

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Pedagogická fakulta

Katedra fyziky

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM – ELEKTRONICKÁ PODPORA VÝUKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

vedoucí bakalářské práce

RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

autor

František GRILL

České Budějovice 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Jindřichově Hradci dne 4. října 2010.

.....

František Grill

Poděkování

Chtěl bych poděkovat RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotný přístup a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá podporou výuky předmětu fyzikální praktikum.

V první části práce jsou popsány základní znalosti, vědomosti a podrobné návody pro tvorbu a zpracování protokolů z měření. V druhé části práce jsou rozčleněny jednotlivé úlohy do oblastí fyziky – Mechanika a termika, Elektřina a magnetismus, Kmity, vlnění a optika, Elektronika, Atomová fyzika a Speciální měření. Třetí část obsahuje stručný popis vytvořených www stránek, jejich organizace a obsah.

Klíčová slova

Výuka, Fyzikální praktikum, Fyzika, Protokol, Oblasti fyziky, Mechanika, Termika, Elektřina, Magnetismus, Kmity, Vlnění, Optika, Elektronika, Atomová fyzika, Speciální měření.

Annotation

This thesis is concerned with promoting physical education practicum course.

The first section describes the basic knowledge, skills and detailed instructions for creating and processing of measurement reports. The second part is divided into the different roles of physics - Mechanics and thermodynamics, Electricity and magnetism, Oscillations, waves and optics, Electronics, Atomic physics and Special measurements. The third section provides a brief description of the created web sites, their organization and content.

Keywords

Teaching, Physical Laboratory, Physics, Protocol, Physics, mechanics, Thermal Physics, Electricity, Magnetism, Oscillations, Waves, Optics, Electronics, Atomic Physics, Special measurements.

1. Úvod	8
2. Úvod do měření	9
2.1 Fyzikální veličiny	9
2.2 Druhy fyzikálních veličin	11
2.3 Soustava jednotek SI	12
2.4 Fyzikální měření	15
2.5 Metody měření	18
2.6 Přesnost a chyby měření	18
2.7 Numerické metody zpracování výsledků	22
2.8 Grafické zpracování výsledků	22
2.9 Zásady zapisování a zaokrouhlování čísel	23
2.10 Zásady psaní jednotek	25
2.11 Základní pojmy a vlastnosti měřících přístrojů	26
2.12 Přehled důležitých vztahů z teorie fyzikálního měření	30
3. Jednotlivá fyzikální měření	35
3.1 Mechanika a termika	35
3.2 Elektřina a magnetismus	35
3.3 Kmity, vlnění a optika	36
3.4 Elektronika	36
3.5 Atomová fyzika	37
3.6 Speciální měření	37

<u>4. Popis vytvořených www stránek</u>	<u>38</u>
4.1 Úvodní stránka	38
4.2 Rozdělení fyzikálních úloh	39
4.3 Sekce Testy	42
4.4 Sekce Fotogalerie	43
4.5 Sekce Rejstřík pojmů	44
4.6 Sekce Bezpečnost práce	44
<u>5. Závěr</u>	<u>45</u>
<u>6. Seznam použité literatury a zdrojů</u>	<u>46</u>

1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření webových stránek pro podporu předmětu Fyzikální praktikum. Stránky mají studentům usnadnit obtížné vyhledávání studijního materiálu. Text byl mnohdy čerpaný ze špatně dostupných skript.

Www stránky jsou členěny do několika kategorií. Hlavní menu rozděluje praktika na jednotlivé obory fyziky – Mechanika a termika, Elektřina a magnetismus, Kmity vlnění a optika, Elektronika, Atomová fyzika a Speciální měření - v těchto sekcích jsou pak podrobně popsány jednotlivé fyzikální úlohy. Sekce Úvod do měření obsahuje základní znalosti, vědomosti a podrobné návody pro tvorbu a zpracování protokolů z měření. Horní menu www stránek je opět rozčleněno. V sekci Testy si student může vyzkoušet formou krátkých testů teoretické i praktické vědomosti ze všech oblastí fyziky. Ve fotogalerii nalezneme obrázky měřících přístrojů rozděleny podle laboratoří. V Rejstříku pojmů je uvedeno několik set nejdůležitějších pojmů z oblasti fyziky, můžeme využít i přímý odkaz na internetovou encyklopedii Wikipedia. Nedílnou součástí je sekce Bezpečnosti práce, kde jsou bezpečnostní pokyny pro práci v laboratořích včetně elektrotechnické vyhlášky 50.

Tištěná podoba práce je zaměřena převážně na oblast Úvodu do měření, kde jsou popsány a shrnuty základní vědomosti a postupy z fyzikálního praktika. Dále je zde uveden výčet jednotlivých úloh, které jsou podrobně popsány na webových stránkách. V poslední části je vyobrazení a stručný popis vlastních www stránek.

2. ÚVOD DO MĚŘENÍ

2.1 Fyzikální veličiny

Obecně

Fyzika je věda, která se zabývá zkoumáním objektivní reality, neboli hmoty. Přesněji se zabývá látkovou a polní formou hmoty. Vlastnosti a změny těchto dvou forem jsou fyzikálními ději. Problematika podrobně popsána v [1] na straně 7-8.

Základem fyzikálního poznání je pozorování a zkušenost. V přírodě probíhají fyzikální jevy a děje samovolně a my máme možnost je pozorovat v každodenním životě. Tyto jevy jsou složité pro pozorovatele. Pro nás vhodnější je pozorovat uměle vytvořený děj, který nazýváme pokus nebo experiment. Takovýto experiment probíhá za předem jasně daných a určených podmínek. Fyzikální měření je tedy experiment, ve kterém popíšeme co a jak se děje a mění a v jaké míře dochází ke změnám.

Na základě těchto fyzikálních měření pak můžeme definovat a vyslovit hypotézy teoretického charakteru. Výsledky teoretické práce ověřujeme opět pomocí fyzikálního měření. Když se teoretické výsledky shodují s praktickými, stává se tato hypotéza fyzikální teorií a platí tak dlouho, dokud se nenajde nějaký jev, který ji dokáže vyvrátit.

Schematický zápis fyzikálního poznání :

Fyzikální měření + Hypotéza + Fyzikální měření + Fyzikální teorie

Fyzikální pokus neboli experiment je uměle připravovaný děj. Při pozorování fyzikálního pokusu sledujeme závislost fyzikálních veličin v nejjednodušším tvaru za přesně stanovených podmínek a při maximálním omezení rušivých vlivů.

Fyzikální jevy můžeme pospat dvěma způsoby. Pokud jev popíšeme pouze slovně, sledujeme tzv. kvalitativní stránku jevu, pokud je jev nebo děj popsán i matematicky, jedná se o kvantitativní stránku jevu. Vyhodnotíme-li správně fyzikální měření, dostaneme odpovědi na otázky, které klademe, dostáváme věrnější obraz přírody.

Fyzikální veličina

Fyzikální veličina je jakákoliv vlastnost hmoty, jejíž hodnotu lze změřit nebo spočítat. Fyzikální veličiny jsou definovány obecně, zpravidla vztahem k jiným fyzikálním veličinám.

Fyzikálním veličinám přiřazujeme určitou hodnotu (velikost). Hodnota dané veličiny je udávána prostřednictvím srovnání s pevně zvolenou hodnotou veličiny stejného druhu, kterou volíme za měřicí jednotku. Číselná hodnota fyzikální veličiny je závislá na volbě měřicí jednotky, kterou nazýváme jednotka fyzikální veličiny. Viz [1] na straně 9-11.

Hodnotu (velikost) dané fyzikální veličiny x vyjadřujeme vždy její číselnou hodnotou $\{x\}$ a jednotkou $[x]$, což formálně zapisujeme ve tvaru :

$$x = \{x\} \cdot [x]$$

Číselná hodnota fyzikální veličiny $\{x\}$ udává, kolikrát je fyzikální veličina x obsažena ve fyzikální veličině stejného druhu, která byla zvolena za měřicí jednotku. Viz [2] a [3].

Změření fyzikální veličiny znamená porovnání fyzikální veličiny s určitou velikostí stejnorodé veličiny zvolené za měřicí jednotku. V dalším textu pro zkrácení budeme psát pouze veličina místo fyzikální veličina.

Příklad : Změříme-li například hmotnost materiálu 10, výsledek zapíšeme ve tvaru $m = 10 \text{ kg}$.

Rozměr fyzikální veličiny

Fyzikální rozměr veličiny nebo zkráceně rozměr veličiny je formální vyjádření závislosti měřené fyzikální veličiny na veličinách základních, odpovídajících základním jednotkám vzorcem, který dostaneme tak, že do pravé strany fyzikální rovnice, definující příslušnou fyzikální veličinu, dosadíme symboly rozměrů příslušných veličin. Pokud je některou z veličin figurujících na pravé straně veličina základní, nahradíme ji její značkou. Pokud ve vzorci na pravé straně figuruje číselný koeficient, nahradíme jej jednotkou (1), efektivně tedy ze vzorce zmizí. Více viz [2] a [3].

Rozměr veličiny značíme většinou symbolem veličiny, který uzavíráme do závorek (většinou hranatých).

Přehled veličin základní soustavy jednotek SI – viz kapitola Soustava jednotek SI.

2.2 Druhy fyzikálních veličin

Extenzivní, intenzivní a protenzivní veličiny

Podle povahy dělíme obvykle fyzikální veličiny do tří skupin, na extenzivní, intenzivní a protenzivní veličiny. Jak je také podrobně uvedeno v [1] na straně 14-15 a v [2] a [3].

Extenzivní veličiny – jejich typickou vlastností je aditivnost, jednotlivé části dají celek, jehož velikost je možno spočítat pouhým sečtením a naopak celek je možno zase dělit na části. Typickým příkladem je délka, plocha, objem a hmotnost.

Intenzivní veličiny – veličiny intenzity, stavové veličiny, veličiny kvality. Zde nemůžeme sčítat jednotlivé části. Dovedeme rozeznat nižší a vyšší stavy, ale kvantitativní stav není určen jejich fyzikální povahou jako je tomu u veličin extenzivních. Typickým příkladem je termodynamická teplota.

Protenzivní veličina – trvale a spojitě se mění a nelze ji zpětně reprodukovat. Do této skupiny řadíme čas.

Skalární, vektorové a tenzorové veličiny

U některých veličin potřebujeme k vyjádření dané vlastnosti více číselných hodnot (složek), neboť vlastnost je závislá na orientaci v prostoru. Fyzikální veličiny podle toho dělíme na skalární veličiny, vektorové veličiny a tenzorové veličiny. Jak je také podrobně uvedeno v [1] na straně 14-15 a v [2], [3] a [4].

Skalární veličiny neboli **skaláry** jsou určeny svou velikostí a jednotkou a nezávisí na volbě souřadné soustavy, v níž je veličina měřena. Pro počítání s těmito veličinami používáme všechna pravidla z matematiky platná pro operace s pojmenovanými čísly.

Vektorové veličiny neboli **vektory** jsou určeny svou velikostí, jednotkou a směrem. Pro matematické operace s vektory byla vypracována zvláštní pravidla. Vektor je určen velikostí vektoru neboli modulem vektoru $|\vec{A}| = A$ a jeho směrem. Abychom mohli určit polohu vektoru v prostoru, je nutno v prostoru zvolit určitý vztažný systém, jímž obvykle bývá pravoúhlá soustava souřadnic O_{xyz} . Vektor znázorníme orientovanou úsečkou. Skalární složky vektoru označujeme indexy, například vektor \vec{A} má skalární složky - souřadnice a_x , a_y a a_z , které jsou rovny velikosti průmětu vektoru \vec{A} do příslušné souřadnicové osy a mají kladné nebo záporné znaménko související se směrem vektoru.

Velikost vektoru (=modul vektoru), je vždy kladná veličina a je uvedena v příslušných měřicích jednotkách.

Pro velikost vektoru v pravoúhlé soustavě souřadnic platí vztah :

$$a = \sqrt{a^2x + a^2y + a^2z}$$

Směr vektoru je jednoznačně určen směrovými úhly nebo směrovými kosiny. Směrové kosiny jsou číselné hodnoty složek - průmětů jednotkového vektoru, který leží ve směru daného vektoru, do souřadnicových os.

Tenzorové veličiny neboli **tenzory** jsou určeny počtem hodnot (složek) rovným počtu os souřadné soustavy umocněným na tzv. řád tenzoru. Můžeme je také chápat jako další rozšiřování pojmu fyzikální veličina na uspořádanou n -tici vektorů, kde n značí počet tzv. složek. Viz [1], [2], [3] a [4].

2.3 Soustava jednotek SI

Soustava SI (zkratka z francouzského Le Système International d'Unités) je mezinárodně domluvená soustava jednotek fyzikálních veličin, která se skládá ze základních jednotek, odvozených jednotek a násobků a dílů jednotek. Soustava vznikla v roce 1960 ze soustavy metr-kilogram-sekunda (MKS). Viz [5].

V Česku vyplývá pro subjekty a orgány státní správy povinnost používat soustavu jednotek SI ze zákona č. 505/1990 Sb. ze dne 16. listopadu 1990 (Zákon o metrologii; se změnami podle zákonů č. 4/1993, 20/1993, 119/2000, 137/2002, 13/2002, 226/2003 a 444/2005 Sb.) a souvisejících vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, zejména MPO vyhlášky č. 264/2000 Sb.

Základní jednotky soustavy SI

Základních jednotek je sedm a jsou stanoveny pro následující fyzikální veličiny – viz [4]:

Fyzikální veličina	Jednotka	Značka
Délka	metr	m
Hmotnost	kilogram	kg
Čas	sekunda	s
Termodynamická teplota	kelvin	K
Látkové množství	mol	mol
Elektrický proud	ampér	A
Svítivost	kandela	cd

Délka - základní jednotkou je metr (značka "m"). 1 metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za $1 / 299\,792\,458$ sekundy.

Hmotnost - základní jednotkou hmotnosti je kilogram (značka "kg"). Ten je definován hmotností mezinárodního prototypu kilogramu, který je uložen v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry v Sèvres u Paříže.

Čas - základní jednotkou času je sekunda (značka "s"). 1 sekunda je doba trvání $9\,192\,631\,770$ period záření, odpovídající přechodu mezi dvěma hyperjemnými hladinami základního stavu atomu ^{133}Cs .

Termodynamická teplota - základní jednotkou termodynamické teploty je kelvin (značka "K"). 1 kelvin je 1/273,16 díl absolutní teploty trojného bodu vody.

Elektrický proud - základní jednotkou elektrického proudu je ampér (značka "A"). 1 ampér je takový elektrický proud, který ve dvou přímých rovnoběžných vodičích o nekonečné délce a zanedbatelném průřezu vzájemně vzdálených ve vakuu jeden metr, vyvolá mezi těmito vodiči sílu rovnou 2×10^{-7} N na jeden metr délky.

Svítivost - základní jednotkou svítivosti je kandela (značka "cd"). 1 kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s frekvencí 540×10^{12} Hz, a jehož zářivost v tomto směru je 1/683 W/sr.

Látkové množství - základní jednotkou látkového množství je mol (značka "mol"). 1 mol je takové množství, které obsahuje tolik elementárních jednotek (atomů, molekul, iontů, elektronů...), kolik je uhlíkových atomů v 12 g uhlíku ^{12}C . Podle současných znalostí je v tomto množství uhlíku $(6,022\ 143\ 79 \pm 0,000\ 000\ 30) \times 10^{23}$ atomů.

Původně byly základní jednotky stanoveny jako na sobě vzájemně nezávislé. Postupně jsou některé definovány odvozením z jiných základních jednotek pomocí pevně stanovené hodnoty základních fyzikálních konstant (např. metr ze sekundy pomocí rychlosti světla ve vakuu), což umožňuje vyhnout se problémům s prototypy jednotek a dosahovat přesnějšího stanovení.

Odvozené jednotky

Odvozené jednotky se tvoří kombinacemi (povoleny jsou výhradně součiny a podíly) základních jednotek, u významných veličin dostaly samostatné názvy - viz [4] a [5].

Příklady: kilogram na metr krychlový, metr čtverečný, metr krychlový, metr za sekundu...

Odvozené jednotky se samostatným názvem: becquerel, coulomb, farad, gray, henry, hertz, joule, katal, lumen, lux, newton, ohm, pascal, radián, siemens, sievert, steradián, tesla, volt, watt, weber, stupeň Celsia

Definice, doporučené značení odvozených veličin, jejich jednotky a jejich závazné značky jsou upraveny normami řady ČSN ISO IEC 80000 "Veličiny a jednotky", která postupně nahrazuje předchozí řadu ČSN ISO 31 stejného názvu.

Násobné a dílčí jednotky

K vyjádření násobků nebo dílů základních nebo odvozených jednotek (výhradně dekadických) slouží předpony. Mohou se použít před jakoukoliv jednotkou soustavy SI – viz [4] a [5].

Vedlejší jednotky

Vedlejší jednotky jsou jednotky, které byly dříve pro svoji všeobecnou rozšířenost a užitečnost řazeny do soustavy SI, přestože nebyly odvozeny ze základních jednotek. V současnosti se považují za mimosoustavové – viz [4] a [5].

Soustava SI povoluje používat souběžně s jednotkami SI následující jednotky: minuta, hodina, den, úhlový stupeň, úhlová minuta, (úhlová) vteřina, hektar, litr, tuna.

Povoluje se také používání některých mimosoustavových jednotek, jejichž vztah k jednotkám SI není definován pevně, ale závisí na experimentálním určení: elektronvolt, dalton, astronomická jednotka.

2.4 Fyzikální měření

Pomocí fyzikálního měření zjišťujeme vztahy mezi fyzikálními veličinami, jejich velikost, popřípadě vede přímo k formulaci fyzikálního zákona. Objevování a studium fyzikálních zákonů je konečným cílem fyzikálního měření.

Průběh fyzikálního měření můžeme rozdělit do třech etap. Jsou to příprava měření, vlastní měření a zpracování výsledků měření.

Příprava měření

Příprava měření spočívá v zajištění co nejpříznivějších podmínek pro vlastní měření. Můžeme stanovit několik zásad, kterými je dobré se řídit – viz také [1] na straně 39-40 a [6].

- Dokonale se seznámit s teoretickými znalostmi daného fyzikálního oboru.
- Podrobně znát všechny úkoly měření.
- Určit, s jakou přesností dané úlohy budeme měřit, aby chyba výsledku nepřekročila přípustnou hodnotu.
- Určit, jaké přístroje budeme k měření potřebovat, (druh, rozsah a přesnost přístroje, možnost ovlivnění měřené veličiny přístrojem) a stanovit vhodné schéma zapojení měřících přístrojů. Nezapomeneme také ověřit jejich funkčnost.
- Pro velmi přesné měření je třeba měřící přístroje cejchovat, nebo znát jejich korekční křivku.
- Některé vnější vlivy mohou výrazně ovlivnit průběh měření (např. teplota, vlhkost, tlak, elektrické či magnetické pole apod.) Snažíme se vhodným umístěním přístrojů tyto jevy co nejvíce eliminovat.
- Seznámit se s obsluhou a ovládáním jednotlivých měřících přístrojů.
- U složitějších měření sestavit měřící aparaturu a přezkoušet funkci jednotlivých částí.

Příprava měření se v žádném případě nesmí podceňovat. Špatnou přípravou by mohla být ovlivněna kvalita a přesnost vlastního měření. V některých případech bývá příprava delší a pracnější než vlastní měření.

Vlastní měření

Měření je kvantitativní (číselné) zkoumání vlastností předmětů obvykle porovnáním s obecně přijatou jednotkou. K měření využíváme naše smyslové orgány, nebo častěji měřící přístroje. K měření využíváme různé postupy podle toho, jakou fyzikální veličinu, respektive její závislost měříme. Způsob jakým měříme fyzikální veličiny se nazývá metoda měření. Jednu fyzikální veličinu je možné měřit různými metodami měření. Více viz [1] na straně 40-48 a [6].

Praktické pokyny pro vlastní měření

- Vedeme vždy záznam o měření, ve kterém musí být uvedeny použité měřicí přístroje a jejich uspořádání resp. schéma zapojení.
- Zapisujeme také podmínky měření a okolnosti, které mohly v průběhu měření ovlivnit jeho výsledek (např. teplota, tlak, vlhkost vzduchu atd.) Také nezapomeneme zapsat datum a hodinu, kdy bylo měření provedeno. Všechny nepříznivé vlivy se snažíme odstranit.
- Zaznamenáváme si celý postup měření.
- Každé měření několikrát opakujeme. Zapisujeme jednotky příslušné měřené fyzikální veličiny.
- Pokud je měřená veličina závislá na jiných měřených veličinách, musíme určit jejich hodnoty s takovou přesností, která odpovídá vlivu těchto veličin na výslednou hodnotu. Měření by nemělo význam, kdyby chyba měřené veličiny byla stejného řádu jako veličina, kterou máme stanovit.
- Výpočty, které jsou nezbytně nutné pro další měření, nebo které nás informují o správnosti měření, provádíme v průběhu měření.
- Po skončení měření opět zkontrolujeme správnou funkci přístrojů a zda se nezměnily podmínky měření.

Zpracování výsledků měření

Každé měření jedné fyzikální veličiny většinou několikrát opakujeme. Dostáváme většinou různé hodnoty. Měřené veličině však přísluší jen jedna správná hodnota. Každou odchylku naměřené hodnoty od hodnoty správné, nazýváme obecně chybou měření. Chceme, aby chyby měření byly co nejmenší. Abychom toho docílili, musíme si uvědomit všechny příčiny vzniku chyb. Hlavními příčinami jsou nepřesnosti měřících přístrojů, nedokonalost našich smyslů (zrak, sluch) a působení vnějších vlivů (otřesy, proudění vzduchu, teplota, tepelné záření, rušivé elektrické a magnetické pole, vlhkost, tlak, osvětlení a pod.) Problematika je podrobněji rozpracována v [1] na straně 49-58 a v [6].

2.5 Metody měření

Při měření srovnáváme měřenou veličinu s veličinou téhož druhu, která byla vzata za porovnatelnou jednotku. Toto porovnání se provádí pomocí měřících přístrojů.

Příklad : Chceme-li znát (změřit) výšku skříně, vezmeme metr a změříme její výšku. Výsledek je vlastně porovnání výšky skříně s jednotkou, kterou je cejchována stupnice metru.

Konkrétní měřící metoda popisuje, jakým způsobem budeme provádět jednotlivá měření. Pro volbu určité dané měřící metody je důležité, jak rychle a s jakou požadovanou přesností chceme znát výsledek měření, a také jaké přístroje máme možnost využít. Podrobný popis metod viz [1] na straně 41-49.

Rozdělení metod :

- Metody přímé a nepřímé
- Metody absolutní a relativní
- Metoda substituční (nahrazovací)
- Metoda kompenzační (vyrovnávací)
- Metoda interpolační
- Metoda postupných měření (metoda postupná)
- Metoda omezovací
- Metody speciální

2.6 Přesnost a chyby měření

Výsledek každého měření se poněkud liší od skutečné hodnoty. Rozdíl mezi naměřenou hodnotou M a skutečnou hodnotou S se nazývá chyba měření. V praxi se rozlišují dvě chyby, a to absolutní a poměrná (relativní) chyba měření. Viz [1] na straně 49-62.

Absolutní chyba (Δ) je rozdíl mezi naměřenou hodnotou (M) a skutečnou hodnotou (S) měřené veličiny :

$$\Delta = M - S \quad (1)$$

Protože skutečnou hodnotu nelze z fyzikálních důvodů nikdy zjistit, nahrazuje se srovnávací hodnotou, což je tzv. konvenčně pravá hodnota. Tuto lze zjistit podstatně přesnějším měřením, teoretickým výpočtem nebo aritmetickým průměrem z většího počtu měření. Absolutní chyba se používá při vyhodnocení výsledku měření. Sama však přesnost měření dobře nevyjadřuje, a proto se v praxi spíše užívá poměrná (relativní) chyba měření.

Poměrná (relativní) chyba (δ):

$$\delta = \Delta / N \cdot 100 \text{ nebo } \delta = \Delta / S \cdot 100 \quad (2)$$

Obě definice jsou při malých chybách rovnocenné a chyby se udávají v procentech.

Podle způsobu výskytu rozeznáváme **chyby soustavné (systematické)** a **chyby nahodilé**. Měří-li stejný pozorovatel za stejných podmínek, projevují se soustavné chyby při opakovaném měření stále stejně. Soustavné chyby mají stále stejné znaménko a někdy můžeme určit více nebo méně přesně i jejich velikost. Naproti tomu chyby nahodilé se vyskytují zcela náhodně s neznámou zákonitostí a obvykle jsou i neznámého původu. Opakuje-li tedy stejný pozorovatel měření za stejných podmínek, jsou výsledky jednotlivých měření odlišné právě v důsledku různých nahodilých chyb.

Podle příčiny vzniku rozeznáváme chyby metody, chyby měřicích přístrojů a ostatní chyby, kam počítáme např. chyby způsobené rušivými vlivy nebo chyby čtení.

Chyby metody (absolutní chyba Δ_m nebo poměrná chyba δ_m) vznikají tím, že se při výpočtu měřené veličiny neuvažují všechny známé vlivy, např. spotřeba přístrojů nebo tím, že se pro zrychlení měření zjednoduší výsledný vztah k výpočtu měřené veličiny nebo tím, že se zjednoduší zapojení měřicích přístrojů apod. Tato chyba je chybou soustavnou. Na rozdíl od některých dalších soustavných chyb, jejichž velikost nemůžeme přesně určit, je chyba metody chybou korigovatelnou. Vliv chyby metody na výsledek měření lze tedy vyloučit opravou – korekcí. Je-li výsledek měření N_1 zatížen chybou metody, jejíž velikost je Δ_m (samozřejmě s ohledem na znaménko), je opravený výsledek měření N (korigovaný na chybu metody) dán vztahem:

$$N = N_1 - \Delta m \quad (3)$$

Chyby měřicích přístrojů (absolutní chyba Δp nebo poměrná chyba δp) vznikají nedokonalostí a vlastnostmi měřicích přístrojů. Některé dílčí chyby přístrojů lze zařadit do chyb soustavných, ostatní jsou chybami nahodilými. Chyba měřicího přístroje je dovolenou chybou přístroje, jejíž velikost je stanovena u některých přístrojů třídou přesnosti. Chybu měřicího přístroje nelze opravou zcela vyloučit, a proto se udává mezemi - $|\Delta p|$, $|\delta p|$, v nichž leží skutečná hodnota měřené veličiny.

Chyby rušivými vlivy vznikají působením různých rušivých činitelů v měřicím obvodu, např. přechodných odporů na svorkách, kapacitních a indukčních vazeb atd. Dost často lze v praxi tyto chyby zanedbat.

Chyby čtení jsou způsobeny pozorovatelem, který čte údaj měřicích přístrojů. Při pečlivé práci bývají i tyto chyby většinou zanedbatelné vůči chybám přístroje.

Celková chyba měření (Δ) je tedy výsledkem většího počtu různých dílčích chyb a leží při zanedbání chyb rušivými vlivy a chyb čtení v intervalu :

$$\Delta = \Delta m \pm |\Delta p| \quad (4)$$

Není-li měření zatíženo chybou metody, popř. vyloučí-li se tato chyba korekcí, odpadá také člen Δm .

Jak již bylo řečeno, nahodilé chyby jsou neznámého původu. O jejich existenci se přesvědčíme tak, že určitou veličinu změříme několikrát za stejných podmínek. Případná odlišnost jednotlivých výsledků měření je způsobena nahodilými chybami. Při elektrických měřeních do výsledku vstupují nahodilé chyby vyvolané měřeným objektem a nahodilé chyby měřicího přístroje.

Vlivy mechanické - se nejvíce projevují jako vliv tření v ložiscích a vliv únavy spirálových pružin. K mechanickým vlivům patří také měření při nesprávné poloze měřicího přístroje.

Vlivy vlhkosti - se projevují změnou hodnot izolačního odporu a změnou funkčnosti měřících přístrojů. Tyto vlivy dále způsobují korozi kovových částí měřícího přístroje.

Vliv teploty - mění se pružnost spirál, zvyšuje se tření vlivem roztažnosti kovů apod. Každý měřící přístroj má zaručenou třídu přesnosti, která je stanovena pro teplotu $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$. Na výsledek měření má vliv i změna teploty při přesunu přístrojů a měřených předmětů z místnosti do místnosti. Měření se má provádět až tehdy, kdy se vyrovnaly teploty přístrojů a předmětů s teplotou v místnosti laboratoře.

Vliv cizích magnetických polí - se projevuje u přístrojů, které pracují na principu magnetického pole. Omezení vlivu zajistíme tím, že přístroje umístíme nejméně 30 cm od sebe a 30 cm od vodičů, kterými protékají velké proudy.

Vliv cizích elektrostatických polí - se prakticky neprojevuje. Při otírání skla krycího stupnici přístroje od prachu může vzniknout indukovaný náboj, který může způsobit až uvíznutí ukazatele.

Vliv kmitočtů - se projevuje jen u těch soustav, které mají vnitřní odpor ovlivněn kapacitou či indukčností a u těch soustav, jejichž moment je kmitočtově závislý.

Z počtu pravděpodobnosti vyplývá, že nejsprávnější hodnotou je aritmetický průměr z naměřených hodnot. Pokud jsou odchylky jednotlivých měření mnohem menší než největší možná chyba způsobená největšími možnými chybami jednotlivých měřících přístrojů, nemá praktický význam počítat pravděpodobnou chybu. Tyto výpočty se uplatní až při nejpřesnějších měřeních, kde největší možná soustavná chyba je velmi malá. Potom se počítají obecně známé chyby, jako např. střední kvadratická chyba, směrodatná odchylka, pravděpodobná chyba nebo krajní chyba.

Zvětšujeme-li při měření některou elektrickou veličinu, musíme stále sledovat údaje přístrojů a přepínat včas příslušné měřicí rozsahy.

Pokud to povaha měření dovoluje, začínáme proto s měřením od nejvyšší velikosti sledované veličiny.

U číslicových přístrojů se při určování přesnosti nepoužívá pojem třída přesnosti, a proto vyjádření chyb těchto přístrojů je složitější záležitostí. Tyto chyby jsou uvedeny vždy v návodu k příslušnému přístroji.

2.7 Numerické metody zpracování výsledků

Hodnoty získané měřením obvykle zapisujeme do tabulky. Měříme hodnoty y jedné fyzikální veličiny při určitých hodnotách x druhé veličiny, na které měřená veličina závisí. Vhodně volíme hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n tak, že vytváří aritmetickou posloupnost, říkáme, že je měření ekvidistantní. Při ekvidistantním měření jsou rozdíly mezi po sobě následujícími hodnotami x_1, x_2, \dots, x_n konstantní. Ekvidistantní měření dává přesnější výsledky než měření neekvidistantní a dá se také lépe zpracovat. Při fyzikálním měření dáváme vždy přednost měřením ekvidistantním. Máme několik metod ekvidistantních měření, jsou uvedeny na webových stránkách. Přesněji o této problematice viz [1] na straně 78-84 a [9].

2.8 Grafické zpracování výsledků

Závislost dvou fyzikálních veličin se dá také vyjádřit pomocí grafu. Grafické vyjádření se používá velmi často pro svou jednoduchost a názornost. Nevýhodou této metody je menší přesnost oproti numerickým metodám. Grafy nám umožňují vytvořit si rychlou a názornou představu o celkovém charakteru funkce i o jejích lokálních vlastnostech.

Základem grafu jsou souřadné osy. Obvykle používáme kartézský (pravoúhlý) souřadný systém. Na každou osu vyneseme vhodně zvolenou stupnici pro tu veličinu, kterou na ní chceme zobrazit. Stupnice na osách mohou být lineární nebo nelineární (logaritmická, kvadratická, reciproká a pod.). Nezávisle proměnnou veličinu vynášíme obvykle na vodorovnou osu (kladné hodnoty směrem vpravo), závisle proměnnou veličinu na svislou osu (kladné hodnoty směrem nahoru). Přesněji viz [1] na straně 85-94 a [9].

Některé zásady, které je nutné při sestrojování grafů dodržet :

- Každé naměřené hodnotě nezávisle proměnné veličiny přísluší určitá naměřená hodnota veličiny závisle proměnné. Obě tyto hodnoty se zobrazí ve zvolené soustavě souřadné jako bod, který výrazně označíme (kroužkem, křížkem, trojúhelníčkem, obdélníčkem a pod.).
- Vynesené body ve většině případů prokládáme plynulou čarou (s ohledem na rozptyl měření), pouze korekční křivka je tvořena lomenou čarou.
- Každá osa musí mít označení, jaká veličina a v jakých jednotkách je na ni vynesena. Na osy nevynášíme naměřené hodnoty, ale hodnoty bez ohledu na souřadnice měřených bodů. Graf musí mít také nadpis.
- Je-li více funkčních závislostí v jednom grafu, rozlišíme je různým provedením křivek (plnou, čárkovanou atd.) nebo různými barvami.
- Měřítko grafu volíme pro obě osy tak, aby byl graf co nejvíce přehledný a aby byla využita co největší plocha grafu.
- Grafy je vhodné rýsovat pomocí pravítka a křívítka, nebo můžeme využít počítač a příslušný grafický editor.

2.9 Zásady zapisování a zaokrouhlování čísel

Zapisování čísel

Existuje zde pojem „Platné číslice daného čísla“ – jedná se o všechny číslice od první zleva, která není nulová, do poslední zapsané číslice vpravo. Nepočítají se nuly plynoucí z činitele 10^n . Podrobně uvedeno v [1] na straně 94-96.

Příklady :

číslo 24,0 má tři platné číslice

číslo 60 má dvě platné číslice

číslo $350 \cdot 10^5$ má tři platné číslice

číslo $0,819 \cdot 10$ má tři platné číslice

číslo 0,0073 má dvě platné číslice

Pokud chceme vyznačit, že uvedené číslo je přesné, uvede se za číslo slovo "přesně" nebo se poslední číslice vytiskne tučně.

Zápis přibližných čísel se rozlišuje podle počtu platných číslic.

Příklady :

čísla 5,6 a 5,60 se liší.

Zápis 5,6 znamená, že zaručené číslice jsou na řádu celých čísel a desetín, skutečná číselná hodnota může být ale jiná např. 5,62 nebo 5,57. Zápis 5,60 znamená, že zaručená číslice je na řádu setin, číselná hodnota může být 5,609 nebo 5,597, ale nikdy 5,632 nebo 5,587.

Zápis 568 znamená, že všechny číslice jsou zaručené, není-li poslední číslice zaručená, zapíše se číslo jako $5,6 \cdot 10^2$.

Jsou-li v čísle 8930 zaručené pouze první dvě číslice, zapíšeme ho jako $89 \cdot 10^2$ nebo $8,9 \cdot 10^3$.

Pokud zapíšeme číslo a jeho dovolenou odchylku, musí mít jak hodnota, tak odchylka poslední platnou číslici stejného řádu.

Příklady :

správně $29,0 \pm 0,4$ nebo $89,60 \pm 0,22$

nesprávně 38 nebo $38,00 \pm 0,4$

Číselné hodnoty veličiny a její chyby (odchylky) je vhodné uvádět ve stejné jednotce příslušné fyzikální veličiny.

Příklad : $(56,235 \pm 0,012)$ kg

Zaokrouhlování čísel

Se zápisem čísel souvisí zaokrouhlování čísel. Zaokrouhlení je proces, při kterém dojde ke snížení počtu významových číslic v čísle. Výsledek zaokrouhlení je „kratší“ číslo, má menší počet nenulových číslic zprava, je méně přesný, ale lépe se s ním manipuluje a lépe se zobrazuje. Podrobně uvedeno v [1] na straně 96-98.

Zaokrouhlení dolů - výsledkem je nejbližší celé číslo, které je menší nebo rovno zaokrouhlovanému číslu. Zaokrouhlením dolů provádíme prosté odříznutí číslic nižších řádů, než je zvolený řád zaokrouhlení, ale toto tvrzení neplatí pro záporná čísla.

Zaokrouhlení nahoru - výsledkem je nejbližší celé číslo, které je větší nebo rovno zaokrouhlovanému číslu.

Příklady :

Zaokrouhlením čísla 268,48 na čtyři platná místa vznikne 268,5

V případě, že prvá z vypouštěných číslic (počítáno zleva doprava) je menší než 5, poslední (ponechaná) číslice se nezmění. Zaokrouhlováním čísla 25,43 na tři platná místa vznikne 25,4.

V případě, že prvá z vypouštěných číslic (počítáno zleva doprava) je rovna 5, poslední (ponechaná) číslice se zvětšuje o jednu. Zaokrouhlováním čísla 0,385 na dvě platná místa vznikne 0,39

Postupné zaokrouhlování - Při postupném zaokrouhlování (zaokrouhlení na nižší a pak až na vyšší řád) vznikají další chyby. Výsledek se může lišit od výsledku při přímém zaokrouhlení na vyšší řád. Je potřeba zaokrouhlovat najednou na požadovaný počet platných míst a ne po etapách (postupně).

2.10 Zásady psaní jednotek

K častým chybám studentů dochází také při psaní jednotek fyzikální veličiny. Je zde uvedeno několik zásad, které je dobré dodržovat. Viz [1] na straně 35.

Zásady pro psaní fyzikálních jednotek :

- Mezi poslední číslicí číselné hodnoty a značkou jednotky se vynechává mezera. Vyjimku tvoří tzv. speciální povýšená značka, před kterou mezera není.
- Pokud je jednotka složena z více značek jednotek, vkládá se mezi jednotlivé značky jednotek násobící tečka.
- Při zápisu složené odvozené jednotky se nedovoluje kombinovat značky a názvy jednotek. Nelze použít pro jednu jednotku značku, pro jinou jednotku celý nebo zkrácený název.
- Značky jednotek musí být na stejném řádku za číselnými hodnotami.
- Při použití zlomkové čáry, použijeme zlomkovou čáru šikmou a zapíšeme ji v jednom řádku. Pokud je v čitateli, či ve jmenovateli

více než jedna jednotka, musí být číselník nebo jmenovatel vložen do okrouhlých závorek.

Příklady :

správně 100 kV, 80 %, 20 °C, 102 m, 20°, m.K, m.s, T.m², V.A, mPa.s, 80 km.h⁻¹, 80 km/h, m/s, W/(m.K), J/(kg.K)

nesprávně 100kV, 80%, 20°C, 102m, 20 °, 80 km/hod., 80 km za ho dinu,

2.11 Základní pojmy a vlastnosti měřících přístrojů

Při fyzikálním měření se setkáváme a pracujeme s různými měřícími přístroji. V této kapitole jsou popsány základní vlastnosti měřících přístrojů. Podrobně se s touto problematikou můžeme seznámit v [10] a v [11].

Měřicí rozsah (MR) je dán polohou přepínače rozsahů a jeho hodnota je vztažena k plné (největší) výchylce ukazatele.



Obrázek č.1 : Přepínač měřících rozsahů

Konstanta měřícího přístroje (k) určuje, jaký díl jednotky měřené veličiny připadá na jeden dílek stupnice. Vypočítáme ji tak, že nastavený (nebo zvolený) měřicí rozsah MR dělíme počtem dílků stupnice PDS, který je dán posledním číslovaným dílkem na stupnici. Matematicky vyjádřeno :

$$k = \frac{MR}{PDS} \quad (5)$$

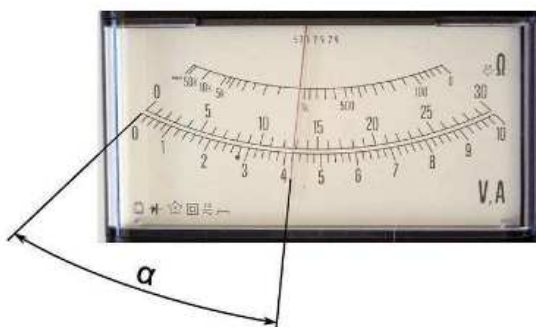
Konstanta je tedy takové číslo, kterým musíme násobit výchylku v dílcích, abychom dostali hodnotu v dané měřené veličině. Jednotka konstanty je určena jednotkou měřicího rozsahu.

Do tabulky v záznamu o měření (protokolu) konstantu zapisujeme vždy ve tvaru zlomku, kde v čitateli je vždy měřicí rozsah s příslušnou jednotkou a ve jmenovateli počet dílků stupnice.

Citlivost měřicího přístroje (c) je dána počtem dílků stupnice na jednotku měřené veličiny. Čím větší je citlivost, tím menší je měřicí rozsah a tím lepší (přesnější) je odečet měřené veličiny. Matematicky vyjádřeno :

$$c = \frac{PDS}{MR} \quad (6)$$

Výchylka ukazatele α se udává počtem dílků, které při měření ukazuje ukazatel na stupnici měřicího přístroje.



Obrázek č.2 : Určení výchylky α v dílcích u měřicího přístroje

Určení velikosti naměřené veličiny M je dáno součinem výchylky α a konstanty měřicího přístroje k . Jednotka měřené veličiny je dána měřicím rozsahem. Matematicky vyjádřeno:

$$M = \alpha \cdot k \quad (7)$$

Určení výchylky α pro zadanou hodnotu měřené veličiny M - výchylku ručky měřicího přístroje α vypočteme tak, že hodnotu měřené

(nastavované) veličiny M dělíme konstantou k . Údaje dosazujeme ve stejné jednotce. Matematicky vyjádřeno:

$$\alpha = \frac{M}{k} \quad (8)$$

Přesnost měřicích přístrojů je dána třídou přesnosti, která je vyjádřena v procentech. Třídy přesnosti jsou dány normou a jsou vyjádřeny těmito hodnotami: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 a 5 %. Třída přesnosti udává kolik % z rozsahu měřicího přístroje je dovolená chyba. Pro práci s měřicími přístroji má třída přesnosti charakter mezní chyby.

Přetížitelnost je dána násobkem rozsahu měřicího přístroje, který přístroj snese bez poškození své funkce. Při překročení přetížitelnosti měřicího přístroje dojde k přetížení. Při práci s měřicími přístroji hrozí přetížení krátkodobé či dlouhodobé.

Při krátkodobém přetížení trvajícím jen několik sekund dochází k mechanickému poškození otočné části měřicího přístroje. Při dlouhodobém přetížení trvajícím několik desítek sekund a více hrozí poškození přístroje vlivem tepelných účinků na jeho systém (vyhřátí pružin).

Vlastní spotřeba je dána příkonem měřicího přístroje, který měřicí přístroj potřebuje pro zajištění plné (maximální) výchylky ukazatele a který přístroj odebírá z měřeného obvodu. Udává se ve wattech pro stejnosměrné veličiny a ve voltampérech pro střídavé veličiny. Tento údaj je důležitým kritériem pro výběr a použití daného měřicího přístroje.

U voltmetrů se vlastní spotřeba vypočítá z vnitřního odporu, který je obvykle uveden na přístroji a určuje se vždy pro nastavený rozsah. Celková vlastní spotřeba voltmetru se vypočítá z naměřeného napětí U a vnitřního odporu R_{IV} dle vztahu :

$$P_v = \frac{U^2}{R_{IV}} \quad (9)$$

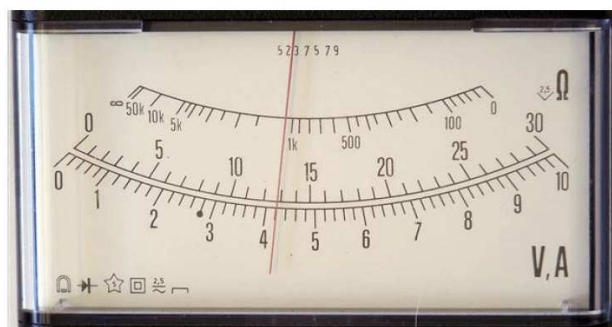
U ampérmetru se vlastní spotřeba určuje z tzv. maximálního úbytku napětí U_{Amax} , což je maximální úbytek napětí na ampérmetru při plné výchylce. Skutečný úbytek napětí při dané výchylce α (U_A) vypočteme tak, že nejprve vypočteme úbytek napětí na 1 dílek stupnice, což je celkový úbytek napětí U_{Amax} podělený celkovým počtem dílků stupnice PDS, a tuto hodnotu vynásobíme výchylkou α dle vztahu:

$$U_A = \frac{U_{AMAX}}{PDS} \cdot \alpha \quad (10)$$

Celková vlastní spotřeba u ampérmetru se pak vypočte jako součin měřeného proudu I_A a skutečného úbytku napětí U_A (vypočteného z výše uvedeného vztahu) dle vztahu :

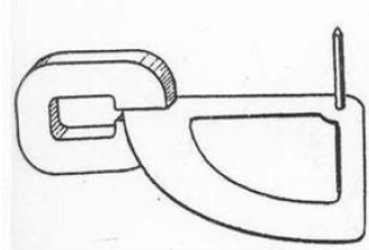
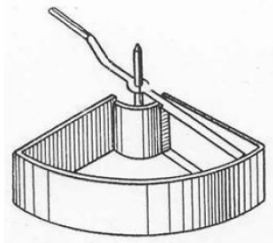
$$P_A = U_A \cdot I_A \quad (11)$$

Izolační pevnost zajišťuje bezpečnost obsluhy, která s měřicím přístrojem manipuluje. Zaručuje tedy ochranu před nebezpečím při úrazu elektrickým proudem. Kontroluje se zkušebním napětím, jehož velikost je volena podle provozních podmínek, za kterých bude měřicí přístroj používán. Zkušební napětí bývá 5 - 10x větší než provozní napětí. Provádí se u každého měřicího přístroje a jeho hodnota je vyznačena na měřicím přístroji. Při zkoušce se používá normalizovaná řada střídavých napětí o hodnotách 500, 1000, 2000 a 5000 V o kmitočtu 50 Hz. Zkouška trvá 1 minutu.



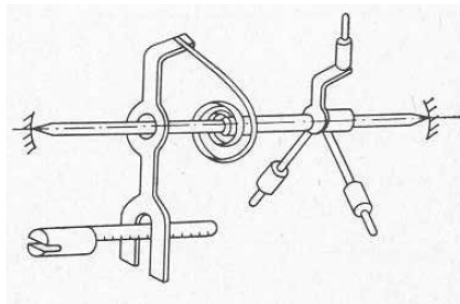
Obrázek č.3 : Velikost zkušebního napětí je vyznačena ve hvězdičce

Tlumení výchylky je v měřicím přístroji zabudováno proto, aby došlo k rychlému ustálení ukazatele. Může být vzduchové, kapalinové nebo magnetické. Princip vzduchového a magnetického tlumení je znázorněn na obrázku:



Obrázek č.4 : Vzduchové tlumení Obrázek č.5 : Magnetické tlumení

Seřízení nulové polohy ukazatele - při dlouhodobém provozu měřicího přístroje dochází k únavě pružných částí měřicí soustavy, které již pak nedokáží celý otočný systém soustavy vrátit zpět do nulové polohy. K nastavení a seřízení nulové polohy ukazatele se používá tzv. korekční člen, který je zabudován do panelu měřicího přístroje pod stupnicí. Princip činnosti viz obrázek.



Obrázek č.6 : Ústrojí k nastavení nulové polohy ukazatele

2.12 Přehled důležitých vztahů z teorie fyzikálního měření

Výpočty tvoří nedílnou součást vyhodnocení měření. V této kapitole jsou ve stručnosti uvedeny základní matematické vztahy, které můžeme využít při zpracování měření. viz [12].

Absolutní chyba i-tého měření

$$\Delta x_i = x - x_i \cong \bar{x} - x_i \quad (12)$$

kde x je přesná hodnota, x_i je naměřená hodnota měřené veličiny a \bar{x} s pruhem je aritmetický průměr. Absolutní chyba se vyjadřuje v jednotkách měřené veličiny.

Relativní chyba měření

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} = \frac{x - x_i}{x} \quad (13)$$

je bezrozměrné číslo nebo je vyjadřována v procentech nebo v tzv. p.p.m. (parts per million).

Aritmetický průměr z n měření

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (14)$$

vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se obvykle značí vodorovným pruhem nad názvem proměnné. Je to nejčastěji používaný statistický pojem.

Absolutní chyba závislé veličiny, pro kterou platí $y = f(x)$

$$\Delta y = f'(x) \cdot \Delta x \quad (15)$$

Absolutní chyba závislé veličiny, pro kterou platí $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right) \quad (16)$$

Relativní chyba závislé veličiny $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{1}{y} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right) = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial \ln(y)}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right| \quad (17)$$

Pravděpodobnost naměření veličiny z intervalu (a,b)

$$p(a,b) = \int_a^b f(x) \cdot dx \quad (18)$$

Normální (Gaussova) hustota pravděpodobnosti

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (19)$$

Gaussovo rozdělení je jedno z nejdůležitějších rozdělení pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny. Řada dějů v přírodě a ve společnosti lze popsat právě pomocí Gaussovy hustoty pravděpodobnosti. Ve fyzikálním měření používáme k popisu velikosti chyby měření, kde μ je střední hodnota a σ je střední kvadratická chyba.

Střední kvadratická chyba aritmetického průměru z n měření

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (20)$$

kde Δx_i je absolutní chyba i-tého měření.

Pravděpodobná chyba aritmetického průměru

$$\bar{\vartheta} = \frac{2}{3} \cdot \bar{\sigma} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (21)$$

udává takovou hodnotu chyby, při které je 50% pravděpodobnost, že se hodnota přesná neliší od aritmetického průměru více, než o tuto hodnotu.

Pravděpodobná chyba závislé veličiny $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\vartheta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \vartheta_{x_i} \right)^2} \quad (22)$$

Rovnice lineární interpolace

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) + y_1 \quad (23)$$

Lineární interpolace je metoda prokládání křivek za použití lineárních mnohočlenů. Těto metody se často využívá v matematice a v početních aplikacích včetně počítačové grafiky. Používáme často ke zjištění přibližné hodnoty nějaké funkce f za použití dvou známých hodnot této funkce v jiných bodech.

Newtonův interpolační vzorec ekvidistantního měření,

kde $k = (x_0 - x_i) / (x_{i+1} - x_i)$ a $\Delta^{(3)}y_i$ jsou příslušné diference

$$y = y_i + k \cdot \Delta^{(1)}y_i + \frac{k \cdot (k - 1)}{2!} \cdot \Delta^{(2)}y_i + \frac{k \cdot (k - 1) \cdot (k - 2)}{3!} \cdot \Delta^{(3)}y_i + \dots \quad (24)$$

Koeficient k lineární aproximace metodou nejmenších čtverců

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (25)$$

Koeficient q lineární aproximace metodou nejmenších čtverců

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (26)$$

Lineární aproximace je nahrazení části křivky (nebo průběhu funkce) přímkou. Jinak řečeno, jedná se o aproximaci lineární funkcí. V případě funkce více proměnných se jedná o nahrazení části obecné plochy rovinou.

3. JEDNOTLIVÁ FYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ

3.1 Mechanika a termika (viz studijní materiál [13])

- Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami
- Měření hustoty pevných látek
- Měření modulu pružnosti
- Měření dynamické viskozity oleje
- Měření měrné tepelné kapacity pevných látek
- Měření měrného skupenského tepla tání ledu
- Měření momentu setrvačnosti
- Měření povrchového napětí
- Měření dynamické viskozity vody
- Měření teplotního součinitele a teplotní délkové roztažnosti kovů
- Studium harmonických kmitů mechanického oscilátoru

3.2 Elektřina a magnetismus (viz studijní materiál [14])

- Cejchování měřících přístrojů a stanovení korekční křivky
- Měření VA charakteristiky doutnavky
- Měření hysterezní křivky
- Měření charakteristiky vlákna žárovky
- Měření kapacity Ohmovou metodou a RLC můstkem
- Měření výstupního napětí LC článku
- Měření odporů Ohmovou metodou a substituční metodou
- Měření vlastní a vzájemné indukčnosti cívek
- Měření vnitřního odporu galvanických článků a měřících přístrojů

3.3 Kmity, vlnění a optika (viz studijní materiál [15])

- Akustická měření - měření rychlosti zvuku
- Fotometrická měření - měření svítivosti
- Měření charakteristik fotocitlivých prvků
- Měření ohniskových vzdáleností tenkých čoček
- Měření vlnové délky spektrálních čar rtuťové výbojky pomocí optické mřížky
- Měření závislosti indexu lomu optického hranolu na vlnové délce světla
- Michelsenův interferometr - Určení vlnové délky laseru, měření indexu lomu
- Měření indexu lomu refraktometrem
- Studium základních parametrů dalekohledu
- Studium kmitů struny
- Studium tlumených kmitů
- Skládání kmitů

3.4 Elektronika (viz studijní materiál [16])

- Studium usměrňovače
- Stabilizátory napětí
- Studium hradel NAND
- Studium klopných obvodů
- Klopné obvody RS, JK
- Zapojení s operačními zesilovači
- Studium tranzistorového zesilovače
- Studium kombinačních obvodů

3.5 Atomová fyzika (viz studijní materiál [17])

- Měření absorpce záření gama
- Měření pravděpodobnostní charakteristiky jaderných procesů
- Měření šířky zakázaného pásu polovodičů
- Charakteristika a mrtvá doba Geiger-Müllerova počítače
- Spektrum atomu vodíku a dalších prvků
- Závislost intenzity záření na vzdálenosti
- Studium fotoelektrického jevu
- Studium Scintacního počítače
- Ověření Stefan - Boltzmanova zákona
- Stanovení maximální energie záření beta absorpcí

3.6 Speciální měření

- Měření pilového a sinusového průběhu pomocí digitálního osciloskopu
- Polarizace čtvrtlnovou destičkou

4. POPIS VYTVOŘENÝCH WWW STRÁNEK

Webové stránky byly vytvořeny na volně šiřitelné platformě JOOMLA – viz [17] za pomoci učebnice programování - viz [18].

4.1 Úvodní stránka

Levé okno – zde se nachází hlavní menu ve kterém je rozdělení úloh podle kategorií fyziky a pod menu se náhodně generují obrázky z fotogalerie.

Horní okno – Logo univerzity a menu, které rozděluje stránky do sekcí Testy, Fotogalerie, Rejstřík pojmů a Bezpečnost práce.

Okno uprostřed – zde najdeme název univerzity, fakulty a katedry.

Okno vpravo – zobrazen aktuální čas a odkazy na některé oblíbené webové stránky



Obrázek č. 7 : Úvodní strana www stránek

4.2 Rozdělení fyzikálních úloh

Fyzikální praktikum 1 – Úvod do měření

The screenshot shows the website for 'Fyzikální praktikum 1 - Úvod'. At the top, there is a header with the university logo and name: 'JIHOČESKÁ UNIVERZITA ČESKÉ BUDĚJOVICE PEDAGOGICKÁ FAKULTA'. Below the header is a navigation bar with links: 'Testy', 'Fotogalerie', 'Rejstřík pojmů', and 'Bezpečnost práce'. The main content area is divided into three sections:

- Hlavní menu:** A list of links for various practical exercises, including 'Úvod', 'Fyzikální praktikum 1 Úvod do měření', 'Fyzikální praktikum 2 Mechanika a termika', 'Fyzikální praktikum 3 Elektřina a magnetismus', 'Fyzikální praktikum 4 Kmity, vlnění, optika', 'Fyzikální praktikum 5 Elektronika', 'Fyzikální praktikum 6 Atomová fyzika', and 'Fyzikální praktikum 7 Speciální měření'.
- Fyzikální praktikum 1 - Úvod:** A list of 12 topics with corresponding page numbers:
 - 1 Fyzikální veličiny (3)
 - 2 Druhy fyzikálních veličin (-)
 - 3 Soustava jednotek SI (3)
 - 4 Fyzikální měření (1)
 - 5 Metody měření (-)
 - 6 Přesnost a chyby měření (3)
 - 7 Numerické metody zpracování výsledků (-)
 - 8 Grafické zpracování výsledků (-)
 - 9 Zásady zapisování a zakrouhlování čísel (-)
 - 10 Zásady psaní jednotek (-)
 - 11 Základní pojmy a vlastnosti měřících přístrojů (1)
 - 12 Přehled důležitých vztahů z teorie fyzikálních měření (3)
- Obilíbené odkazy:** A list of favorite links: 'Google', 'Jihomoravská univerzita', and 'Wikipedia'.

At the bottom left, there is a link 'Obrázky z fotogalerie'.

Obrázek č. 8 : Obrazovka www stránek – kategorie „Úvod do měření“

Fyzikální praktikum 2 – Mechanika a termika

The screenshot shows the website for 'Fyzikální praktikum 2 - Mechanika a termika'. At the top, there is a header with the university logo and name: 'JIHOČESKÁ UNIVERZITA ČESKÉ BUDĚJOVICE PEDAGOGICKÁ FAKULTA'. Below the header is a navigation bar with links: 'Testy', 'Fotogalerie', 'Rejstřík pojmů', and 'Bezpečnost práce'. The main content area is divided into three sections:

- Hlavní menu:** A list of links for various practical exercises, including 'Úvod', 'Fyzikální praktikum 1 Úvod do měření', 'Fyzikální praktikum 2 Mechanika a termika', 'Fyzikální praktikum 3 Elektřina a magnetismus', 'Fyzikální praktikum 4 Kmity, vlnění, optika', 'Fyzikální praktikum 5 Elektronika', 'Fyzikální praktikum 6 Atomová fyzika', and 'Fyzikální praktikum 7 Speciální měření'.
- Fyzikální praktikum 2 - Mechanika a termika:** A list of 11 topics with corresponding page numbers:
 - 1 Měření hustoty kapalin Mohrovými vahami (5)
 - 2 Měření hustoty pevných látek (3)
 - 3 Měření modulu pružnosti (1)
 - 4 Měření dynamické viskozity oleje (1)
 - 5 Měření měrné tepelné kapacity pevných látek (1)
 - 6 Měření měrného skupenského tepla tání ledu (2)
 - 7 Měření momentu setrvačnosti (1)
 - 8 Měření povrchového napětí (1)
 - 9 Měření dynamické viskozity vody (1)
 - 10 Měření teplotního součinitele a teplotní délkové roztažnosti kovů (1)
 - 11 Studium harmonických kmitů mechanického oscilátoru (1)
- Obilíbené odkazy:** A list of favorite links: 'Google', 'Jihomoravská univerzita', and 'Wikipedia'.

At the bottom left, there is a link 'Obrázky z fotogalerie'.

Obrázek č. 9 : Obrazovka www stránek – kategorie „Mechanika a termika“

Fyzikální praktikum 3 – Elektřina a magnetismus

Hlavní menu

- Úvod
- Fyzikální praktikum 1 Úvod do měření
- Fyzikální praktikum 2 Mechanika a termika
- Fyzikální praktikum 3 Elektřina a magnetismus
- Fyzikální praktikum 4 Kmity, vlnění, optika
- Fyzikální praktikum 5 Elektronika
- Fyzikální praktikum 6 Atomová fyzika
- Fyzikální praktikum 7 Speciální měření

Fyzikální praktikum 3 - Elektřina a magnetismus

1. Cejchování měřicích přístrojů a stanovení korekční křivky 1
2. Měření VA charakteristiky doutnavky 1
3. Měření hysteretzní křivky 1
4. Měření charakteristiky vlákna žárovky 2
5. Měření kapacity Ohmovou metodou a RLC můstkem 1
6. Měření výstupního napětí LC článku 1
7. Měření odporů Ohmovou metodou a substituční metodou 1
8. Měření vlastní a vzájemné indukčnosti cívek 1
9. Měření vnitřního odporu galvanických článků a měřicích přístrojů 1

Obrázky z fotogalerie

Obľíbené odkazy:
Google
Jihočeská univerzita
Wikipedia

Obrázek č. 10 : Obrazovka www stránek – kategorie „Elektřina a magnetismus“

Fyzikální praktikum 4 – Kmity, vlnění a optika

Hlavní menu

- Úvod
- Fyzikální praktikum 1 Úvod do měření
- Fyzikální praktikum 2 Mechanika a termika
- Fyzikální praktikum 3 Elektřina a magnetismus
- Fyzikální praktikum 4 Kmity, vlnění, optika
- Fyzikální praktikum 5 Elektronika
- Fyzikální praktikum 6 Atomová fyzika
- Fyzikální praktikum 7 Speciální měření

Fyzikální praktikum 4 - Kmity, vlnění, optika

1. Akustická měření - měření rychlosti zvuku 1
2. Fotometrická měření - měření svítivosti 2
3. Měření charakteristik fotocitlivých prvků 1
4. Měření ohniskových vzdáleností tenkých čoček 1
5. Měření vlnové délky spektrálních čar rtuťové výbojky pomocí optické mřížky 1
6. Měření závislosti indexu lomu optického hranolu na vlnové délce světla 2
7. Michelsonův interferometr - Určení vlnové délky laseru, měření indexu lomu 1
8. Měření indexu lomu reťaklometrem 1
9. Studium základních parametrů dalekohledu 3
10. Studium kmitů struny 1
11. Studium číselných kmitů 2
12. Skládání kmitů 1

Obrázky z fotogalerie

Obľíbené odkazy:
Google
Jihočeská univerzita
Wikipedia

Obrázek č. 11 : Obrazovka www stránek – kategorie „Kmity, vlnění a optika“

Fyzikální praktikum 5 – Elektronika

Jihočeská univerzita České Budějovice
Pedagogická fakulta

Testy Fotogalerie Rejstřík pojmů Bezpečnost práce

Hlavní menu

- Úvod
- Fyzikální praktikum 1 Úvod do měření
- Fyzikální praktikum 2 Mechanika a termika
- Fyzikální praktikum 3 Elektřina a magnetismus
- Fyzikální praktikum 4 Kmity, vlnění, optika
- Fyzikální praktikum 5 Elektronika
- Fyzikální praktikum 6 Atomová fyzika
- Fyzikální praktikum 7 Speciální měření

Fyzikální praktikum 5 - Elektronika

- 1 Studium usměrňovače 1
- 2 Stabilizátory napětí 2
- 3 Studium hradel NAND 1
- 4 Studium klopných obvodů 1
- 5 Klopné obvody RS, JK 1
- 6 Zapojení s operačními zesilovači 1
- 7 Studium tranzistorového zesilovače 1
- 8 Studium kombinačních obvodů 1

Obrázky z fotogalerie

Oblíbené odkazy:
Google
Jihomoravská univerzita
Wikipedia

Obrázek č. 12 : Obrazovka www stránek – kategorie „Elektronika“

Fyzikální praktikum 6 – Atomová fyzika

Jihočeská univerzita České Budějovice
Pedagogická fakulta

Testy Fotogalerie Rejstřík pojmů Bezpečnost práce

Hlavní menu

- Úvod
- Fyzikální praktikum 1 Úvod do měření
- Fyzikální praktikum 2 Mechanika a termika
- Fyzikální praktikum 3 Elektřina a magnetismus
- Fyzikální praktikum 4 Kmity, vlnění, optika
- Fyzikální praktikum 5 Elektronika
- Fyzikální praktikum 6 Atomová fyzika
- Fyzikální praktikum 7 Speciální měření

Fyzikální praktikum 6 - Atomová fyzika

- 1 Měření absorpce záření gama 4
- 2 Měření pravděpodobnostní charakteristiky jaderných procesů 4
- 3 Měření šířky zakázaného pásu polovodičů 4
- 4 Charakteristika a mrtvá doba Geiger-Müllerova počítáče 2
- 5 Spektrum atomu vodíku a dalších prvků 1
- 6 Závislost intenzity záření na vzdálenosti 1
- 7 Studium fotoelektrického jevu 1
- 8 Studium Šottrašního počítáče 1
- 9 Ověření Stefan - Boltzmanova zákona 1
- 10 Stanovení maximální energie záření beta absorcí 1

Obrázky z fotogalerie

Oblíbené odkazy:
Google
Jihomoravská univerzita
Wikipedia

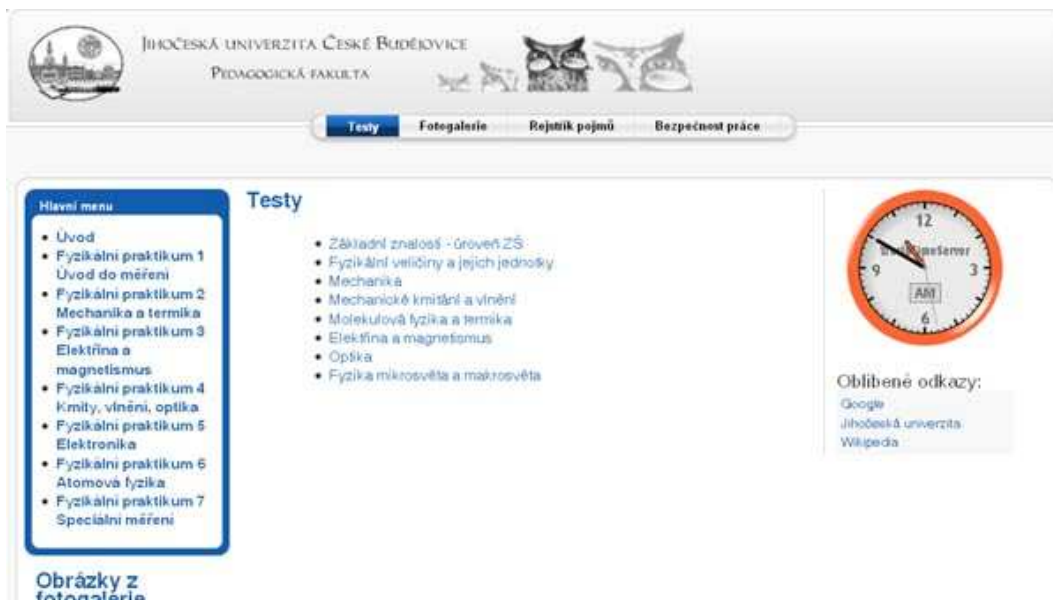
Obrázek č. 13 : Obrazovka www stránek – kategorie „Atomová fyzika“

Fyzikální praktikum 7 – Speciální měření



Obrázek č. 14 : Obrazovka www stránek – kategorie „Speciální měření“

4.3 Sekce Testy



Obrázek č. 15 : Obrazovka www stránek – sekce „Testy“

Vytvořeno celkem 37 testů pro ověření znalostí z jednotlivých oblastí. Každý test má 12 otázek, po označení odpovědi se hned objeví informace o její správnosti. Materiál otázek viz [19].

Základní znalosti – úroveň ZŠ – 9 testů

Fyzikální veličiny a jejich jednotky – 3 testy

Mechanika – 6 testů

Mechanické kmitání a vlnění – 3 testy

Molekulová fyzika a termika – 4 testy

Elektrina a magnetismus – 4 testy

Optika – 4 testy

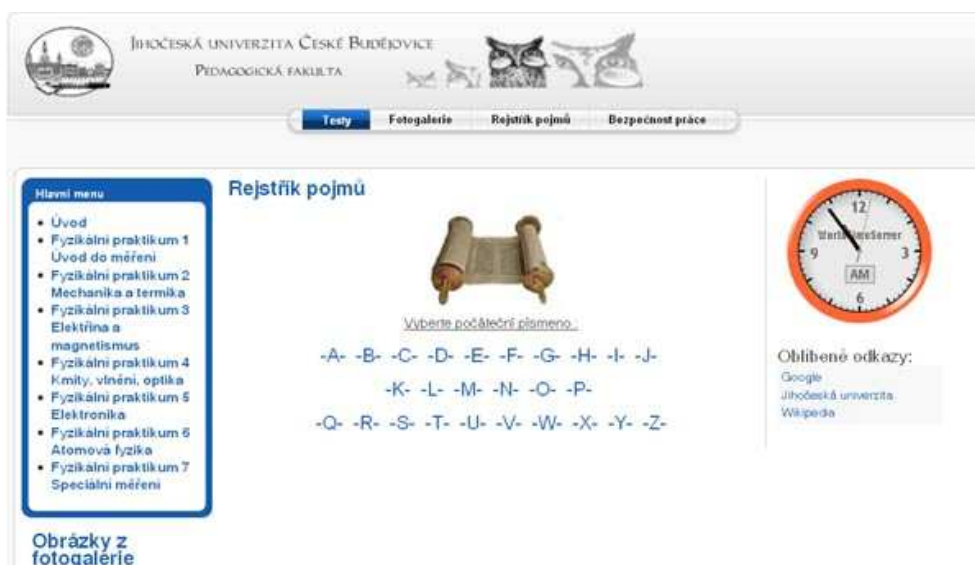
Fyzika mikrosvěta a makrosvěta – 4 testy

4.4 Sekce Fotogalerie



Obrázek č. 16 : Obrazovka www stránek – sekce „Fotogalerie“

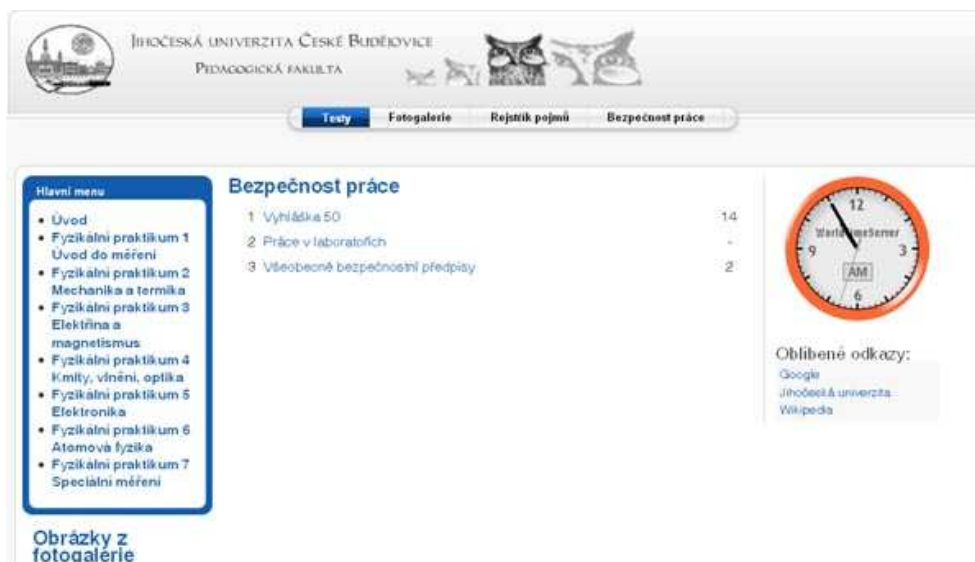
4.5 Sekce Rejstřík pojmů



Obrázek č. 17 : Obrazovka www stránek – sekce „Rejstřík pojmů“

Sekce je dále rozdělena podle počátečních písmen pojmů. Jsou zde uvedeny nejdůležitější pojmy z oblasti fyziky. Vše je provázané s internetovou encyklopedií Wikipedia - viz [19].

4.6 Sekce Bezpečnost práce



Obrázek č. 18 : Obrazovka www stránek – sekce „Bezpečnost práce“

Sekce obsahuje komplexní přehled znalostí „vyhlášky 50“ – viz [20] a bezpečnostní pokyny pro práci v laboratořích – viz [21].

5. ZÁVĚR

Na vytvořených webových stránkách studenti mohou najít veškerý studijní materiál potřebný k výuce předmětu Fyzikální praktikum. Stránky obsahují různé návody a rady pro provedení a vypracování úloh měření, včetně podrobně popsanych úloh měření ze všech oblastí fyziky. Teoretický rozbor a popis jednotlivých úloh lze využít k vlastní přípravě a zpracování protokolů z měření. Studenti si mohou také otestovat nabyté znalosti a vědomosti z teorie i praxe v jednotlivých oblastech fyziky krátkým testem, kde jsou ihned informováni o správnosti odpovědi. Rejstřík pojmů obsahuje základní fyzikální pojmy a je přímo propojený s internetovým portálem www.wikipedia.cz. Bezpečnost práce je dnes důležitou oblastí, kterou bychom v praxi neměli opomíjet. Zdraví máme pouze jedno. Je zde uvedeno jak se chovat v laboratořích a také podrobně rozvedena elektrotechnická vyhláška 50, tyto znalosti můžeme využít nejen na studentské půdě, ale především pak v dalším zaměstnání. Webové stránky je možno dále aktualizovat a doplňovat o další poznatky z měření.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

[1] PROCHÁZKOVÁ, E.: Úvod do teorie a praxe fyzikálního měření I. PF JU České Budějovice, 1979. 149 stran.

[2] ČSN ISO 31-0 Veličiny a jednotky. Část 0: Všeobecné zásady. ČNI, Praha, 1994.

[3] ČSN ISO/IEC 80000 Veličiny a jednotky. ČNI, Praha, 2007.

[4] Otevřená encyklopedie Wikipedia – Fyzikální veličina [online], 2010 [cit. 2010-10-28]. Dostupná na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fyzik%C3%A1ln%C3%AD_veli%C4%8Dina>

[5] Otevřená encyklopedie Wikipedia – Soustava SI [online], 2010 [cit. 2010-10-28]. Dostupná na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soustava_SI>

[6] Otevřená encyklopedie Wikipedia - Měření [online], 2010 [cit. 2010-10-28]. Dostupná na www:

<<http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9B%C5%99en%C3%AD>>

[7] Otevřená encyklopedie Wikipedia - Měření fyzikální veličiny [online], 2010 [cit. 2010-10-28]. Dostupná na www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9B%C5%99en%C3%AD_fyzik%C3%A1ln%C3%AD_veli%C4%8Diny>

[8] WWW stránky - Chyby vzniklé při měření [online], 2010 [cit. 2010-10-28]. Dostupné na www:

<<http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/chyby/chyby.php>>

<<http://evvo.spaco.cz/pohled-matematika/chyby-mereni/>>

<<http://jankoweb.brb.cz/blog/studium/mereni-a-protokoly-vypocty-odchylek/>>

[9] WWW stránky - Zásady pro vyhodnocení měření [online], 2010
[cit. 2010-10-28]. Dostupné z www:

<<http://praktika.fjfi.cvut.cz/ProvPokyny/zasady.html>>

[10] WWW stránky – Princip měřících přístrojů [online], 2010

[cit. 2010-08-15]. Dostupné z www:

<<http://www.smilek.cz/skripta%20pdf/mereni%201%20merici%20pristroje%20skripta.pdf>>

[11] WWW stránky – Činnost a vlastnosti elektrických měřících přístrojů [online], 2010 [cit. 2010-08-15]. Dostupné z www:

<<http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/uhrovah/skripta/kapitola%20V.pdf>>

[12] BROŽ, J., ROSKOVEC, V., VALOUCH, M.: Fyzikální
a matematické tabulky. Praha: SNTL, 1980.

[13] STACH, V.: Fyzikální praktikum I (Mechanika a termika). PF JU
České Budějovice, 1988. 85 stran.

[14] DAVID, P.: Fyzikální praktikum II (Elektřina a magnetismus). PF JU
České Budějovice, 1985. 135 stran.

[15] STACH, V., TESAŘ, J.: Fyzikální praktikum III (Optika). PF JU České
Budějovice, 1992. 140 stran.

[16] ŠPATENKA, P., KALČÍK, J.: Fyzikální praktikum IV (Atomová a
jaderná fyzika). PF JU České Budějovice, 1989. 129 stran.

[17] Redakční systém JOOMLA pro tvorbu webových aplikací [online], 2010 [cit. 2010-10-28]. Dostupný na www: < <http://www.joomlaportal.cz/> >

[18] BROŽA, P.: Programování WWW stránek pro začátečníky. Computer Press Praha, 2000. 144 stran.

[19] ŠIROKÁ, M. a kol.: Fyzika – Testy. Prometheus, 2004. 184 stran.

[20] Otevřená encyklopedie Wikipedia [online], 2010 [cit. 2010-10-28] Dostupná na www: < <http://cs.wikipedia.org/> >

[21] Elektrotechnická „vyhláška 50“ [online], 2010 [cit. 2010-08-15]. Dostupná na www: < <http://wiki.ondrej.org/vyhlaska50:start> >

[22] Bezpečnost práce v laboratořích [online], 2010 [cit. 2010-08-15]. Dostupné z www:

<<http://old.lf.cuni.cz/chemie/cesky/praktika/bezpecnost.htm>>