. Rovnoměrný pohyb ve vodorovném směru rychlostí, kterou elektron vletl mezi desky.
2. Rovnoměrně zrychlený pohyb ve svislém směru způsobený elektrickou silou.

Z vodorovného pohybu určíme, jak dlouho se bude elektron pohybovat než dopadne na konec desky. Tento čas dosadíme do vztahu pro dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu.

Ve vztahu pro dráhu ještě vystupuje zrychlení elektronu. To můžeme vyjádřit pomocí elektrické síly a druhého Newtonova zákona. Velikost elektrické síly je přímo úměrná intenzitě elektrického pole a náboji elektronu.

Intenzita elektrického pole roste s napětím na vychylovacích deskách a klesá s jejich vzdáleností.

Řešení: Rychlost, kterou elektron vletne mezi desky

Při urychlování elektronu napětím U zdroj tohoto napětí vykoná práci a tím dodá elektronu kinetickou energii. Zdroj, který elektron urychluje, vykoná práci

$$W = QU.$$

Protože urychlujeme elektron, můžeme dosadit velikost náboje tohoto elektronu

$$W = eU.$$

Vykonáním této práce získá elektron kinetickou energii

$$E_k = \frac{1}{2}mv_x^2,$$

kde m je hmotnost elektronu a v_x je jeho rychlost po urychlení (před tím, než vletne mezi vychylovací destičky).

Z těchto dvou vztahů vyjádříme rychlost v_x , kterou vletne elektron mezi desky.

$$E_k = W$$

$$\frac{1}{2}mv_x^2 = eU$$

$$v_x^2 = \frac{2eU}{m}$$

$$v_x = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

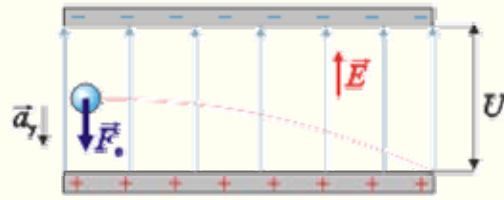
Řešení: Zrychlení elektronu ve svislém směru

Ve svislém směru na elektron působí elektrická síla F_e . Její velikost můžeme vyjádřit pomocí náboje elektronu a intenzity elektrického pole.

$$F_e = eE$$

Intenzita homogenního elektrického pole mezi nabitými deskami je rovna

$$E = \frac{U}{d}.$$



Elektrickou sílu tedy vyjádříme jako

$$F_e = \frac{eU}{d}. \quad (*)$$

Zrychlení, které způsobuje elektrická síla, vypočítáme z druhého Newtonova zákona.

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

Dosazením za elektrickou sílu ze vzorce (*) získáme vztah pro zrychlení

$$a_y = \frac{eU}{md}$$

$$a_y = \frac{eU}{md}$$

Řešení: Výpočet napětí mezi deskami

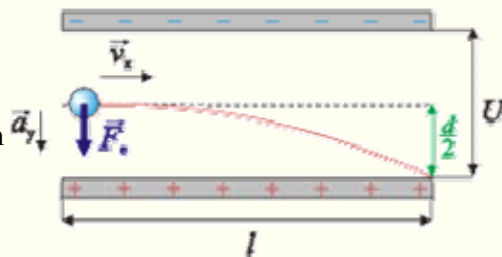
Jakmile vletne elektron mezi desky, začne na něj působit směrem dolů elektrická síla F_e .

Pohyb elektronu mezi deskami, můžeme rozdělit na dvě složky. Elektron letí vodorovně rovnoměrným pohybem rychlostí v_x a zároveň směrem dolů se pohybuje rovnoměrně zrychleně se zrychlením a_y .

Nyní si vyjádříme vzdálenost, kterou elektron urazí ve vodorovném a svislém směru.

Ve vodorovném směru přelétne elektron rovnoměrným pohybem celou desku o délce l

$$l = v_x t$$



Za stejný čas t elektron ve svislém směru přelétne rovnoměrně zrychleně polovinu vzdálenosti desek, tj. vzdálenost $d/2$

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2} a_y t^2$$

Z první rovnice vyjádříme čas t

$$t = \frac{l}{v_x}$$

a dosadíme do druhé rovnice

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2} a_y \frac{l^2}{v_x^2}.$$

Dosadíme za rychlost v_x a zrychlení a_y vztahy, které jsme si vyjádřili v předchozích oddílech.

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2} \frac{eU}{md} \frac{l^2}{\frac{2U_0 e^2}{m}}$$

Vzorec budeme postupně upravovat tak, abychom vyjádřili hledané napětí U .

$$d = \frac{U}{d} \frac{l^2}{2U_0}$$

$$U = \frac{2U_0 d^2}{l^2}$$

Pozn.: Pokud by bylo napětí U větší, byla by větší i elektrická síla a elektron by dopadl na destičku ještě před jejím koncem. Pokud by naopak bylo napětí menší, elektron by se sice od vodorovného směru odchýlil, ale ne dostatečně a mezi deskami prolétl.

Zápis a číselný výpočet

$$U_0 = 600 \text{ V}$$

$$d = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$l = 16 \text{ mm} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$U = ? \text{ (V)}$$

$$U = \frac{2U_0 d^2}{l^2} = \frac{2 \cdot 600 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{(1,6 \cdot 10^{-2})^2} \text{ V}$$

$$U = 75 \text{ V}$$

Odpověď

Aby elektron dopadl na konec vychylovací desky, musí být vychylovací napětí

$$U = \frac{2U_0 d^2}{l^2} = 75 \text{ V}.$$

Obrazovka televize

Vychylování paprsku elektronů pomocí vychylovacích destiček se využívá například v obrazovkách osciloskopů. Úhel, o který mohou destičky vychýlit elektron, je poměrně malý. Proto je obrazovka osciloskopu malá a dlouhá.

V klasických televizních obrazovkách je paprsek vychylován pomocí magnetického pole soustavy cívek (princip je totožný jako vychýlení α částic v úloze [Urychlená \$\alpha\$ částice](#)).

(*Pozn.:* Plazmové a LCD obrazovky fungují na jiném principu.)

Porovnání elektrické a tíhové síly

Velikosti sil vypočítáme ze vztahů:

$$F_e = \frac{eU}{d}$$

$$F^t = mg.$$

Dosadíme číselné hodnoty veličin.

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

$$U = 75 \text{ V}$$

$$d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

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

Dostaneme

$$F_e = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 75}{4 \cdot 10^{-3}} \text{ N} = 3 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

$$F = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10 \text{ N} = 9,1 \cdot 10^{-30} \text{ N}$$

V této úloze je tíhová síla oproti elektrické síle menší o patnáct řádů, proto ji můžeme zanedbat.

Pokud bychom tíhovou sílu nemohli nebo nechtěli zanedbat, počítali bychom s tím, že ve svislém směru působí na elektron konstantní síla o velikosti $F_e + F_G$. Úloha by tedy nebyla o mnoho komplikovanější.

Intenzita elektrického pole čtyř nábojů

Čtyři náboje o velikostech

$$Q_1 = 5Q,$$

$$Q_2 = 5Q,$$

$$Q_3 = 3Q$$

$$Q_4 = -12Q$$

jsou uspořádány podle obrázku. Určete intenzitu elektrického pole v bodě P.

Pozn.: Na obrázku je schematicky znázorněna velikost nábojů.

Nápověda: Výpočet celkové intenzity

Celkovou intenzitu získáme vektorovým součtem intenzit od jednotlivých nábojů.

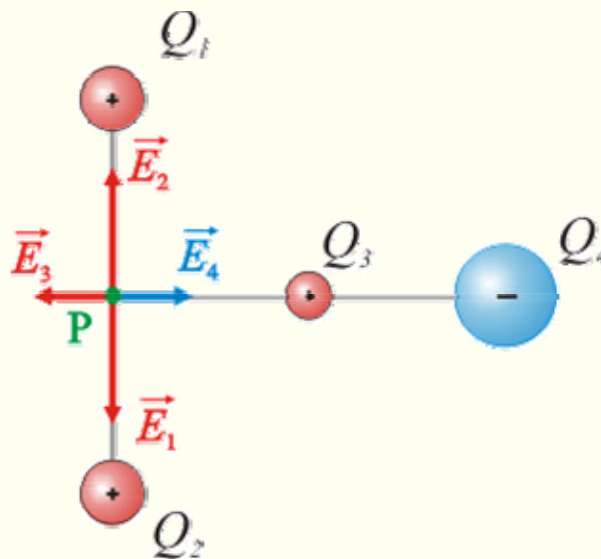
Nápověda: Směr a velikost intenzity od jednoho náboje

Elektrická intenzita má stejný **směr** jako síla, která by v daném místě působila na kladný náboj.

Velikost elektrické intenzity v daném bodě je přímo úměrná velikosti náboje, který pole vytváří, a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti od tohoto náboje.

Obrázek

Do obrázku zakreslíme směry vektorů elektrických intenzit od jednotlivých nábojů. Vektory elektrické intenzity kladných nábojů míří od náboje, elektrická intenzita záporného náboje míří k náboji.



Rozbor

Směr elektrické intenzity je stejný jako směr elektrické síly, která by v bodě P působila na kladný náboj. V případě kladných nábojů míří tedy elektrická intenzita směrem od náboje, v případě záporného naopak směrem k náboji.

Velikost elektrické intenzity od jednoho náboje je přímo úměrná velikosti náboje, který pole vytváří, a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti náboje.

Celková elektrická intenzita ve bodě P je dána vektorovým součtem elektrických intenzit od jednotlivých nábojů.

Řešení úvahou

Celkovou intenzitu v bodě P získáme vektorovým součtem intenzit od jednotlivých nábojů.

Nejdříve se zaměříme na elektrickou intenzitu pole, které v bodě P vytváří první a druhý náboj. Náboje jsou stejně velké a stejně vzdálené od bodu P. Vektory elektrických intenzity od těchto nábojů budou mít tedy stejnou velikost. Oba náboje jsou kladné a jsou na opačných stranách od bodu P. Vektory intenzit budou mít tedy opačný směr, a proto se odečtou.

Zbývají vektory elektrických intenzit od třetího a čtvrtého náboje. Vzdálenost náboje Q_4 od bodu P je dvakrát větší než vzdálenost náboje Q_3 . Vektor elektrické intenzity od tohoto náboje by měl být tedy čtyřikrát menší, ale velikost náboje Q_4 je čtyřikrát větší. Oba tyto faktory se vyruší, a proto budou oba vektory elektrické intenzity stejně velké.

Třetí náboj je kladný, vektor intenzity bude tedy směřovat od náboje (tj. z bodu P doleva). Čtvrtý náboj je záporný, intenzita bude tedy mířit k němu (tj. z bodu P doprava). Vektory intenzity jsou stejně velké a mají opačný, a proto se také odečtou.

Celková intenzita v bodě P je tedy rovna nule.

Řešení výpočtem

Celkovou intenzitu v bodě P získáme vektorovým součtem intenzit od jednotlivých nábojů (viz obrázek).

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

Velikosti vektorů intenzit od jednotlivých nábojů vypočítáme ze vzorce:

$$E = k \frac{Q}{r^2},$$

kde Q je velikost daného náboje a r jeho vzdálenost od bodu P.

Náboje Q_1 a Q_2 mají stejnou velikost $5Q$ a oba mají od bodu P vzdálenost d , vektory intenzity \vec{E}_1 a \vec{E}_2 jsou tedy stejně velké.

$$E_1 = E_2 = k \frac{5Q}{d^2}$$

Na obrázku vidíme, že vektory mají opačný směr. Vektorový součet \vec{E}_1 a \vec{E}_2 je tedy roven nule.

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$$

Nyní vypočteme velikosti intenzit \vec{E}_3 a \vec{E}_4 .

$$E_3 = k \frac{3Q}{d^2}$$

$$E_4 = k \frac{12Q}{(2d)^2} = k \frac{12Q}{4d^2} = k \frac{3Q}{d^2}$$

Vektory intenzity \vec{E}_3 a \vec{E}_4 jsou opět stejně velké a mají opačný směr (viz obrázek), proto je jejich vektorový součet také roven nule.

$$\vec{E}_3 + \vec{E}_4 = 0$$

Celková elektrická intenzita v bodě P je tedy nulová.

Odpověď

Intenzita elektrického pole v bodě P je rovna nule.

Dvojice rovnoběžných nabitých desek

Dvojice rovnoběžných rovin, jejichž vzdálenost je d , je nabitá nábojem se stejně velkou plošnou hustotou σ .

Určete průběh intenzity elektrického pole těchto rovin.

Určete potenciál elektrického pole těchto rovin.

Pozn.: Desky mohou být nabitы nábojem stejného nebo opačného znaménka. Řešte oba případy.

Nápověda 1: Pomocná úloha

Zkuste nejprve vyřešit úlohu [Pole rovnoměrně nabitě roviny](#) a využijte výsledků a grafů této úlohy.

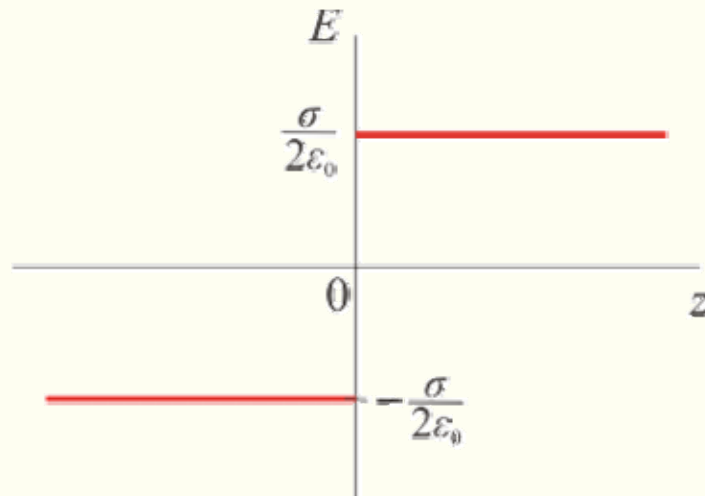
► Řešení nápovědy: Pole nabitě roviny

Nabitá nekonečná rovina kolem sebe vytváří homogenní pole o intenzitě

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

Pro kladně nabitou desku míří vektor intenzity směrem od desky, pro záporně nabitou desku směrem k desce.

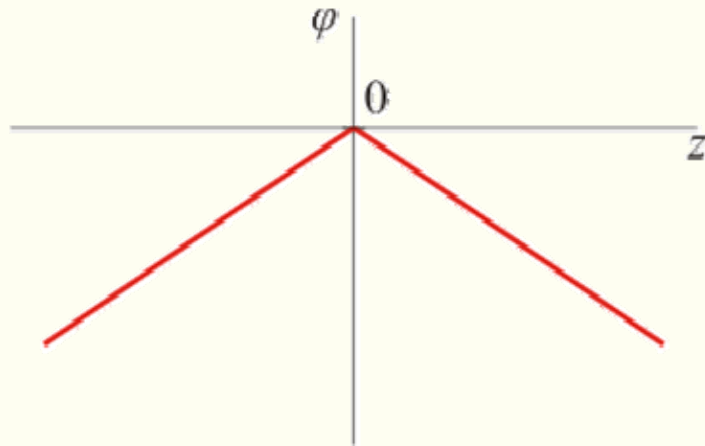
Zakreslení intenzity do grafu:



Potenciál elektrického pole nabitě desky volíme roven nule na desce. Se vzdáleností od desky na obě strany potenciál lineárně klesá.

$$\varphi = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} |z|$$

Zakreslení potenciálu do grafu:



Nápověda 2

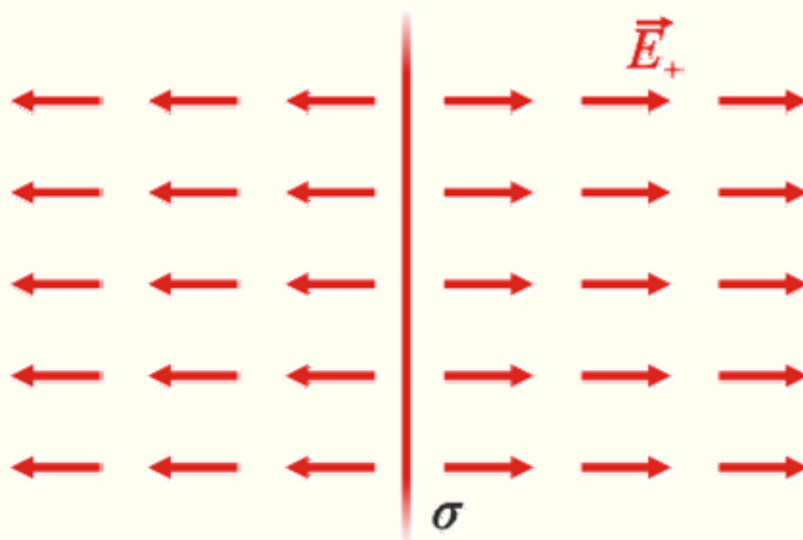
Jestliže víme, jak vypadá pole v okolí nabité roviny, můžeme s využitím principu superpozice jejich sečtením zjistit, jak vypadá pole dvou rovnoběžných rovin.

Nakreslete si obrázek.

► Řešení nápovědy

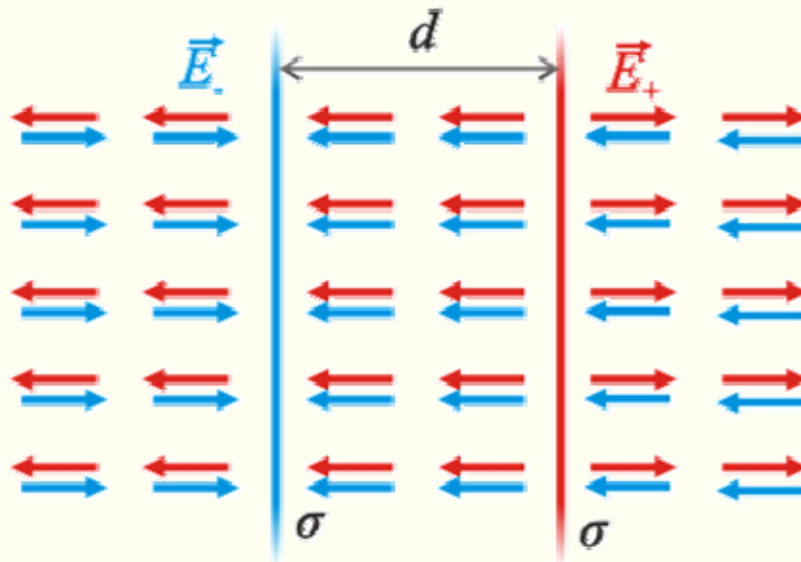
Nabitá nekonečná rovina kolem sebe vytváří homogenní pole o intenzitě

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$



Pokud je deska nabitá záporným nábojem, změní se pouze směr vektorů intenzity.

Nakreslíme jak vypadá elektrické pole, jestliže jsou desky dvě.



Nyní využijeme principu superpozice a sečtením obou intenzit získáme celkovou intenzitu.

Řešení: Roviny nabité opačnými náboji

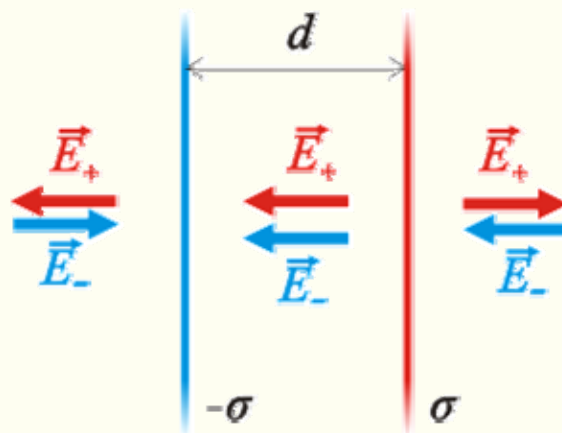
Nejprve budeme uvažovat, že jedna deska je nabitá kladným nábojem, a druhá záporným.

Využijeme výsledek úlohy [Pole rovnoměrně nabitých roviny](#), ve které jsme zjistili, že jedna nabitá rovina kolem sebe vytváří homogenní pole s intenzitou

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Pokud je rovina nabitá kladným nábojem, míří vektor elektrické intenzity ve všech místech od desky. Pokud je rovina nabitá záporným nábojem, míří vektor k rovině. Protože obě desky jsou nabitý se stejnou nábojovou hustotou, mají intenzity od obou desek stejnou velikost.

Nakreslíme obrázek naší situace a zakreslíme vektory elektrických intenzit od každé roviny (podrobnější obrázek je uveden v řešení druhé nápovědy).

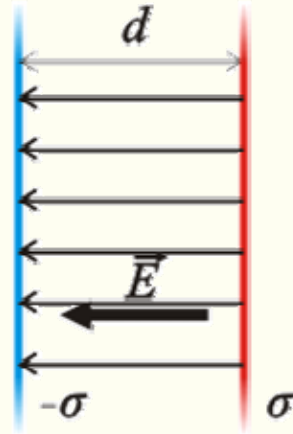


Vně desek míří vektory elektrických intenzit opačným směrem, elektrické pole se zde tedy ruší a intenzita je rovna nule. Mezi deskami míří vektory stejným

směrem, výsledná intenzita bude tedy dvojnásobná.

Máme-li dvě rovnoběžné desky nabitě opačným nábojem, vzniká mezi nimi homogenní elektrické pole o intenzitě

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$

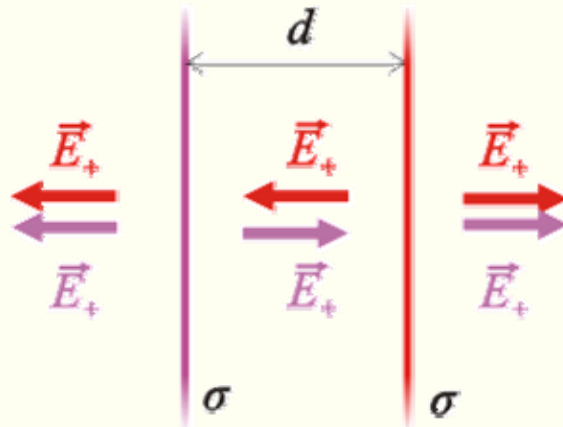


Tohoto uspořádání využíváme při konstrukci kondenzátorů.

Řešení: Roviny nabitě stejnými náboji

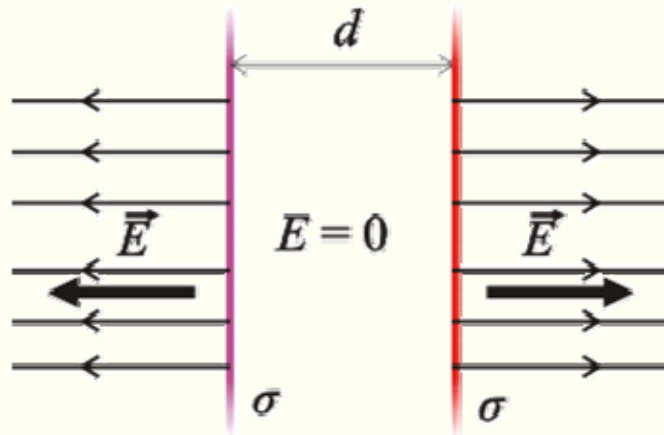
Nyní uvažujeme, že jsou obě desky nabitý nábojem stejného znaménka například kladným nábojem. (Pozn.: Pro záporný náboj by vektor elektrické intenzity měl pouze opačný směr.)

Opět využijeme výsledek úlohy [Pole rovnoměrně nabitě roviny](#) a nakreslíme si obrázek.



Tentokrát je situace opačná, než v případě desek nabitých opačným nábojem. Mezi deskami mají vektory intenzit opačný směr, a proto se zde elektrické pole ruší. Vně desek mají intenzity stejný směr, vzniká tedy homogenní elektrické pole s intenzitou

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$



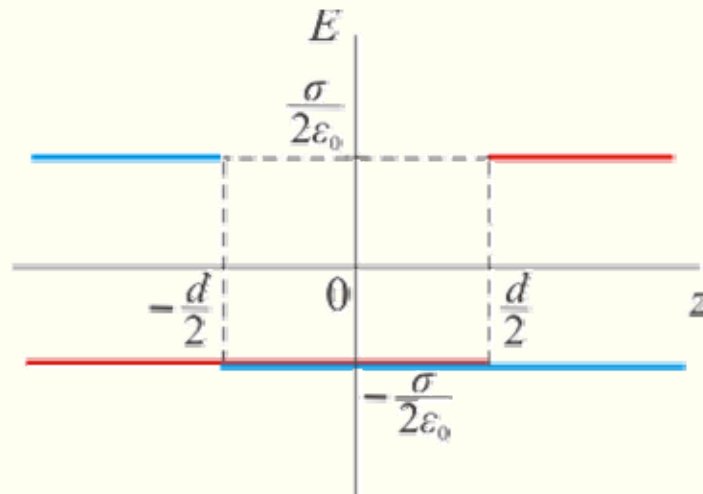
Řešení: Intenzita graficky – opačně nabité roviny

V tomto oddíle určíme průběh intenzity pole dvou desek pomocí grafů.

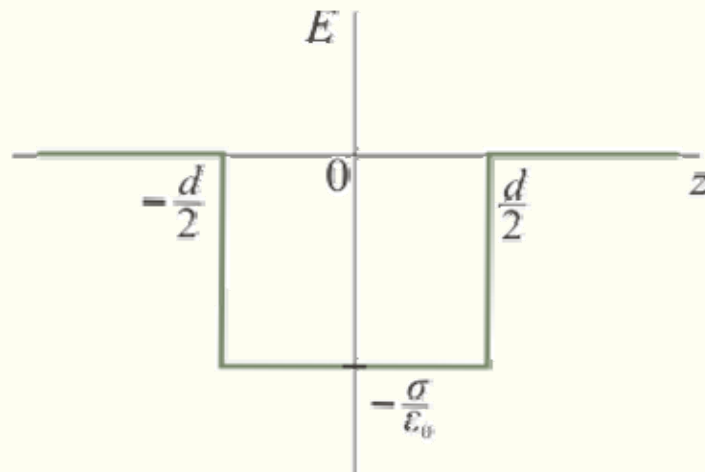
Nejdříve zakreslíme do jednoho grafu průběh intenzity elektrického pole pro každou desku zvlášť. Využijeme přitom grafu z úlohy [Pole rovnoměrně nabitě roviny](#)

Pro kladně nabitou desku, je grafem po částech konstantní funkce, která v místě desky, tj. v bodě $z = d/2$, mění znaménko. Na kladné části osy z je kladná a na většině záporné části je záporná (průběh je zakreslen červeně).

Pro záporně nabitou desku, mění po částech konstantní funkce znaménko v bodě $z = -d/2$. Díky opačnému znaménku je oproti předchozí situaci na většině kladné osy z záporná a na záporné části osy kladná (zakresleno modře).



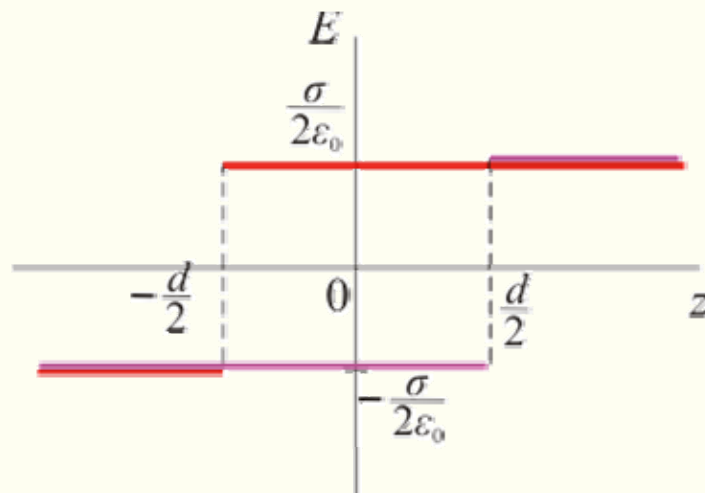
Nyní funkce na jednotlivých intervalech sečteme. Mezi deskami mají obě konstantní funkce hodnotu $-\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. Jejich sečtením vznikne konstantní funkce s dvojnásobnou hodnotou. Vně desek mají konstantní funkce pro obě desky opačné znaménko, sečtením dostaneme tedy nulovou funkci.



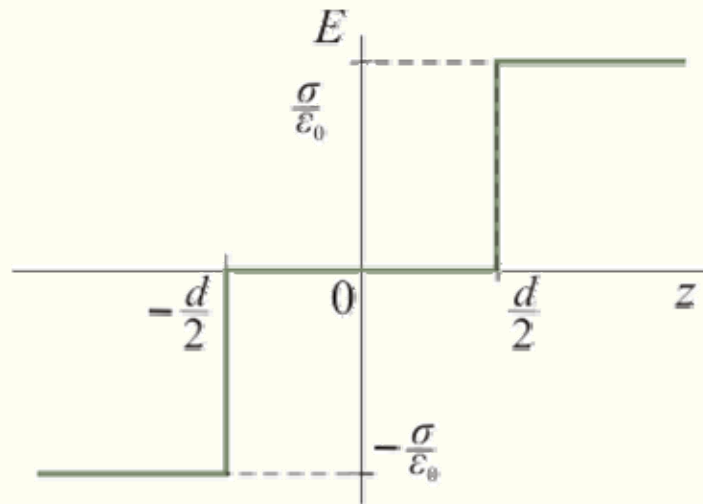
Řešení: Intenzita graficky – kladně nabitě roviny

V tomto oddíle určíme průběh intenzity pomocí grafů pro desky nabitě nábojem se stejným znaménkem. Budeme uvažovat náboj kladný.

Postup bude úplně stejný jako pro opačně nabitě desky v předchozím oddíle. Nejdříve zakreslíme do jednoho grafu průběh intenzity pro elektrického pole pro každou desku zvlášť. Využijeme přitom graf z úlohy [Pole rovnoměrně nabitě roviny](#)



Mezi deskami, tedy na intervalu $\langle -d/2; d/2 \rangle$, mají konstantní funkce opačné znaménko. Sečtením nám tedy vznikne nulová funkce. Na zbylých intervalech mají obě konstantní funkce vždy stejné znaménko i hodnotu. Jejich sečtením vznikne opět konstantní funkce ale s dvojnásobnou hodnotou, která bude buď kladná, pokud jsme sčítali kladné funkce, nebo záporná tam, kde jsme sčítali záporné funkce.



Řešení: Potenciál graficky – opačně nabitě roviny

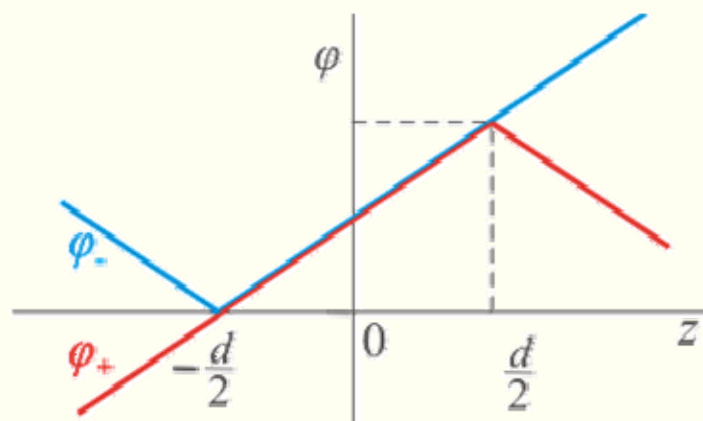
Nyní nakreslíme grafy pro potenciál. Nejdříve opět do jednoho grafu pro obě desky zvlášť. Grafy upravíme tak, aby obě funkce měly nulový potenciál ve stejném místě, například na záporně nabitě desce.

Pro záporně nabitou desku je potenciál roven nule na desce. Funkce nejdříve lineárně klesá a poté lineárně roste. V grafu je funkce zakreslena modře.

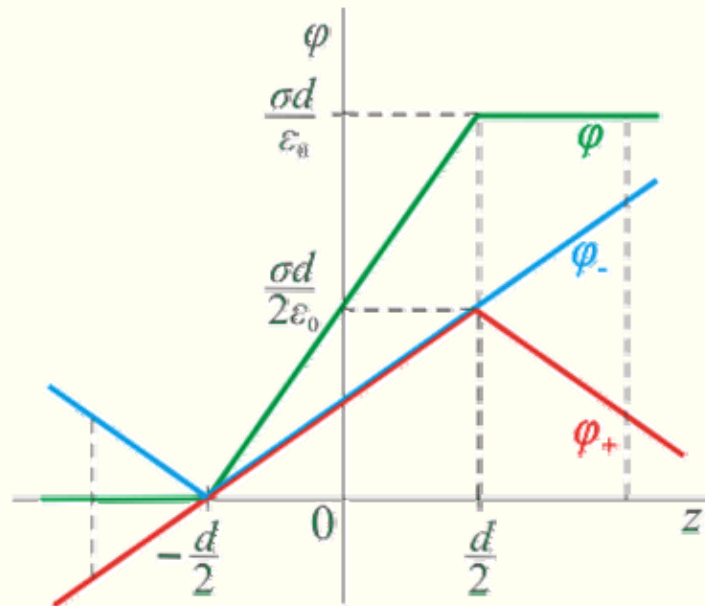
$$\varphi_-(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z + \frac{d}{2} \right|$$

Pro kladně nabitou desku potenciál nejdříve lineárně roste a poté lineárně klesá. Aby byl potenciál roven nule v místě záporné desky, musíme celý graf funkce posunout nahoru tak, aby přímka protínala osu z v bodě $-d/2$. V grafu je funkce zakreslena červeně.

$$\varphi_+(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z - \frac{d}{2} \right| + \frac{\sigma d}{2\epsilon_0}$$



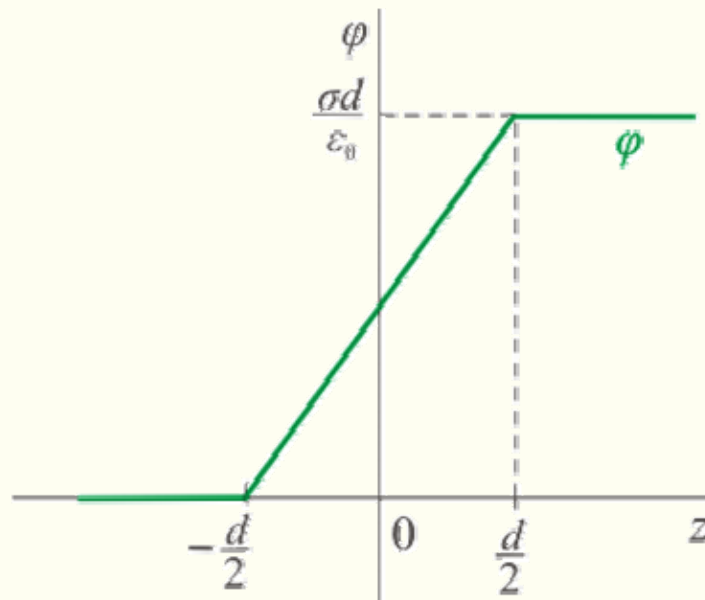
Na následujícím obrázku je zeleně zakreslena výsledná funkce, která vznikne sečtením obou potenciálů.



Na intervalu mezi deskami budeme sčítat dvě lineární funkce, které mají stejnou směrnici. Výsledkem bude opět lineární funkce, která bude mít směrnici dvojnásobnou (tzn. bude „růst“ rychleji).

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right)$$

Vně desek mají lineární funkce pro jednotlivé desky stejné velké směrnice, ale opačného znaménka, po jejich sečtení nám vyjde konstantní funkce, která je pro záporná z rovna nule a pro kladná z má hodnotu $\frac{\sigma d}{\epsilon_0}$.



Zkusme určit potenciál i algebraickým sečtením obou funkcí.

$$\varphi(z) = \varphi_{-}(z) + \varphi_{+}(z)$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z + \frac{d}{2} \right| - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z - \frac{d}{2} \right| + \frac{\sigma d}{2\epsilon_0}$$

Výpočet provedeme postupně pro všechny tři části prostoru, v každé si musíme rozmyslet, jaká znaménka mají výrazy v absolutní hodnotě ve vyjádření obou

potenciálů.

1) **Vpravo od desek**, tj. pro $z > d/2$:

Oba výrazy v absolutních hodnotách jsou kladné, dostáváme tedy:

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right) - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right) + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} - z + \frac{d}{2} + d \right)$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d$$

2) **Mezi deskami**, tj. pro $-d/2 < z < d/2$:

Výraz v první absolutní hodnotě je kladný, ve druhé záporný, dostáváme tedy:

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right) - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[- \left(z - \frac{d}{2} \right) \right] + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} + z - \frac{d}{2} + d \right)$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right)$$

2) **Vlevo od desek**, tj. pro $z < -d/2$:

Výrazy v obou absolutních hodnotách jsou záporné, dostáváme tedy:

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[- \left(z + \frac{d}{2} \right) \right] - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[- \left(z - \frac{d}{2} \right) \right] + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(-z - \frac{d}{2} + z - \frac{d}{2} + d \right)$$

$$\varphi(z) = 0$$

Vidíme, že nám potenciál vyšel stejně jako grafickým sčítáním grafů obou funkcí.

Spočteme ještě napětí mezi rovinami, které je rovno rozdílu potenciálů na obou rovinách.

$$U = \varphi\left(\frac{d}{2}\right) - \varphi\left(-\frac{d}{2}\right) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d - 0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d = \mathcal{E}d$$

Tento vztah známe z úloh, které se týkají deskového kondenzátoru.

Řešení: Potenciál graficky – kladně nabitě roviny

Budeme postupovat podobně jako v předchozím oddílu.

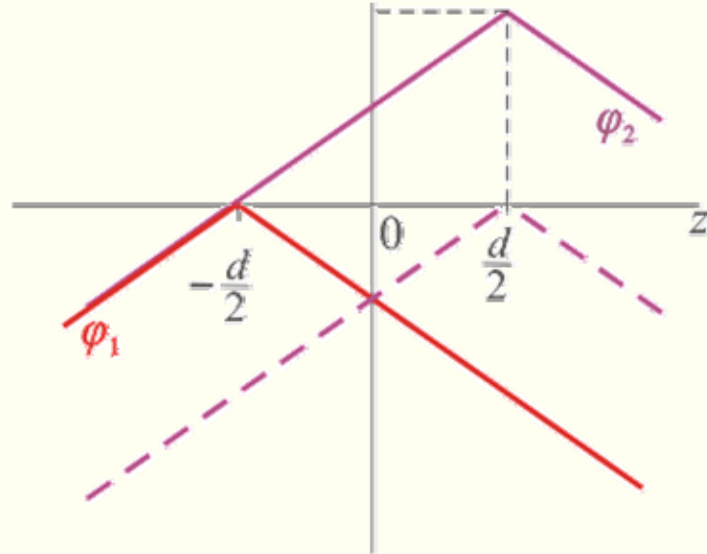
Nejdříve zakreslíme do grafu potenciál pro jednotlivé desky. Protože jsou obě desky nabitý stejným nábojem, mají také stejný průběh potenciálu. Grafy jsou akorát různě posunuté ve svislém směru, aby obě funkce měly nulový potenciál ve stejném místě. Nejdříve potenciál lineárně roste. Na desce je potenciál maximální a poté lineárně klesá.

$$\varphi_1(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z + \frac{d}{2} \right|$$

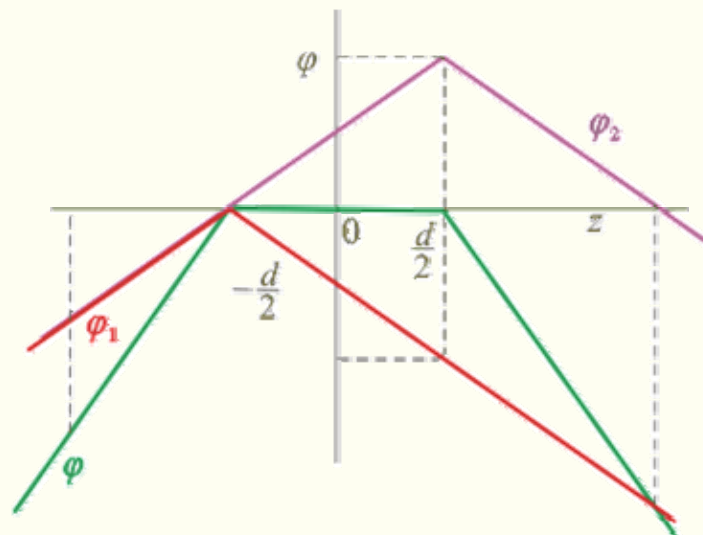
Graf pro druhou desku musíme posunout nahoru tak, aby protínal osu z v bodě

$-d/2$

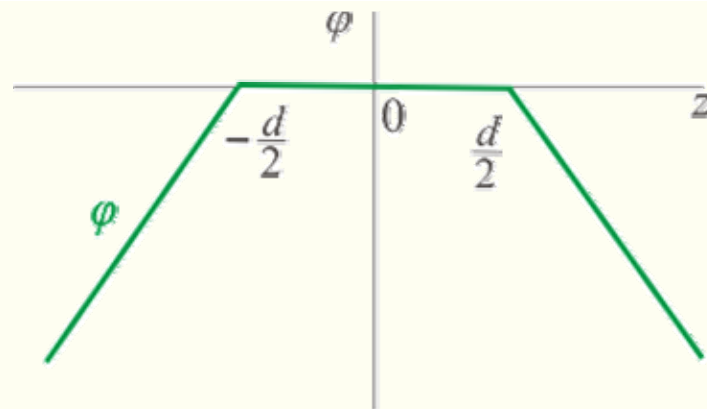
$$\varphi_2(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z - \frac{d}{2} \right| + \frac{\sigma d}{2\epsilon_0}$$



Na následujícím obrázku je zeleně zakreslena výsledná funkce, která vznikne sečtením potenciálů.



Mezi deskami (tedy na intervalu $\langle -d/2; d/2 \rangle$) sčítáme dvě lineární funkce, které mají stejné směrnice opačného znaménka. Výsledkem je konstantní funkce. Na ostatních intervalech sčítáme vždy dvě lineární funkce, které mají stejnou směrnici. Jejich složením vznikne opět lineární funkce, která má ale dvojnásobnou směrnici.



Pokud chceme nulový potenciál jinde než na levé desce, stačí celý graf posunout ve svislém směru.

Zkusme určit potenciál i algebraickým sečtením obou funkcí.

$$\varphi(z) = \varphi_1(z) + \varphi_2(z)$$

$$\varphi(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z + \frac{d}{2} \right| + -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left| z - \frac{d}{2} \right| + \frac{\sigma d}{2\epsilon_0}$$

Výpočet provedeme postupně pro všechny tři části prostoru, v každé si musíme rozmyslet, jaká znaménka mají výrazy v absolutních hodnotách.

1) Vpravo od desek, tj. pro $z > d/2$:

Oba výrazy v absolutních hodnotách jsou kladné, dostáváme tedy:

$$\varphi(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right) - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right) + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(-z - \frac{d}{2} - z + \frac{d}{2} + d \right)$$

$$\varphi(z) = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right)$$

2) Mezi deskami, tj. pro $-d/2 < z < d/2$:

Výraz v první absolutní hodnotě je kladný, ve druhé záporný, dostáváme tedy:

$$\varphi(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right) - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[-\left(z - \frac{d}{2} \right) \right] + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(-z - \frac{d}{2} + z - \frac{d}{2} + d \right)$$

$$\varphi(z) = 0$$

2) Vlevo od desek, tj. pro $z < -d/2$:

Výrazy v obou absolutních hodnotách jsou záporné, dostáváme tedy:

$$\varphi(z) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[-\left(z + \frac{d}{2} \right) \right] - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[-\left(z - \frac{d}{2} \right) \right] + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} + z - \frac{d}{2} + d \right)$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right)$$

Vidíme, že nám potenciál vyšel stejně jako grafickým sčítáním grafů obou funkcí.

Řešení: Potenciál integrováním, intenzita derivací

Pokud známe průběh intenzity E , můžeme potenciál φ vypočítat také pomocí integrálu. Velikost potenciálu je rovna integrálu z intenzity.

$$\varphi = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{z}$$

kde A je místo s nulovým potenciálem a B je místo, kde potenciál zjišťujeme.

Na druhou stranu pokud známe průběh potenciálu φ v prostoru, můžeme intenzitu E určit pomocí gradientu, tj. pomocí derivací. Pro intenzitu E platí

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi,$$

což pro jednotlivé složky intenzity dává

$$E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}.$$

Opačně nabitě desky – integrací od intenzity k potenciálu

Nulový potenciál zvolíme na záporné desce.

Nalevo od této desky je intenzita rovna nule, proto bude i potenciál stále roven nule. („Integrujeme-li nulu, vyjde nám opět nula.“)

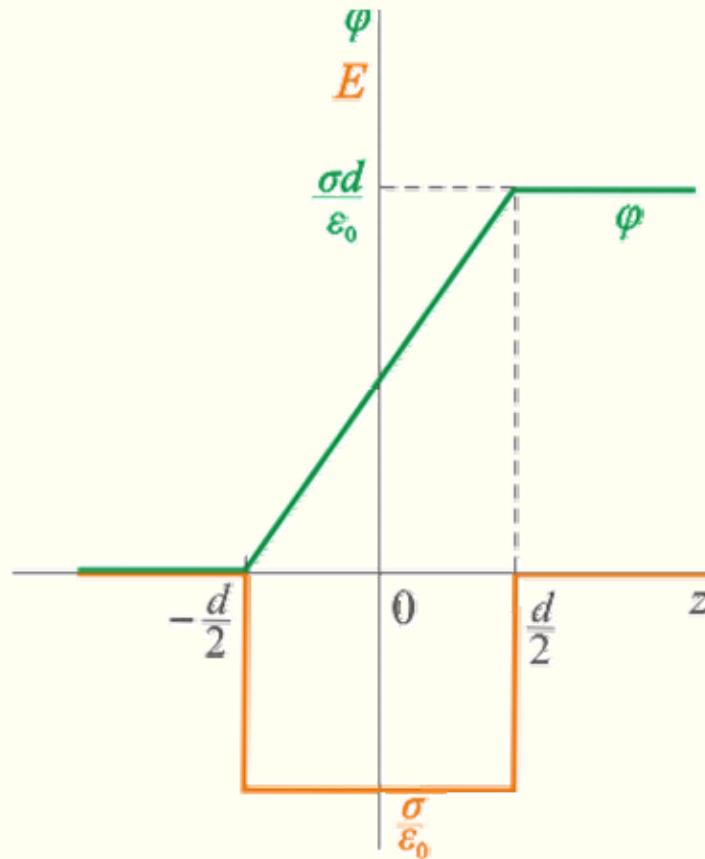
Napravo od záporně nabitě desky (tzn. mezi deskami) je intenzita konstantní a rovna $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$. Integrujeme-li konstantní funkci, vyjde nám funkce lineární, která bude mít směrnici rovnou této konstantě. Potenciál bude tedy lineárně růst od nuly (na záporně nabitě desce) až po hodnotu $\frac{\sigma}{\epsilon_0}d$ v bodě $\frac{d}{2}$ (na kladně nabitě desce).

$$\varphi(z) = - \int_{-\frac{d}{2}}^z E \, dz = - \int_{-\frac{d}{2}}^z -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \, dz = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \int_{-\frac{d}{2}}^z dz = \frac{\sigma}{\epsilon_0} [z]_{-\frac{d}{2}}^z$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right)$$

Za kladnou deskou je intenzita opět rovna nule, a proto potenciál už dále růst nebude a bude stejný jako na kladně nabitě desce.

Na následujícím obrázku je vše zakresleno do grafu.



Opačně nabité desky – derivováním od potenciálu k intenzitě

Nejprve si všimneme, že potenciál závisí pouze na souřadnici z, tj. intenzita bude mít nenulovou pouze z-ovou složku.

V prostoru mimo desky je potenciál konstantní, proto jeho derivace bude nulová, tj. i intenzita v těchto místech bude nulová (viz obrázek výše). Mezi deskami dostáváme

$$E_z = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right) \right) = -\frac{\partial}{\partial z} \frac{\sigma z}{\epsilon_0} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{\sigma d}{\epsilon_0 2}$$

$$E_z = -\frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Kladně nabitá deska – integrací od intenzity k potenciálu

Pro kladně nabitou desku budeme postupovat podobně.

Nulový potenciál zvolíme na levé desce. Napravo od této desky (tzn. mezi deskami) je intenzita rovna nule, a proto se ani potenciál nebude měnit a bude zde roven nule. Vně desek je intenzita konstantní a je rovna $\pm \frac{\sigma}{\epsilon_0}$, potenciál bude tedy směrem od desek lineárně klesat se směrnici rovnou této konstantě.

Pro $z < -d/2$ tedy dostáváme:

$$\varphi(z) = -\int_{-\frac{d}{2}}^z E dz = -\int_{-\frac{d}{2}}^z -\frac{\sigma}{\epsilon_0} dz = \frac{\sigma}{\epsilon_0} [z]_{-\frac{d}{2}}^z$$

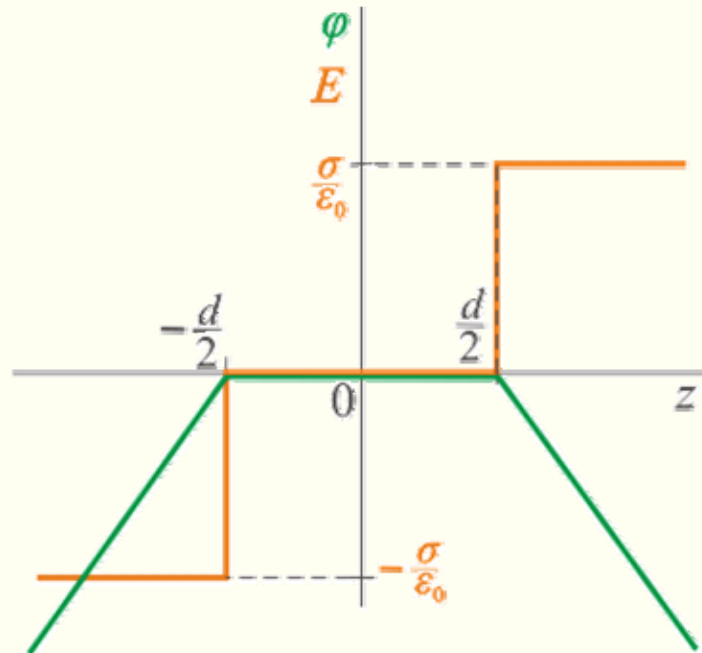
$$\varphi(z) = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right)$$

Pro $z > d/2$ dostáváme:

$$\varphi(z) = -\int_{-\frac{d}{2}}^z E \, dz = -\int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} 0 \, dz - \int_{\frac{d}{2}}^z \frac{\sigma}{\epsilon_0} \, dz = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left[z - \frac{d}{2} \right]$$

$$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right)$$

Na následujícím obrázku je opět vše zakresleno do grafu.



Kladně nabitě desky – derivováním od potenciálu k intenzitě

Potenciál opět závisí pouze na souřadnici z , tj. intenzita bude mít nenulovou pouze z -ovou složku.

V prostoru mezi deskami je potenciál konstantní, proto jeho derivace bude nulová, tj. i intenzita v těchto místech bude nulová (viz obrázek výše).

Nalevo od desek, tj. pro $z < -d/2$, dostáváme:

$$E_z = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right) \right) = -\frac{\partial}{\partial z} \frac{\sigma z}{\epsilon_0} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{\sigma d}{\epsilon_0 2}$$

$$E_z = -\frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Nalevo od desek, tj. pro $z > d/2$, dostáváme:

$$E_z = -\frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right) \right) = \frac{\partial}{\partial z} \frac{\sigma z}{\epsilon_0} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{\sigma d}{\epsilon_0 2}$$

$$E_z = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Odpověď

Opačně nabitě desky:

Vektor elektrické intenzity mezi rovinami míří od kladně nabitě roviny k záporně

nabité rovině a má velikost $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$. Vně rovin je intenzita elektrického pole rovna nule.

Potenciál mezi rovinami se vzdáleností od záporné lineárně roste.

$\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right)$. Vně rovin je pak potenciál konstantní a stejný jako na bližší rovině.

Tohoto uspořádání desek využíváme při konstrukci kondenzátorů.

Dvě kladně nabitě desky:

Intenzita mezi rovinami je rovna nule. Vektory intenzity vně rovin míří směrem od rovin. Jejich velikost je $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$.

Potenciál mezi deskami je konstantní a většinou ho volíme roven nule. Vně rovin potenciál se vzdáleností lineárně klesá.

Pro $z < -d/2$ (tj. vlevo od obou desek): $\varphi(z) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z + \frac{d}{2} \right)$

Pro $z > d/2$ (tj. vpravo od obou desek): $\varphi(z) = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \left(z - \frac{d}{2} \right)$

Pole rovnoměrně nabité koule

V kouli o poloměru R je rovnoměrně rozmístěn náboj s objemovou hustotou ρ .

a) Najděte intenzitu elektrického pole ve vzdálenosti z od středu koule.

b) Určete také elektrický potenciál koule ve vzdálenosti z .

Uvažujte pole uvnitř i vně koule tzn. najděte průběh elektrické intenzity a potenciálu pro z v intervalu „od nuly až do nekonečna“.

Nápověda: Intenzita elektrického pole

Jako Gaussovu plochu zvolíme povrch koule o poloměru z se středem ve středu nabité koule. V takovém případě je vektor elektrické intenzity ve všech místech kolmý na plochu a má stejnou velikost. (Viz oddíl Jak volit Gaussovu plochu?)

Úlohu rozdělíme na dvě části:

- Poloměr Gaussovy koule je větší než poloměr nabité koule.
- Poloměr Gaussovy koule je menší než poloměr nabité koule.

Nápověda: Elektrický potenciál

Potenciální energie je rovna záporně vzaté práci, kterou musí vykonat elektrická síla, aby přenesla náboj z místa s nulovou potenciální energií do daného místa.

$$E_p(z) = - \int_{\infty}^z \vec{F} \cdot d\vec{z}$$

Potenciál je potenciální energie vztažená na jednotkový náboj

$$\varphi = \frac{E_p}{Q}$$

Dosadíme integrál.

$$\varphi = - \int_{\infty}^z \frac{\vec{F}}{Q} \cdot d\vec{z}$$

Jestliže sílu vydělíme nábojem, získáme intenzitu elektrického pole.

$$\varphi = - \int_{\infty}^z \vec{E} \cdot d\vec{z}$$

Nápověda: Potenciál uvnitř koule

Pozor! Počítáme práci, kterou vykoná elektrická síla, když přenáší náboj z **nekonečna**. Do integrálu dosazujeme intenzitu elektrického pole, ta nemá vždy stejné vyjádření, ale musíme pro ni použít odlišné vzorce vně a uvnitř koule. Proto bude třeba integrál ve výrazu pro potenciál rozdělit na dvě části.

Rozbor

Úlohu si rozdělíme na dvě části. Budeme zkoumat zvlášť pole uvnitř nabité koule a zvlášť pole vně koule.

Vzhledem k symetrickému rozložení náboje je nejjednodušším způsobem nalezení **intenzity** elektrického pole v tomto případě využití Gaussovy věty. Gaussova věta vyjadřuje vztah mezi tokem elektrické intenzity uzavřenou plochou a celkovým nábojem, který se nachází uvnitř této plochy.

Vektory elektrické intenzity míří ve všech místech od středu koule směrem ven a jejich velikost závisí pouze na vzdálenosti od středu koule. Důvodem je symetrické rozložení náboje uvnitř koule. Může nám pomoci následující představa. Náboj je uvnitř koule rozložen symetricky, a proto nepoznáme žádný rozdíl, pokud kouli otočíme kolem libovolné osy jdoucí středem koule. Pole kolem koule musí zůstat stále stejné, a proto i vektory intenzity musím mít v daném místě při různých otočeních stále stejný směr a velikost.

Gaussovou plochou zvolíme kouli se středem ve středu nabitě koule. V tomto případě má vektor elektrické intenzity na celé této ploše stejnou velikost a je na ni kolmý. Tím se nám zjednoduší výpočet skalárního součinu, a tím i výpočet integrálu.

Počítáme-li intenzitu vně koule, bude mít Gaussova koule větší poloměr než nabitá koule. Uvnitř ní je tedy veškerý náboj rozložený v kouli, vyjádříme ho pomocí hustoty náboje a objemu nabitě koule.

Počítáme-li intenzitu uvnitř nabitě koule, bude Gaussova koule mít menší poloměr než nabitá koule. Pomocí hustoty náboje a objemu Gaussovy koule vyjádříme náboj, který je uzavřen uvnitř Gaussovy koule.

Potenciál elektrického pole vypočítáme z potenciální energie. Potenciální energie v daném bodě je rovna záporně vzaté práci, kterou vykonala elektrická síla, aby přenesla náboj z místa s nulovou potenciální energií do daného bodu. (Potenciální energii zvolíme nulovou v nekonečnu). Potenciál je potenciální energie vztažená na jednotkový náboj.

Při výpočtu potenciálu uvnitř nabitě koule musíme dát pozor, že intenzita elektrického pole nemá stejné vyjádření podél celé integrační cesty, ale je popsána jiným vztahem vně a uvnitř koule. Musíme tedy spočítat nejprve práci, která je třeba k přenesení na povrch nabitě koule, a poté práci potřebnou k přesunu náboje uvnitř koule.

Řešení: Intenzita vně koule

V tomto oddíle určíme intenzitu elektrického pole vně nabitě koule, tzn. pro $z > R$.

Využijeme Gaussovu větu:

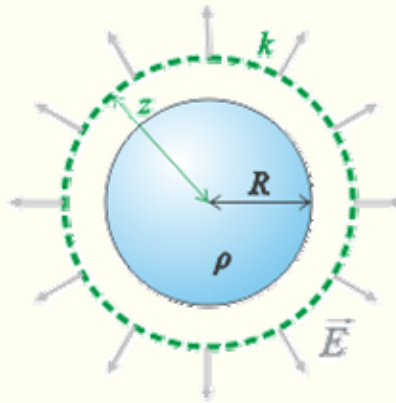
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{n} dS = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (*)$$

Náboj je v kouli rozložen symetricky, a proto je i elektrické pole v okolí koule symetrické. Vektor elektrické intenzity míří ve všech místech od středu koule (tj. je kolmý na povrch koule) a jeho velikost závisí pouze na vzdálenosti od středu koule.

Jako Gaussovou plochu zvolíme povrch koule, která má poloměr z a střed má ve středu nabitě koule. V tomto případě bude totiž vektor elektrické intenzity vždy

kolmý ke Gaussově ploše, a proto platí $\vec{E} \cdot \vec{n} = E n = E$ (pozn. \vec{n} je jednotkový vektor).



S využitím těchto poznatků si upravíme integrál na levé straně Gaussovy věty:

$$\oint_k \vec{E} \cdot \vec{n} dS = \oint_k E n dS = \oint_k E dS$$

Velikost vektoru elektrické intenzity E je ve všech místech zvolené plochy stejná, a proto ji můžeme vyjmout před integrál jako konstantu. Dostáváme tedy vztah

$$\oint_k \vec{E} \cdot \vec{n} dS = E \oint_k dS$$

Nyní vypočítáme integrál. Integrujeme-li dS přes povrch koule, získáme obsah povrchu této koule. (Pozn: Můžeme si to představit tak, že dS jsou obsahy malých kousků povrchu koule. Jestliže všechny tyto kousky sečteme, získáme celý povrch koule.) Integrál je tedy roven

$$\oint_k \vec{E} \cdot \vec{n} dS = E S_k$$

kde $S_k = 4\pi z^2$ je povrch Gaussovy koule.

$$\oint_k \vec{E} \cdot \vec{n} dS = E 4\pi z^2$$

Výsledný vztah dosadíme zpět do Gaussovy věty (*).

$$E 4\pi z^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Vyjádríme velikost intenzity.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{z^2} \quad (**)$$

Vzorec je stejný jako pro intenzitu elektrického pole v okolí bodového náboje. **Pole v okolí nabitě koule je tedy stejné jako pole v okolí bodového náboje.**

Zbývá už jen vyjádřit náboj Q uvnitř zvolené Gaussovy plochy pomocí zadaných veličin.

Uvnitř plochy je celá nabitá koule, náboj tedy můžeme vyjádřit pomocí jejího objemu V a objemové hustoty náboje ρ .

$$Q = V\rho = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$$

Dosadíme do vzorce (**) a upravíme.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\frac{4}{3}\pi R^3\rho}{z^2} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 z^2}$$

Ve vzdálenosti z má elektrické pole nabitě koule intenzitu:

$$E = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z^2}$$

Řešení: Intenzita uvnitř nabitě koule

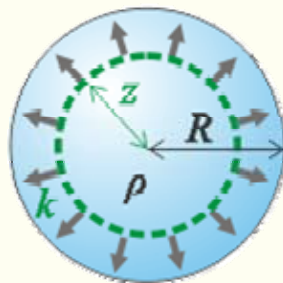
V tomto oddíle vyjádříme intenzitu elektrického pole uvnitř nabitě koule. Postup je velice podobný jako v předchozím oddíle: *Intenzita vně nabitě koule*, proto není komentován tak podrobně.

Elektrickou intenzitu vypočítáme pomocí Gaussovy věty:

$$\oint_k \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_1}{\epsilon_0}, \quad (*)$$

kde Q_1 je náboj uvnitř zvolené Gaussovy plochy.

Za Gaussovou plochu zvolíme povrch koule, která má střed ve středu nabitě koule a poloměr $z < R$.



Integrál na levé straně vypočítáme stejně jako v předchozím oddíle.

$$\oint_k \vec{E} \cdot \vec{n} dS = \frac{Q_1}{\epsilon_0},$$

Stejnými úvahami o symetrii jako v předchozím oddíle odvodíme, že vektor intenzity má na celé ploše stejnou velikost a je kolmý na Gaussovou plochu, proto platí:

$$\oint_k \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_k E n dS = \oint_k E dS = E \oint_k dS.$$

Integrál je roven povrchu Gaussovy koule.

$$\oint_k \vec{E} \cdot d\vec{S} = ES_k$$

$$\oint_k \vec{E} \cdot d\vec{S} = E 4\pi z^2$$

Výsledný vztah dosadíme zpět do Gaussovy věty (*)

$$E 4\pi z^2 = \frac{Q_1}{\epsilon_0} \quad (***)$$

Nyní vyjádříme náboj Q_1 . Protože Gaussova koule je menší než nabitá koule, není uvnitř ní veškerý náboj, ale pouze jeho část. Náboj tedy vyjádříme pomocí zadané nábojové hustoty a objemu Gaussovy koule

$$Q_1 = V_k \rho = \frac{4}{3}\pi z^3 \rho$$

Dosadíme do vzorce (***)

$$E 4\pi z^2 = \frac{\frac{4}{3}\pi z^3 \rho}{\epsilon_0}$$

Zkrátíme a získáme velikost intenzity elektrického pole uvnitř nabitě koule.

$$E = \frac{\rho}{3\epsilon_0} z$$

Pozn: Pokud bychom chtěli vyjádřit intenzitu pomocí celkového náboje koule Q , využijeme toho, že je náboj rozložen rovnoměrně a tedy část náboje v Gaussově kouli je úměrná jejímu objemu.

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{4\pi z^3 \rho}{4\pi R^3 \rho} = \frac{z^3}{R^3} \Rightarrow Q_1 = Q \frac{z^3}{R^3}$$

Pro intenzitu pak platí:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^3} z$$

Ze získaného vztahu je vidět, že velikost elektrické intenzity je ve středu koule nulová a dále roste se vzdáleností od středu koule.

Řešení: Potenciál vně nabitě koule

Potenciální energie v bodě A je rovna záporně vzaté práci, kterou vykonala elektrická síla, aby přenesla náboj z místa s nulovou potenciální energií do bodu A. Ve většině případů volíme nulovou potenciální energii v nekonečnu.

$$E_{pA} = - \int_{\infty}^A \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Elektrickou sílu vyjádříme pomocí velikosti náboje a intenzity elektrického pole.

$$E_{pA} = -Q \int_{\infty}^A \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Potenciál elektrického pole je potenciální energie vztažená na jednotkový náboj. Pro výpočet potenciálu v bodě A tedy dostáváme:

$$\varphi_A = \frac{E_{pA}}{Q} = - \int_{\infty}^A \vec{E} \cdot d\vec{r}.$$

Protože intenzita elektrického pole závisí pouze na vzdálenosti od středu koule, závisí i potenciál elektrického pole pouze na vzdálenosti z od středu koule.

$$\varphi(z) = - \int_{\infty}^z \vec{E} \cdot d\vec{z}$$

Potenciál nezávisí na volbě integrační cesty, proto ji můžeme volit libovolně. (Cestu si volíme co nejjednodušší.) V tomto případě jako integrační cestu zvolíme část přímky, která směřuje do středu koule.

Vektor elektrické intenzity \vec{E} je rovnoběžný s vektorem \vec{z} , proto můžeme integrál zjednodušit.

$$\varphi(z) = - \int_{\infty}^z E dz$$

Nyní musíme úlohu opět rozdělit na dva případy a spočítat zvlášť potenciál vně a uvnitř koule.

Nejprve vyjádříme potenciál ve vzdálenosti z vně koule.

$$\varphi(z) = - \int_{\infty}^z E dz$$

Do integrálu dosadíme velikost intenzity, kterou jsme si vyjádřili v oddíle:
Intenzita pole vně koule

$$E = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z^2}$$

a vytkneme před integrál všechny konstanty

$$\varphi(z) = - \int_{\infty}^z \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z^2} dz = - \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \int_{\infty}^z \frac{1}{z^2} dz$$

Vypočítáme určitý integrál

$$\varphi(z) = - \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \left[-\frac{1}{z} \right]_{\infty}^z.$$

Dosadíme meze integrálu a získáme velikost potenciálu vně koule ve vzdálenosti z .

$$\varphi(z) = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z}$$

Pozn.: Pokud chceme potenciál vyjádřit pomocí celkového náboje Q , využijeme vztahu $Q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$.

Pro potenciál vně koule pak platí vztah:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{z}$$

Řešení: Potenciál uvnitř nabité koule

Při výpočtu potenciálu uvnitř koule budeme postupovat podobně jako v předchozím oddíle. Potenciál vyjádříme ze vztahu:

$$\varphi(z) = -\int_{\infty}^z \vec{E} \cdot d\vec{z} = -\int_{\infty}^z E dz$$

Při vyjadřování potenciálu si musíme dát pozor na velikost intenzity. Tentokrát není intenzita elektrického pole vyjádřena podél celé integrační cesty stejným vtahem. Hranicí, kdy se vyjádření intenzity mění, je povrch koule. Proto je třeba celý integrál rozdělit na dvě části. Nejdříve musíme náboj přenést z nekonečna na povrch koule (tj. do vzdálenosti R od středu koule) a po té z povrchu koule dále dovnitř koule.

$$\varphi(z) = -\int_{\infty}^R E_v dz - \int_R^z E_u dz$$

Dosadíme velikost intenzit, které jsme si vyjádřili v předchozích oddílech

$$E_v = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 z^2}$$

$$E_u = \frac{\rho}{3\epsilon_0} z$$

a dostaneme

$$\varphi(z) = -\int_{\infty}^R \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 z^2} dz - \int_R^z \frac{\rho}{3\epsilon_0} z dz.$$

Z integrálů vyjmeme konstanty

$$\varphi(z) = -\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \int_{\infty}^R \frac{1}{z^2} dz - \frac{\rho}{3\epsilon_0} \int_R^z z dz$$

a integrály vypočítáme.

$$\varphi(z) = -\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \left[-\frac{1}{z} \right]_{\infty}^R - \frac{\rho}{3\epsilon_0} \left[\frac{z^2}{2} \right]_R^z$$

$$\varphi(z) = -\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \left(-\frac{1}{R}\right) - \frac{\rho}{3\epsilon_0} \left(\frac{z^2}{2} - \frac{R^2}{2}\right)$$

Pozn.: První integrál jsme počítat nemuseli, stačilo dosadit $z=R$ do výsledku předchozího oddílu.

Vytkneme $\frac{\rho}{3\epsilon_0}$ a vzorec ještě upravíme.

$$\varphi(z) = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \left(R^2 - \frac{z^2}{2} + \frac{R^2}{2}\right)$$

$$\varphi(z) = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \left(\frac{3R^2}{2} - \frac{z^2}{2}\right)$$

$$\varphi(z) = \frac{\rho R^2}{6\epsilon_0} \left(3 - \frac{z^2}{R^2}\right)$$

Získali jsme vztah pro výpočet potenciálu uvnitř nabitě koule.

Pozn.: Pokud bychom chtěli vyjádřit potenciál pomocí celkového náboje Q , využijeme opět vztahu $Q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ a dostaneme

$$\varphi(z) = \frac{Q}{8\pi\epsilon_0 R} \left(3 - \frac{z^2}{R^2}\right).$$

Odpověď

Vně koule má intenzita elektrického pole velikost

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{z^2} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z^2}.$$

Uvnitř koule má intenzita elektrického pole velikost

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^3} z = \frac{\rho}{3\epsilon_0} z.$$

V obou případech míří vektor elektrické intenzity ze středu koule směrem ven.

Elektrický potenciál vně nabitě koule má velikost

$$\varphi(z) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 z} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z}.$$

Elektrický potenciál uvnitř nabitě koule má velikost

$$\varphi(z) = \frac{Q}{8\pi\epsilon_0 R} \left(3 - \frac{z^2}{R^2}\right) = \frac{\rho R^2}{6\epsilon_0} \left(3 - \frac{z^2}{R^2}\right).$$

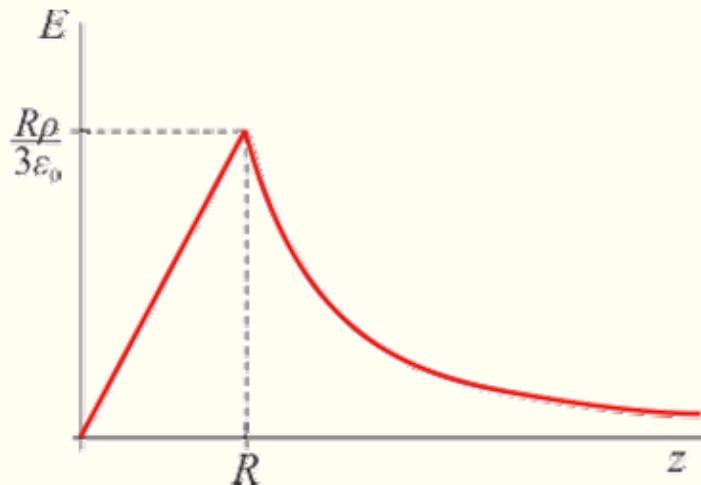
Grafy

Graf závislosti velikosti el. intenzity na vzdálenosti od středu koule

Uvnitř nabitě koule má elektrická intenzita velikost $E = \frac{\rho}{3\epsilon_0} z$.

Vně koule platí vztah $E = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0} \frac{1}{z^2}$.

První část grafu (pro hodnoty z od 0 do R) tvoří část přímky, která prochází počátkem. Pro vzdálenost z větší než R pak intenzita s druhou mocninou z klesá.



Graf funkce je spojitý. Přesvědčíme se o tom, pokud do obou vztahů pro výpočet intenzity dosadíme $z = R$. V obou případech má intenzita elektrického pole

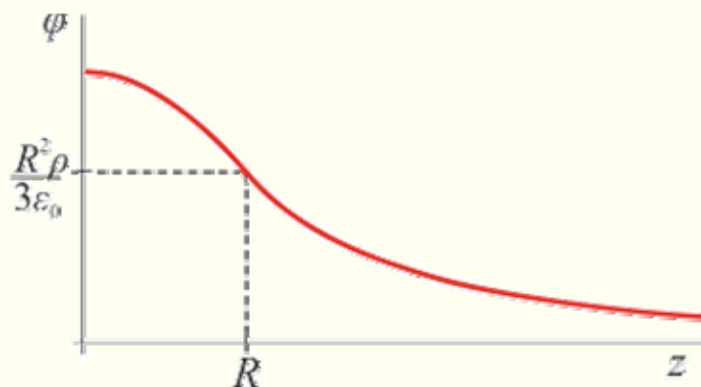
$$E(R) = \frac{R\rho}{3\varepsilon_0}.$$

Pozn.: Intenzita elektrického pole je spojitá s výjimkou bodů, kdy prochází nabitou plochou. Při průchodu plochou zůstávají spojitě pouze tečné složky vektoru. Normálové složky se mění „skokem“, který je úměrný plošné hustotě náboje.

Graf závislosti el. potenciálu na vzdálenosti od středu koule

Elektrický potenciál uvnitř nabitě koule má velikost $\varphi(z) = \frac{\rho R^2}{6\varepsilon_0} \left(3 - \frac{z^2}{R^2} \right)$.

Vně nabitě koule platí vztah $\varphi(z) = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 z}$.



Funkce je opět v bodě $z = R$ spojitá. Dosadíme-li do obou vyjádření potenciálu,

$$\text{získáme v obou případech hodnotu } \varphi(R) = \frac{R^2\rho}{3\varepsilon_0}.$$

Funkce má navíc v tomto bodě spojitě i první derivace a je tedy navíc hladká.

Elektrický potenciál je vždy spojitý, protože se jedná vlastně o práci při přenášení jednotkového náboje a ta se nemůže změnit „skokově“. Kromě nabitých ploch má potenciál spojitě také první derivace, tj. je hladký.

Jak volit Gaussovu plochu?

Nejjednodušší způsob nalezení intenzity elektrického pole (v případě symetrického

rozložení náboje) je pomocí Gaussovy věty.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Gaussova věta vyjadřuje vztah mezi tokem elektrické intenzity uzavřenou plochou (levá strana, uzavřené ploše se někdy říká Gaussova plocha) a celkovým nábojem Q , který se nachází uvnitř této plochy.

Výraz na levé straně můžeme také psát ve tvaru:

$$\oint \vec{E} \cdot \vec{n} \, dS = \frac{Q}{\epsilon_0},$$

kde \vec{n} je jednotkový vnější normálový vektor plochy.

Nejdůležitějším krokem při řešení úlohy pomocí Gaussovy věty je zvolit si vhodně Gaussovu plochu. Snažíme se ji zvolit tak, abychom mohli co nejjednodušeji

vyjádřit skalární součin $\vec{E} \cdot \vec{n}$. Můžeme rozlišit tři případy

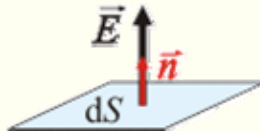
1. Vektor intenzity je rovnoběžný s plochou, tj. kolmý na normálový vektor potom skalární součin je roven nule.

Tok plochou je nulový



2. Vektor intenzity je kolmý na plochu, potom je velikost skalárního součinu rovna součinu velikostí vektorů $|\vec{E} \cdot \vec{n}| = En = E$.

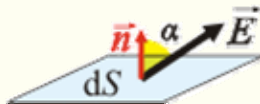
Tok plochou je největší



V nejjednodušším případě má vektor elektrické intenzity navíc ve všech místech plochy stejnou velikost. Velikost intenzity pak můžeme z integrálu vyjmout jako konstantu.

3. Vektor intenzity svírá jiný úhel s normálou plochy, pak je skalární součin roven $\vec{E} \cdot \vec{n} = En \cos \alpha = E \cos \alpha$.

Tok plochou je mezi nulou a maximem



Tato obecná poloha není pro výpočty příliš.

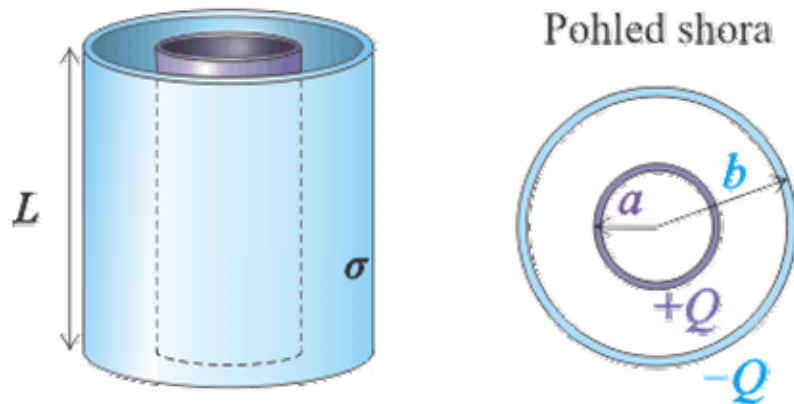
Při volbě Gaussovy plochy se snažíme co nejvíce využívat prvních dvou případů – tj. aby jednotlivé části zvolené plochy byly buď kolmé, nebo rovnoběžné s vektorem elektrické intenzity E , protože pak je počítání nejjednodušší. Nejčastěji je vhodnou plochou povrch válce nebo koule.

Odkaz na podobnou úlohu

Jak se úloha změní, jestliže náboj není v kouli rozložen s konstantní hustotou, zjistíte v úloze [Nerovnoměrně nabitá koule](#).

Válcový kondenzátor

Válcový kondenzátor tvoří dva dlouhé soustředné válce o poloměrech a a b , kde $a < b$. Vypočítejte kapacitu kondenzátoru.



Pozn.: Zanedbejte okrajové efekty na koncích kondenzátoru.

Nápověda: Kapacita

Představme si, že kondenzátor nabijeme nábojem Q . Mezi nábojem, napětím na kondenzátoru a kapacitou kondenzátoru platí vztah:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

Abychom mohli vyjádřit kapacitu kondenzátoru, musíme tedy určit, jaké je napětí mezi deskami.

Uvědomte si, jak souvisí napětí mezi elektrodami, tj. válci kondenzátoru, s potenciálem a intenzitou elektrického pole mezi nimi.

► Řešení nápovědy

Napětí na kondenzátoru je dáno rozdílem potenciálů na obou válcích. Je tedy rovno práci, kterou je třeba vykonat při přenosu jednotkového náboje z jednoho válce na druhý.

$$U = \frac{W}{Q} = \int_a^b \frac{F}{Q} dz$$

Protože intenzita elektrického pole je vlastně síla působící na jednotkový náboj, můžeme sílu v integrálu nahradit intenzitou.

$$U = \int_a^b E dz$$

Nápověda: Intenzita pole mezi válci

Využijte výsledku úlohy [Pole nabité válcové plochy](#), kde je vypočítaná intenzita v okolí válcové plochy.

► Řešení nápovědy: Intenzita pole mezi válci

V okolí nabitě válcové plochy je intenzita elektrického pole dána vztahem:

$$E = \frac{\lambda \sigma_1}{\epsilon_0 z},$$

kde R je poloměr válcové plochy.

Uvnitř válcové plochy je intenzita rovna nule.

Vnější válec tedy k intenzitě elektrického pole mezi deskami nepřispívá a intenzita elektrického pole mezi nimi je dána elektrickým polem vnitřního válce.

Rozbor

Válcový kondenzátor tvoří dvě soustředné válcové plochy, které jsou nabitý stejně velkým nábojem opačného znaménka.

Kapacita kondenzátoru je přímo úměrná náboji a nepřímo úměrná napětí mezi válci kondenzátoru.

Napětí mezi válci, tedy rozdíl potenciálů na deskách, bude rovno integrálu intenzity podél spojnice obou elektrod. (Podrobnější vysvětlení naleznete v první nápovědě.)

Intenzita vně válcové plochy nepřímo úměrně klesá se vzdáleností od osy válcové plochy a uvnitř plochy je rovna nule (viz úloha [Pole nabitě válcové plochy](#)). Mezi válci je tedy intenzita nepřímo úměrná vzdálenosti od osy válcových ploch. Vnější válec k intenzitě elektrického pole nepřispívá, protože uvnitř válcové plochy je intenzita nulová.

Řešení

Kapacitu C válcového kondenzátoru určíme jako podíl náboje Q na deskách a napětí U mezi nimi:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Velikost napětí mezi válci je rovna práci, kterou je třeba vykonat při přenesení jednotkového náboje z jednoho válce na druhý.

$$U = \frac{W}{Q} = \int_a^b \frac{F}{Q} dz$$

Podíl elektrické síly F a náboje Q je roven intenzitě E elektrického pole.

$$U = \int_a^b E dz,$$

kde z je vzdálenost od osy obou válcových ploch.

Intenzita elektrického pole mezi válci je dána intenzitou elektrického pole vnitřního válce. Vnější válec k intenzitě elektrického pole mezi elektrodami nepřispívá. Intenzitu elektrického pole v okolí nabitého válce jsme vyjádřily v úloze [Pole nabitého válce](#). Poloměr válce je roven a .

$$U = \int_a^b \frac{q\sigma}{\epsilon_0} \frac{1}{z} dz$$

Vytkneme konstanty před integrál a integrál vypočítáme.

$$U = \frac{q\sigma}{\epsilon_0} \int_a^b \frac{1}{z} dz = \frac{q\sigma}{\epsilon_0} [\ln z]_a^b = \frac{q\sigma}{\epsilon_0} (\ln b - \ln a)$$

$$U = \frac{q\sigma}{\epsilon_0} \ln \frac{b}{a} \quad (*)$$

Protože neznáme nábojovou hustotu σ , ale celkový náboj Q , vyjádříme ji pomocí povrchu válce.

$$Q = \sigma S = \sigma 2\pi a L \quad \Rightarrow \quad \sigma = \frac{Q}{2\pi a L}$$

Nábojovou hustotu σ dosadíme zpět do vzorce (*) a výraz upravíme.

$$U = \frac{a}{\epsilon_0} \frac{Q}{2\pi a L} \ln \frac{b}{a} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 L} \ln \frac{b}{a}$$

Protože kapacita kondenzátoru je dána vztahem $C = \frac{Q}{U}$, můžeme ji z posledního vzorce vyjádřit.

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$$

Odpověď

Válcový kondenzátor má kapacitu

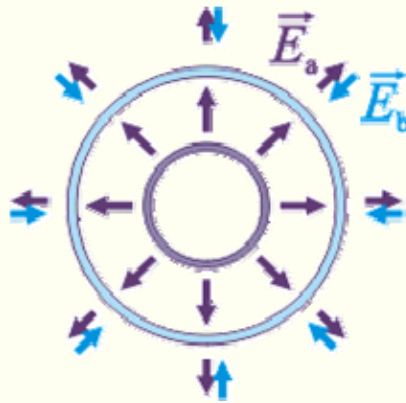
$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}.$$

Jaká je intenzita vně kondenzátoru?

Mluvíme-li o kondenzátoru, mělo by být elektrické pole pouze mezi jeho elektrodami. Uvnitř malého válce a vně velkého by měla být intenzita elektrického pole rovna nule. V tomto oddíle se přesvědčíme, že to tak opravdu je.

Z úlohy [Pole nabitě válcové plochy](#) víme, že uvnitř válcové plochy o poloměru R je intenzita elektrického pole rovna nule a vně válcové plochy je intenzita dána vztahem $E = \frac{R\sigma}{\epsilon_0} \frac{1}{z}$

Do obrázku si nakreslíme vektory intenzit elektrického pole pro oba válce.



Uvnitř vnitřního válce jsou obě intenzity rovny nule, proto má i výsledné pole nulovou intenzitu.

Mezi válci je nenulová intenzita el. pole malého válce. Celková intenzita je tedy stejná.

$$E = \frac{\sigma z}{\epsilon_0},$$

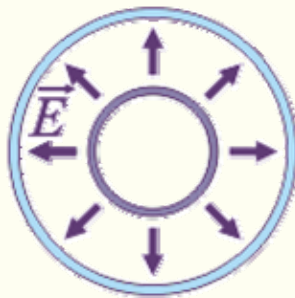
kde z nabývá hodnot od a do b .

Tento vztah přepíšeme pomocí celkového náboje Q , kterým je kondenzátor nabit.

$$Q = \sigma S = \sigma 2\pi a L$$

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L z}$$

Vně většího válce mají vektory intenzity stejnou velikost (protože jsou desky nabitý stejně velkým nábojem), ale opačný směr (náboje mají opačná znaménka). Výsledná intenzita vně kondenzátoru je tedy rovna nule.



Jak jinak zjistit intenzitu mezi deskami

Intenzitu elektrického pole mezi deskami můžeme získat přímo z Gaussovy věty.

$$\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Jako Gaussovu plochu S volíme povrch válce, jehož osa je stejná s osami obou válcových ploch kondenzátoru. Ze symetrie úlohy je patrné, že je vektor intenzity ve všech místech Gaussovy plochy stejně velký a na plochu kolmý, a proto můžeme integrál na levé straně zjednodušit.

$$\int_S \vec{E} dS = E \int_S dS = E 2\pi z L$$

Intenzita mezi deskami je tedy dána vztahem:

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L z},$$

kde z nabývá hodnot od a do b .

Podrobnější postup řešení naleznete v úloze [Pole nabitě válcové plochy](#).

Uvnitř vnitřního válce není v Gaussově ploše uzavřen žádný náboj a intenzita je zde tedy rovna nule.

Vně obou válců je v Gaussově ploše uzavřen náboj $+Q$ a $-Q$. Dohromady je tedy uvnitř Gaussovy plochy náboj nulový a intenzita je tedy opět rovna nule.