

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Měření rychlosti střely ve fyzikálním praktiku

(Speed measurement of the bullet in the physics practicum)

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PaedDr. Jiří Tesař

Autor: Zdeňka Schoberová

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Pedagogická fakulta
Katedra fyziky
Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeňka SCHOBEROVÁ**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Měřicí a výpočetní technika**

Název tématu: **Měření rychlosti střely ve fyzikálním praktiku**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- Teoretický rozbor měření rychlosti střely
 - Sestavení balistického kyvadla, návrh měření jeho výchylky
 - Vytvoření aparatury rotujících kotoučů, návrh měření odchytky průstřelů
 - Vyzkoušení vytvořených aparatur pro různé druhy vzduchovek a vzduchových pistolí
 - Vypracování návodů na měření zadané úlohy
 - Komparace dosažených výsledků s údaji získaných jinou metodikou a s údaji výrobce
-

Rozsah práce: cca 40-50 stran
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika, SNTL Praha, 1981.
2. Javorskij, B.M.: Přehled elementární fyziky, SNTL 1989.
3. Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření, SPN Praha 1983.
4. Hanák, J.: Myslivecké střelectví.
5. Hartink, A., J.: Velká encyklopedie loveckých zbraní.
6. Internetové stránky výrobců vzduchových zbraní.

Vedoucí bakalářské práce: PaedDr. Jiří Tesař, Ph.D.
Katedra fyziky


Datum zadání bakalářské práce: 7. listopadu 2006

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2007



doc. PhDr. Alena Hošpesová, Ph.D.
děkanka




prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 7. listopadu 2006

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá laboratorním měření rychlosti střely vzduchovky. Na základě teoretického rozboru základních pojmů balistiky jsou navrženy a odzkoušeny dvě metody měření – pomocí rotujících kotoučů a pomocí balistického kyvadla. Práce je doplněna vlastními naměřenými výsledky, vzorovým měřením a obrazovou dokumentací.

Abstrakt:

The main subject of this bachelor's thesis is the laboratory measurement of an airgun bullet velocity. Elementary ideas of ballistics are theoretically discussed and, afterwards, two elementary measurement methods are described in detail and experimentally verified. First method is based on a couple of rotating discs and the second one is based on the energy conservation law of a ballistic pendulum. In the thesis there are presented both the description and the results of these measurements.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou předloženou práci vypracovala zcela samostatně a uvedla jsem veškerou použitou literaturu.

V Brandýse nad Labem 10.11.2007 Zdeňka Schoberová

Poděkování

Touto formou děkuji svému vedoucímu práce p. PaedDr. Jiřímu Tesařovi, za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce i mému kolegovi Břetislavovi Patčovi.

Obsah:

1. Úvod	08
2. Teoretický rozbor měření rychlosti střely	09
2.1. Střela	09
2.2. Balistika	11
2.2.1. Vnější balistika a balistická křivka	13
3. Střelné zbraně	17
3.1. Historický vývoj	17
3.2. Rozdělení střelných zbraní	18
3.3. Popis použitých střelných zbraní	22
4. Měření pomocí balistického kyvadla	28
4.1 Balistické kyvadlo	28
4.2 Sestavení balistického kyvadla	31
4.3 Vypracování návodu na měření balistického kyvadla	33
4.4 Použití vytvořeného balistického kyvadla a vlastní měření	34
4.5 Vyhodnocení měření pomocí balistického kyvadla	38
5. Měření pomocí aparatury rotujících kotoučů	39
5.1. Teoretický rozbor pro měření rotujícími kotouči	39
5.2. Sestavení aparatury rotujících kotoučů	40
5.3. Použití vytvořené aparatury rotujících kotoučů	42
5.4. Vytvoření aparatury rotujících kotoučů	44
5.5. Vyhodnocení měření pomocí aparatury rotujících kotoučů	48
6. Závěr	50
7. Seznam použité literatury	51
Přílohy	52
Obrázky, technická dokumentace, terče	52
Vzorové protokoly	63
Video záznam měření	

1. Úvod

Pro svou práci jsem si vybrala měření rychlosti střely, protože mě zaujalo, že v současné době dochází k velkému vývoji střelných zbraní. Je to zajímavá úloha nejen do fyzikálního praktika. Technická realizace se dá využít i na středních školách, ale i na základních ve fyzice, z hlediska fyzikálních principů (dráha, rychlost, práce, energie, hybnost,...) s propojením historie vývoje střelných zbraní, která sahá až do starověku.

Dá se využít i při výrobě dětských hraček, kde díky využití metod použitých v této bakalářské práci se dá například určit bezpečnost hračky (průraznost, rychlost střely,...)

Podkladem pro bakalářskou práci byly informace z internetu, odborné literatury, znalosti a zkušenosti odborníků přes střelné zbraně, ale i vlastní měření rychlosti střely s použitím navržených aparatur viz kap. 4.2. a 5.2.

Pro svou práci jsem nejdříve sháněla veškeré informace potřebné pro navržení měřících aparatur.

Práce se nejvíce vyvíjela v prostorách školy FZŠ Palachova v Brandýse nad Labem.

Nejdříve jsem si myslela, že stojan pro rotující kotouče bude využit zároveň i pro balistické kyvadlo, ale kvůli stabilitě aparatury jsem jej musela rozdělit. Uchycení kyvadla mělo různé zavěšení. Po konzultaci s p. Tesařem, vzhledem k místním podmínkám na PF JU v Č. Budějovicích pro využití práce ve fyzikálním praktiku upraveno na zeď laboratoře.

2. Teoretický rozbor měření rychlosti střely

2.1. Střela

Těleso vymrštěné ze střelné zbraně je střela, která je určena k zasažení cíle v určité vzdálenosti. Kromě jednotných střel existují hromadné střely s náplní většího množství pevných těles (například brokových nábojů) a střely s náplní plynu nebo kapaliny. Za střely je lze považovat jen v případě, že jsou určeny a uzpůsobeny k vystřelování ze střelných zbraní. Pro jiné druhy střel jsou stanoveny další zvláštní podmínky.

Existuje nepřeborné množství střel pro náboje do ručních palných zbraní. Stále vznikají nové, aby se vyhovělo všem rozporuplným požadavkům, které jsou na ně kladeny. Například poslední dobou je stále věnována větší pozornost ekologii. Střely uvolňují při výstřelu i při dopadu, když dojde k roztržení střely, jedovaté olovo do okolního prostředí. Proto se hledají nová řešení - střely z nejedovatého materiálu atd...

Střely můžeme rozdělit z několika hledisek na plášťové a olovněné.

Plášťové střely.

Ty se skládají z jádra a pláště. Jádro střel může být buďto homogenní tzn. z jednoho materiálu nebo složené z několika částí. Vojenské střely jsou klasickým příkladem složeného jádra. Poloha složeného jádra ovlivňuje polohu těžiště a tím i stabilitu střely. Využívá se toho u konstrukcí moderního malokaliberního vojenského střeliva.

Plášťové střely dobře snášejí vysoké rychlosti a velice dobře jsou vedeny ve vývrtu hlavně. Díky těmto vlastnostem se mohou použít u rychle hořících prachů, což se většinou projevuje díky nízkým ústřovým tlakům, na přesnosti. I k okolí je podstatně čistější. Plášťová střela má tenkostěnný plášť (zpravidla tombakový), ve kterém je olovněné jádro. Podle tvaru pláště i jádra rozeznáváme několik druhů.

Olovněné střely.

Všechny olovněné střely do ručních střelných zbraní byly až do konce minulého století vyráběny litím z olovněných slitin pro vysokou hustotu, snadnou dostupnost materiálu a jeho zpracování. Kov je relativně měkký, a proto je k hlavní šetrnější.

Výroba je podstatně jednodušší a to ovlivňuje i cenu. Převážně se vyrábějí litím, popřípadě lisováním.

Olovněné střely mají náboje malorážkové a flobertkové. Olovněnými střelami jsou i broky. Informace v [1].

Střelivo

Náboj se skládá z nábojnice se zápalkou, prachové náplně nebo jen nárazové složce (flobertkový kulový náboj) a ze střely.

Dále rozlišujeme ostré a slepé střelivo a střelivo bez obsahu výbušných látek.

Někdy střelivo označujeme také jako municí. Toto slovo je latinského původu; munito v původním smyslu znamenalo válečné opevnění, později válečný materiál a nakonec materiál pro střelbu z děl a ručních palných zbraní.

Rozdělení střeliva

Střelivo:

1. pro palné zbraně (náboje):

a. se středovým zápalem - kulové – okrajové, bezokrajové, s dosedacím nákružkem

- brokové - se střelou hromadnou, se střelou jednotnou

b. s okrajovým zápalem – kulová, broková

2. pro plynové zbraně (střely): Diabolo, broky, šipky

Pro střelbu ze vzduchovek jsou určeny střely Diabolo. Vyznačují se výrazným zúžením v první třetině délky (měřeno od špičky střely) a delší vodící částí v porovnání se sférickými střelami, díky čemuž dosahují lepší přesnosti střelby.

Broky

Označení pro olovněné (dnes i ocelové, zinkové, cínové) sférické střely různých průměrů, které se v přesně určených počtech podle své velikosti a ráže nabíjejí jako hromadná střela do jednoho náboje a jsou pak najednou vystřeleny. Za předchůdce brokových nábojů můžeme považovat sekané olovo, které se vystřelovalo ve středověku při obranných bojích z hákovnic a podobných zbraní. Odléváním z olova se vyráběly první kulaté broky a ohlazovaly se do kulata ve speciálním rotačním bubnu. První věž na odlévání broků z výšky stojí v Kärnteru a pochází z roku 1818. Olovo používané k výrobě broků obsahuje kromě antimonu hlavně arzén, který způsobuje příznivé povrchové napětí a tím podporuje docílení lepší kulatosti broků při procesu lití. Obsah antimonu je pro kvalitu broků rozhodující.

Možné výrobní procesy v [2].

2.2. Balistika

Balistika je věda o pohybu vržených nebo vystřelených těles (od řeckého slova *ballein*, tj. vrhat, metat). Zabývá se výpočtem všech chemických a fyzikálních dějů, jež se odehrávají při výstřelu. Svoje začátky má ve starověku. Válečné stroje, s jejichž pomocí se metaly kameny nebo jiné střely, se označovaly jako balisty (řecky *palintonon*). Informace v [3].

Tento termín se pak ve středověku používal pro nejstarší děla, prakticky hmoždíře. Jednalo se spíše o vrhací stroj než o přesnou střelnou zbraň. S příchodem palných zbraní se nauce o střelbě otevřela velká nová oblast, jež se časem téměř zcela soustředila na zbraně. Jsou to zbraně používající k dopravě střely na větší vzdálenost střelný prach. První primitivní střelné zbraně pocházejí ze 14. století. Od té doby prošly různými změnami (vylepšení). Moderní palné zbraně jsou velmi rozmanité (patří sem velká dalekonosná děla i malé lehké pistole), velmi přesné a navíc výkonné – nemusejí se po každém výstřelu nabíjet. Přesto i ty nejmodernější střelné zbraně fungují podle stejného principu jako první kanón.

Vznikl nový vědní obor - balistika. Za zakladatele teoretické balistiky je pokládán švýcarský matematik a fyzik Leopard Rulet (1707 – 1783). V průběhu dlouhých let a vlivem všeobecného vědeckotechnického pokroku vznikla speciální odvětví.

Balistiku dělíme na teoretickou a experimentální. Teoretická řeší úkoly výpočtem, experimentální řeší tyto úkoly pokusem. Obě navzájem souvisejí, neboť vždy je nezbytné teoretické výpočty ověřit pokusnou střelbou. Zpravidla je třeba výpočty opravit podle výsledků pokusu.

Rozlišujeme balistiku vnitřní (vývin výstřelu v hlavni, iniciační a spalovací procesy), dále úst'ovou neboli přechodovou balistiku (jevy vyskytující se v okamžiku opuštění ústí hlavně), vnější balistiku (dráha letu střely a jevy, jež ji ovlivňují, let střely ve vzduchu nebo vzduchoprázdnu), balistiku cílovou neboli koncovou (děje v cíli) a balistiku terminální (zkoumá děje při pohybu střely v prostředí, do kterého přestoupila ze vzduchu), patří sem balistika ranivá a biobalistika, které zkoumají otázky účinků střel na tělo člověka nebo zvíře.

Technika střelby, nauka o střelbě, nauka o zbraních a střelivu jsou oblasti, jež odborník-balistik ovládá jakožto sousední obory balistiky. Jako balistika tedy nemůžeme označovat člověka, jenž má odborné znalosti jen z těchto dílčích oborů.

Mezi další odvětví balistiky patří balistiky kriminalistická a lovecká.

Kriminalistická balistika je samostatná vědní disciplína, která studuje prostředky a metody vyhledávání a zkoumání střelných zbraní, střeliva, jejich součástí, stop střely a z hlediska potřeb kriminalistiky zkoumání otázek balistiky. Pomáhá řešit případy, kde bylo použito střelných zbraní. Kriminalistická balistická expertiza je postavena především na poznatcích hlavně z fyziky, mechaniky, obecné kriminalistické trasologie atd...

Lovecká balistika je oblast nauky o výstřelu a zabývá se především účinkem střely. Zajímavá je především pro lovce.

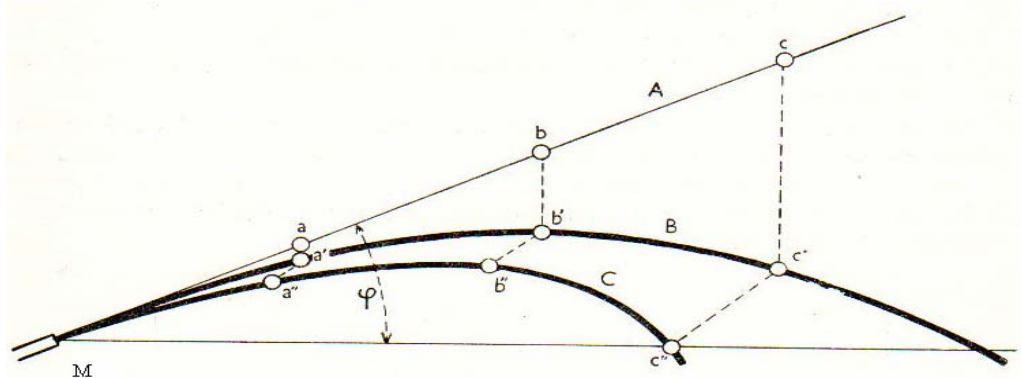
2.2.1. Vnější balistika

Studuje zákony pohybu střely na dráze v odporujícím prostředí (vzduch, voda, pevné prostředí).

Po výstřelu z ústí hlavně se střela pohybuje po zakřivené dráze, jejíž tvar ovlivňuje: - počáteční rychlost střely v (úst'ová rychlost)

- tíhové zrychlení (zemská přitažlivost)
- odpor vzduchu
- hodnota tvarového součinitele střely
- stabilizační rotace střely
- poloha hlavně v okamžiku, kdy střela opouští její ústí, čili úhel výletu

Kdyby na střelu letící ve vzduchoprázdnu rychlostí v , nepůsobila tíhová síla, pohybovala by se neustále nezmenšenou rychlostí ve směru odpovídající orientaci vývrtu hlavně v okamžiku výletu střely z ústí hlavně přímka A (na obr. č. 2.2.1.1). Vlivem tíhové síly (bez uvážení odporu vzduchu) se střela s časem přibližuje k zemi a dráha střely nabývá podobu křivky, jejíž nejvyšší bod, vrchol dráhy, leží uprostřed křivky B (na obr. č. 2.2.1.2), pokud se ústí hlavně a cíl nacházejí v jedné vodorovné rovině.

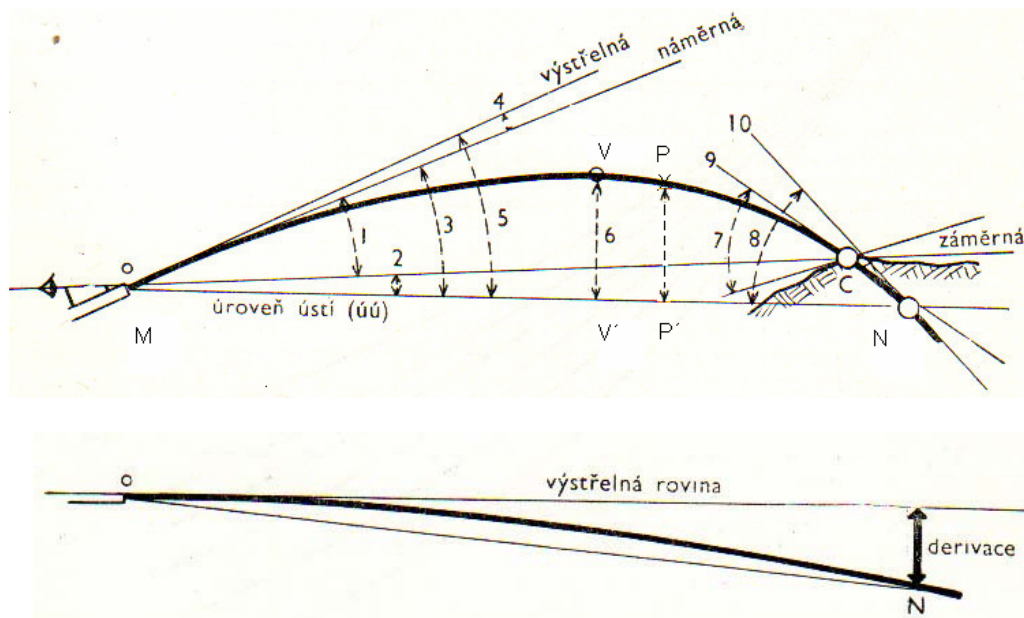


Obr. č. 2.2.1.1 Dráha střely:

A – ve vzduchoprázdnu a bez působení tíhového pole Země,

B – ve vzduchoprázdnu, C – ve vzduchu.

Ve vzduchoprázdnu by tedy dráhu střely tvořila parabola se stejným zakřivením vzestupné a sestupné větve dráhy a největší délka střelby by se dosahovala při výletovém úhlu 45° . Ve skutečnosti se však střela pohybuje prostorem vyplněným vzduchem, ve kterém je pohyb střely neustále zpomalován působením odporu vzduchu. Rychlost střely s časem klesá, čímž se zmenšuje konečná délka střelby. Střela (její těžiště) na své dráze opisuje tzv. **balistickou křivku**. Dopadový úhel je větší než úhel výletový a nejvyšší bod dráhy střely leží blíže bodu dopadu střely křivka C (na obr. č. 2.2.1.1 a obr. č. 2.2.1.2).



Obr. č. 2.2.1.2 Prvky dráhy střely

O – počátek dráhy, $uú$ – vod. rovina proložená středem ústí hlavně, C – záměrný bod v cíli, na který zaměřujeme (míříme), oC – záměrná (spojnice oka, hledí, mušky a záměrného bodu), náměrná – prodloužená osa hlavně při zamíření před výstřelem, výstřelná – prodloužená osa hlavně v okamžiku výstřelu, 1 – záměrný úhel, 2 – polohový úhel cíle (může být kladný nebo záporný podle polohy cíle nad nebo pod úrovní ústí), 3 – úhel elevační (náměr), 4 – úhel zdvihu (je zpravidla kladný), 5 – úhel výstřelu, 6 – výška dráhy, 7 – úhel nárazu, 8 – úhel doletu, V – vrchol dráhy, VN – oblouk sestupný. (Vždy kratší a zakřivenější než oblouk vzestupný – oV), deprese – záporný úhel sevřený náměrnou a úrovní ústí (při střelbě ze svahu).

Dnes nám může připadat zvláštní, že se před 300 lety matematici domnívaly, že se střela ve vzduchu pohybuje přímočaře tak dlouho, dokud jí vystačí počáteční energie a poté, po průletu krátkého obloukového úseku, padá kolmo k zemi.

Při popisu dráhy střely klademe do úrovně ústí vztažnou vodorovnou rovinu. Kolmá vzdálenost nejvyššího bodu dráhy střely od této roviny se nazývá maximální výška dráhy (úsečka V - V' na obr. č. 2.2.1.2) a kolmá vzdálenost libovolného bodu dráhy od vztažné roviny výška dráhy střely (např. P-P' obr. č. 2.2.1.2). Úhel, který svírá tečna dráhy s vodorovnou rovinou v bodě dopadu střely N, se nazývá dopadový úhel. Je větší než výletový úhel.

Leží-li cíl podstatně výše nebo níže než ústí hlavně má na podobu dráhy střelby vliv také takzvaný úhel náměru a poloha bodu dopadu střely je jiná než v případě, kdy je ústí hlavně a cíl v jedné rovině. Informace v [4].

Na podobu dráhy střely má také vliv směr rotace střely. Střela se při svém letu vychyluje mírně do směru své rotace, čili pravotočivé střely se vychylují doprava. Tato odchylka je však na poměrně krátkých vzdálenostech střelby, vyrovnávána již při nastřelení zbraně.

Základní balistická data střeliva najdete buďto na komerčním balení střeliva, či v katalogu výrobce v [1, 4].

3. Střelné zbraně

3.1. Historický vývoj

V posledních stoletích se staly střelné zbraně nejběžnějšími zbraněmi užívanými lidstvem. Masově je začali používat husité. Od renesance se moderní válčení spoléhá především na střelné zbraně, které měly velký vliv na historii a expanzi civilizace Západu. Postupně v mnoha ohledech (společně s dalšími vynálezy) zásadním způsobem změnilы způsob vedení války.

Pro historické palné zbraně se obvykle používal projektil ve tvaru koule. Moderní palné zbraně používají téměř vždy ogiválního tvaru střely, kdy přední část má u dlouhých zbraní obvykle tvar ostré špičky, u krátkých od paraboly po kouli, případně i kužel. Zadní část má válcový tvar, někdy se zadní částí zúženou. U dělostřeleckých granátů, které dnes téměř bez výjimky obsahují výbušnou směs, se používají i odpařovací dna střel, která snižují podtlak vznikající za střelou a tak zvyšují účinný dostřel granátu.

Střelná zbraň je zařízení, které vysílá hmotné projektily na cíl. Účelem je zničení nebo poškození cíle. Nejrozšířenějším druhem střelných zbraní jsou v současné době palné zbraně.

Střelná zbraň předává střele (projektilu) kinetickou energii, potřebnou k její dopravě a silovému působení na cíl. Silové působení může, ale nemusí být hlavním účinkem projektilu. Nejstarší střelné zbraně užívaly jako zdroj různě transformovanou a akumulovanou energii lidských nebo zvířecích svalů, palné zbraně využívají chemickou energii zápalné látky. Probíhá intenzivní výzkum využití dalších fyzikálních principů (elektromagnetický princip, plazmová děla) – zatím bez významnějších praktických aplikací.

3.2. Rozdělení střelných zbraní

Střelné zbraně se dělí na mechanické, plynové a palné.

Mechanické střelné zbraně jsou luky, kuše, praky a jiné. Všechny tyto zbraně do pohybu uvádí mechanická energie. Jejich historie sahá až do pravěku. Pro kriminalistickou balistiku jsou bezvýznamné (nemají hlaveň ani nábojnici – nutnost pro identifikaci). Informace v [3].

Plynové střelné zbraně jsou vzduchovka, plynovka a větrovka. Zbraně bez nábojnice, ale mají hlaveň (tou je při výstřelu protlačována střela, např. diablo).

Plynové zbraně – označení zbraní, u nichž je střela v hlavní urychlována pomocí stlačeného vzduchu nebo oxidu uhličitého, případně jiného plynu. V podstatě se rozlišují dva systémy:

1. Větrovky: tyto zbraně mají tlakovou nádobu, které se plní buď pomocí pístu ovládaného pákou nebo stlačeným vzduchem z tlakové nádoby. Při výstřelu se z válce ventilem uvolní stlačený vzduch a vytlačí střelu z hlavně. Dosažená rychlost střely závisí na tlaku vzduchu v tlakovém válci a na způsobu funkce ventilu. U tohoto systému se při výstřelu neuvolňují žádné silné pružiny, v mechanismu zbraně tak nedochází k žádným silným rázům. Výstřel probíhá bez velkých otřesů zbraně, čemuž odpovídá i vysoká přesnost střelby. Výkonné větrovky se kdysi používaly i jako lovecké či armádní zbraně.

2. Vzduchovky s tlakovou pružinou. Mají válec, ve kterém je vzduchotěsně uložen píst se silnou vinutou pružinou. Před výstřelem se pružina napne. Při výstřelu se uvolní píst a stlačuje před sebou vzduch, který malým otvorem proniká do hlavně a urychluje střelu. Systém pracuje stejně jako jednoduché vzduchové čerpadlo. Napínání tlakové pružiny se uskutečňuje různým způsobem:

1. sklopením hlavně.
2. sklopením lučičku s pákovým prodloužením.
3. pomocí kliky, jako například u tyrolské vzduchovky.
4. u zbraně s pevnou hlavní pomocí páky, umístěné pod hlavní jako u anglických vzduchovek BSA a německé vzduchovky HW 77.
5. pomocí páky, umístěné po straně pevné hlavně.

Hlavně vzduchovky bývají opatřeny buď hladkým vývrtem (slouží především k vystřelování šipek) nebo drážkovaným vývrtem (umožňuje přesnou střelbu střel pro vzduchovky). Ke střelbě z hladkých hlavní se používají šipky se stabilizátorem z vlněných vláken a obvyklé vzduchovkové sférické broky. Ke střelbě z drážkovaných hlavní slouží střely typu Diabolo.

Plynové zbraně na CO₂

U těchto zbraní slouží k pohonu střely stlačený oxid uhličitý (CO₂). CO₂ je při běžné pokojové teplotě plyný, stlačením jej lze zkapalnit. Tlak, pod kterým je plyný CO₂ stlačen v tlakové nádobě, závisí na teplotě a odpovídá tlaku sytých par, který u CO₂ při teplotě +20° činí asi 60 barů (60x10⁵Pa). Když CO₂ proudí z tlakové nádoby, přemění se na plyn tolik kapalného, až je znovu dosažena hodnota tlaku sytých par. Vývoj plynu ovšem skončí ve chvíli, kdy se veškerý zbývající kapalný CO₂ v nádobě přemění na plyn; v takovém případě při dalším odběru plynu rychle klesá tlak v nádobě a tím i rychlost střely. CO₂ se odebírá ze samostatného tlakového válce, který bývá umístěn pod hlavní zbraně. Válec se plní ze zásobovací tlakové nádoby. Jinou možností je odběr CO₂ ze sifonových náplní, které se používají k přípravě sodové vody. Při výstřelu se na krátký okamžik otevře ventil a CO₂ proudí do hlavně.

Plynovky jsou zbraně, které vzhledem ke svému konstrukčnímu osvědčení jsou opatřeny značkou PTB a nepodléhají registrační povinnosti. Plynovka je expanzní zbraň s výšlehovým otvorem v ose hlavně, zkonstruovaná pro použití nábojek, které uvolňují dráždivý plyn a vytvářejí akustický efekt.

Palné střelné zbraně jsou brokovnice, pistole, kulovnice, revolvery aj. Střela neboli projektil je uvedena do pohybu okamžitým uvolněním chemické energie střelného prachu samostatné zápalkové složce (směs třaskavin, hořlavin a oksličovadel), k předání kinetické energie jednomu nebo více projektilům (střelám). Jedná se o princip zážehového motoru s nevratným pístem. U starších zbraní byl výmetnou látkou obvykle černý střelný prach, ale u moderních zbraní je to téměř bez výjimky bezdýmny střelný prach. Právě palnými zbraněmi se v drtivé většině zabývá kriminalistická balistika. Zjišťuje se ráže, průměr střely, konstrukce, výrobce a doba výroby.

Náboje u palných střelných zbraní jsou uloženy v zásobníku, odkud se dostávají do komory na jednom konci hlavně a jsou skrz hlaveň vystřeleny. Samotný způsob výstřelu se liší podle jednotlivých typů střelných zbraní. Důležitým pojmem u většiny z těchto typů je spoušťový mechanismus a závěr hlavně. Ještě před samotným výstřelem je třeba zamířit. K procesu míření slouží buď kombinace mušky a hledí, kolimátor nebo puškohled. Samotným procesem výstřelu se zabývá věda balistika.

Důležité také je, že náboje mají různý dostřel, což souvisí s jejich rozdílnou ústřovou rychlostí a ústřovou energií. Náboje mají různou ráži.

Existují tři hlavní kategorie palných zbraní: těžké, lehké a ruční (krátké a dlouhé). U všech se vyskytují zbraně automatické. Informace v [3].

Pistole

Pistole je zpravidla jednohlavňová, původně jednoranná krátká palná zbraň. Vznik slova pistole se vysvětluje různými způsoby. Někteří jazykovědci jej odvozují od jména italského města Pistoia, kde se prý poprvé pistole vyráběly a používaly. Pravděpodobnější je však vznik slova pistole odvozením z českého slova píšťala, které se za husitských válek používalo k pojmenování tehdy nové palné zbraně. Označení píšťala mělo být ve své době odvozeno od slova pískat; existuje domněnka, že název píšťala byl zvolen kvůli krátkému ostrému zvuku, který zbraň při střelbě vydávala.

Dnes se pod označením pistole rozumí krátká palná zbraň s nábojovou komorou v hlavní (bez ohledu na to, zda se jedná o jednorannou nebo vícerannou zbraň), naproti tomu u revolveru jsou nábojové komory (zpravidla pět nebo šest) součástí nábojového válce.

Jako obranné zbraně mají jednoranné pistole velmi nízkou hodnotu. Proto se velmi brzy objevily snahy o sestrojení krátkých zbraní umožňujících vystřelení více výstřelů (opakovacích pistolí). Dalším vývojovým stupněm na cestě k účinné zbraní pro sebeobranu byly samonabíjecí pistole (někdy označované jako automatické). Pro potřeby policie a armády se vyrábějí větší pistole na výkonnější náboje (většinou v rážích 9 mm Luger nebo 45 ACP), pro skryté nošení jsou určeny menší zbraně, zpravidla na méně výkonné náboje. Rovněž sportovní pistole, například pro olympijskou disciplínu rychlopalná pistole, používají náboje méně výkonných ráží (samonabíjecí pistole).

Z někdejších jednohlavňových pistolí se vyvinuly dnešní moderní terčové pistole, především ráže 22 LR, které představují současné a konečné stadium jednohranných krátkých palných zbraní (terčová pistole).

Je zarážející, jak často se ještě dnes zaměňují pistole s revolvery. Mládež při svých hrách své revolvery nazývá kolty. To má ještě smysl, neboť nejde o záměnu technicky odlišných pojmů. Často se však se záměnou pojmů pistole a revolver setkáme v tisku nebo na stránkách detektivních románů. Oba typy zbraní se však dají od sebe velmi jednoduše rozeznat: Nezaměnitelným rysem revolveru je nábojový válec.

3.3. Soutěžní zbraně a střelecké soutěže

Střelba ze vzduchové pistole – (použitá TAU 7 – modifikace pušky)



Obr. č. 3.3.1 TAU 7 – modifikace pušky

TAU 7 má nastavenou úst'ovou rychlost 125 m/s až 130 m/s.

Při soutěžích se mohou použít plynové pistole na vzduch a CO₂ libovolného druhu, ráže 4,5 mm, v komerčním provedení. Pistole mohou být až 42 cm dlouhé a až 20 cm vysoké. Míří se vstoje, zbraň se drží v jedné ruce (držení jednou rukou bez opory). Střílí se na vzdálenost 10 m, na terč s deseti kruhy (průměr desítky 11,5 mm, černého pole 59,5 mm, šířka mezikruží 1 až 9 vždy 8 mm). Hodnota odporu spouště je stanovena na 0,5 kg. Nově byla zavedena disciplína rychlopalná pistole, při které se uplatní pětiranné pistole. Střílí se na vzdálenost 10 m, na sklopné terče, resp. ukazatele zásahů.

Střelba ze vzduchové pušky

Při soutěžní disciplíně střelba na 10 m je možné použít vzduchovou pušku jakéhokoliv druhu, včetně plynových zbraní na CO₂, jejichž ráže je 4,5 mm a hmotnost činí nejvýše 5,5 kg. Je povoleno používat střely libovolného provedení, čili sférické a špičaté střely a střely Diabolo. Na terči je deset kruhů, průměr desítky je 0,5 mm, šířka ostatních kruhů je vždy o 2,5 mm větší. Průměr černého pole terče je 30,5 mm. Vzduchové pušky vyvinuté speciálně pro soutěže mají vynikající přesnost. Soutěžní střelba ze vzduchovky, zpočátku byla pouze v Německu, se brzy rozšířila do celého světa a stala se olympijskou disciplínou. Mnohokrát se podařilo vyrovnat světový rekord. Střelbu ze vzduchovky lze za určitých podmínek provozovat i mimo území schválených střelnic, je však třeba dbát ustanovení českého zákona o zbraních.

Střelné zbraně typu TAU – plynové pušky na CO₂



Obr. č. 3.3.2 TAU 200 – bílá (úst'ová rychlost 180m/s)



Obr. č. 3.3.3 TAU 200 – (úst'ová rychlost 140 m/s)

Jednoranné plynovky pro mládež jsou určeny pro nácvik střeleckých návyků a na tréninkovou a závodní střelbu. Jejich parametry plně odpovídají požadavkům pravidel UIT mezinárodní disciplíny „vzduchová puška“ na vzdálenosti 10 metrů. Mají velmi rychlou akci mechanismu a stabilitu při střelbě. Dále disponují velkou variabilitou množství nastavitelných prvků, které umožňují individuální přizpůsobení, použití přesných mikrometrických měřidel a silové namáhání při střelbě je minimální. Pro střelce dávají předpoklady k dosažení výborných výsledků.

Základní technická data:

Délka: 1,017 mm

Výška: 226 mm

Šířka: 58 mm

Hmotnost: 3,2 kg

Ráže: 4,5 mm

Střelivo: Diabolo

Pažba: plastová s nastavitelnou línicí a botkou

Zdroj energie: a. zásobník plynu CO₂ - plněný ze 125 g bomby

b. standardní sifonová bombička 7 g (náhradní řešení)

Počet výstřelů na jednu náplň: a. 120 – 150

b. 40 - 60

Úst'ová rychlost střely v_o : 125 – 160 m/s (nastavitelná)

Odpor spouště: nastavitelný

Charakteristika spouštěvého mechanismu: jednodporová nebo dvouodporová (přestavitelná)

Rozptyl: průměr kružnice opsané okolo deseti vstřelů vystřelených ze vzdálenosti 10 metrů činí max. 9 mm

Obsluha zbraně:

1. Plnění zásobníku plynu

Z bomby 125 g CO₂ se plní přes přepouštěcí ventil zásobník plynu.

a. přesvědčíme se, zda je pevně dotažen přepouštěcí ventil

b. vykloněním kliky závěru vzhůru uvolníme závěr

c. natažením závěru směrem k sobě natáhneme bicí mechanismus zbraně. Tím si zajistíme uzavření dávkovacího ventilu a zamezí se možnému volnému úniku plynu z hlavní

d. závěr uzavřeme

e. sejmem krytku přepouštěcího ventilu

f. bombu našroubujeme na závit přepouštěcího ventilu a jemně ji dotahujeme až do okamžiku samovolného otevření uzavíracího ventilu bomby (sykavý zvuk, prudké ochlazení bomby)

g. zbraň se ponechá asi 3 min. ve svislé poloze hlavní vzhůru, aby se zásobník plynu zcela naplnil

h. odšroubujeme bombu z přepouštěcího ventilu

i. krytkou zakryjeme přepouštěcí ventil

j. přesvědčíme se o naplnění zásobníku a správném chodu mechanismu spuštěním nataženého mechanismu

2. Nabíjení zbraně

- a. závěr uvolníme, když vytáhneme kliku závěru vzhůru
- b. natáhneme závěr směrem k sobě, tím současně napneme bicí mechanismus zbraně
- c. vložíme střelu do žlábků nabíjecí vložky
- d. zpětným pohybem závěru zasuneme střelu do vývrtu a uzavřeme nábojovou komoru. Tím je zbraň připravena ke střelbě.

3. Vypouštění tlaku

Vypouštění tlaku provedeme zatlačením tyčky výstražníku pomocí šroubováku dovnitř zbraně tak daleko, až dojde k otevření dávkovacího ventilu plynu. Provádíme při nataženém mechanismu.

4. Seřízení – mířidla

Při nastřelování zbraně je možné provést přesnou korekci točením hlav mikrometrických šroubů hledí.

Hlava šroubu je na pravé straně vodorovného posuvu a z levé strany je hlava výškové korekce. Na horní ploše klapky je vyznačený směr přemístění zásahu. Jeden krok „cvaknutí“ činí 2,4 mm na vzdálenost 10 metrů v obou směrech.

5. Vyvážení zbraně

Na hlavni je možné přidat či odebrat závaží dle individuálních požadavků. Je možné posouvat po hlavni i tunel mušky dozadu a tím zkracovat záměrnou délku, což je vhodné při počátečním výcviku.

6. Nastavení spoušťového mechanismu

Výrobce je úst'ová rychlost nastavená na optimální rychlost 125 až 160 m/s. Seřizuje se pomocí šroubu výkonu, kterým prochází výstražník. Otočením šroubu výkonu směrem doprava stlačujeme bicí pružinu a tím zvyšujeme úst'ovou rychlost v_0 a naopak.

TAU 200 má nastavenou úst'ovou rychlost kolem 140 m/s.

Střelná zbraň – Anschütz model 8002 (větrovka)



Obr. č. 3.3.4 Anschütz 8002 – větrovka

Je to moderní závodní vzduchovka na stlačený vzduch. Obsahuje nejnovější poznatky v oblasti techniky s revolučními prvky. Provedením je podobná střelné zbrani typu TAU.

Její hmotnost je 4,5 kg; úst'ová rychlost je okolo 180 m/s a kapacita strel s naplněnou bombou na 200 bar (200×10^5 Pa) je asi 300 výstřelů. Umožňuje přesný střelecký proces a zajišťuje stálý tlak u každé rány. Střelecký proces v poznámce I.¹

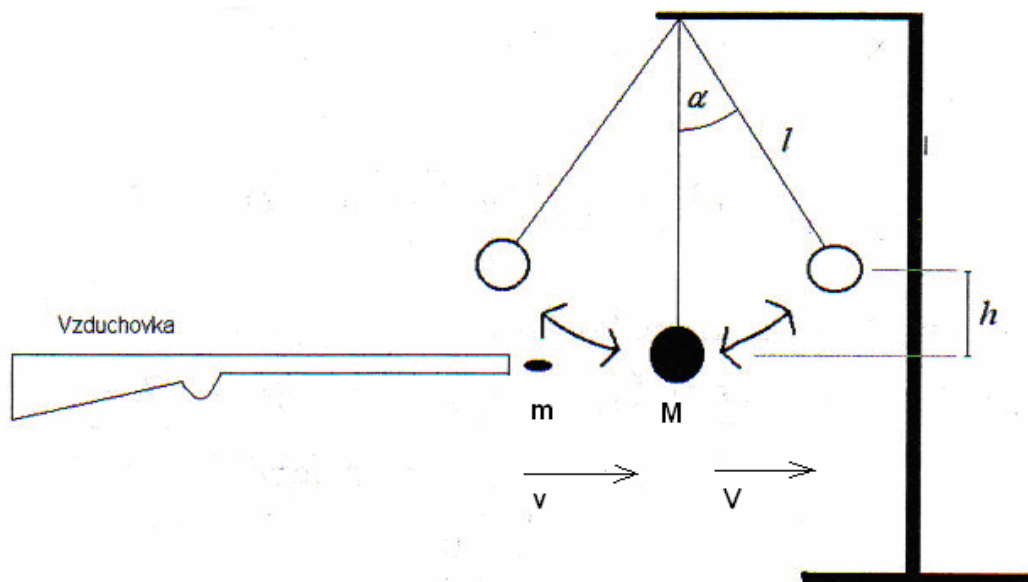
¹ **Střelecký proces**

Současná zákon o zbraních a strelivu č.119 /2002 Sb., platný od 8. března 2002, stanoví podmínky pro nabývání, vlastnictví střelných zbraní a streliva, jejich registraci, držení, nošení a používání, podmínky podnikání a působnost správních úřadů v oblasti střelných zbraní a streliva.

4. Měření pomocí balistického kyvadla

4.1 Balistické kyvadlo

Balistické kyvadlo se používalo k měření rychlosti projektilů střelných zbraní dokud nebyla k dispozici zařízení pro elektronická měření. Jedna z variant pro vysvětlení funkce balistického kyvadla je kulička zavěšená na dvou dlouhých závěsech o hmotnosti M podle obrázku č. 4.1.1.



Obr. č. 4.1.1 Kyvadlo

M – hmotnost kyvadla, m – hmotnost diabolky, l – délka závěsu, h – výška výstupu kyvadla, α – úhel, o který se kyvadlo vychýlí, v – rychlost diabolky, V – rychlost diabolky po srážce (s kuličkou)

Diabolka o hmotnosti m ; kterou vystřelíme z testované zbraně, zasáhne kuličku z plastické hmoty (předem zvaženu) a uvízne v ní. Kulička s diabolkou se vychýlí z rovnovážné polohy, vyhoupne se do výšky h a vychýlí se o úhel α .

Když kulička s diabolkou vystoupí do výšky h , stoupne její potenciální energie o $E_p = (M + m)g h$. Podle zákona o zachování energie musí být E_p rovna kinetické energii kuličky s diabolkou než začaly stoupat: $E_k = \frac{1}{2}mV^2$. Zde V je rychlost kuličky poté, co se do ní zaryla diabolka.

Zákon zachování energie - ZZE:

$$\frac{1}{2} (M + m) V^2 = (M + m) g h$$

$$V = \sqrt{2 g h}$$

Původní rychlost diabolky V určíme pomocí zákona zachování hybnosti.

Zákon zachování hybnosti – ZZH:

$$m v = (m + M) V$$

Po dosazení:

$$v = \left(\frac{M + m}{m} \right) \sqrt{2 g h}$$

Jedná se o dokonale nepružnou srážku, protože diabolka uvízne v modelíně. Hybnost letící střely se rovná hybnosti rozpořybované kuličky se střelou v ní. Energetický význam pro praxi v poznámce II.^{II}

Balistické kyvadlo je zařízení, které přemění velkou rychlost lehké střely na malou a tím lépe měřitelnou rychlost kuličky.

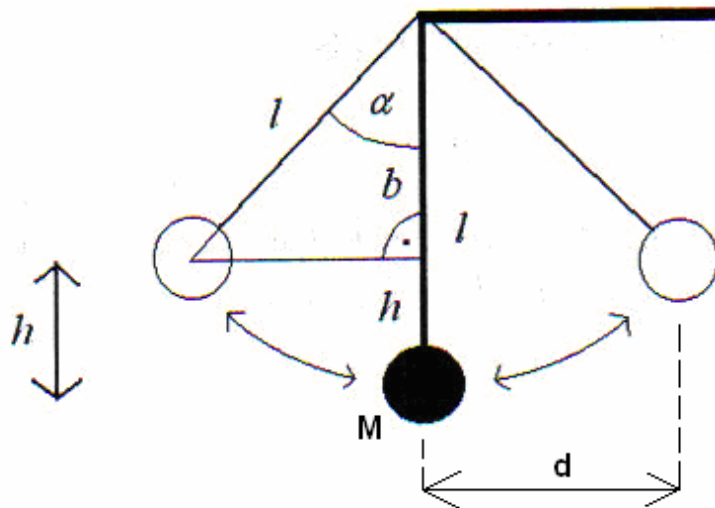
Aby byl vzorec pro výpočet rychlosti diabolky úplný, musí se vypočítat výška h podle obr. č. 4.1.2.

^{II} Hmotnost střely se vyjadřuje v kilogramech, rychlost v m/s a energie v joulech. Kinetická energie závisí na druhé mocnině rychlosti střely. Zvýšení rychlosti střely se tak na zvýšení energie projeví výraznější měrou, než zvýšení její hmotnosti. V tabulkách střelby se udává energie střely ve významných bodech: E : (počáteční energie, po výletu střely z ústí hlavně), E_{100} (energie ve vzdálenosti 100 m) atd... Se vzrůstající dálkou střelby klesá rychlost a dopadová energie střely. O účinku střely na zasažený cíl však hodnota energie střely v cíli neposkytuje přesnou představu. Výkon střely závisí spíše na následujících faktorech:

1. velikosti odporu, který působí na cíl (materiál)
2. velikost dopadové plochy střely (plocha příčného průřezu střely) a míra zploštění špičky střely
3. neformovatelnost střely a míra předání její energie cíli
4. trhavý účinek, vyvolání tlakových vln v cíli

Kinetickou energii, kterou může zbraň udělit střele, je měřítkem nebezpečnosti zbraně (nesmí být větší než 7,5 J).

Podrobněji o účinku střel v [2].



Obr. č. 4.1.2 Výška balistického kyvadla

d – délka posunutí kyvadla, l – délka závěsu, h – výška výstupu kyvadla, b – část délky kyvadla, α – úhel, o který se kyvadlo vychýlí, v – rychlost diabolky, V – rychlost diabolky po srážce (s kuličkou), g – gravitační zrychlení $9,81 \text{ m/s}^2$, m – hmotnost diabolky, M – hmotnost kyvadla

Výpočet výšky a rychlosti diabolky:

$$h = l - l \cos \alpha$$

$$h = l(1 - \cos \alpha)$$

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$V = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}$$

$$mv = (M + m)V$$

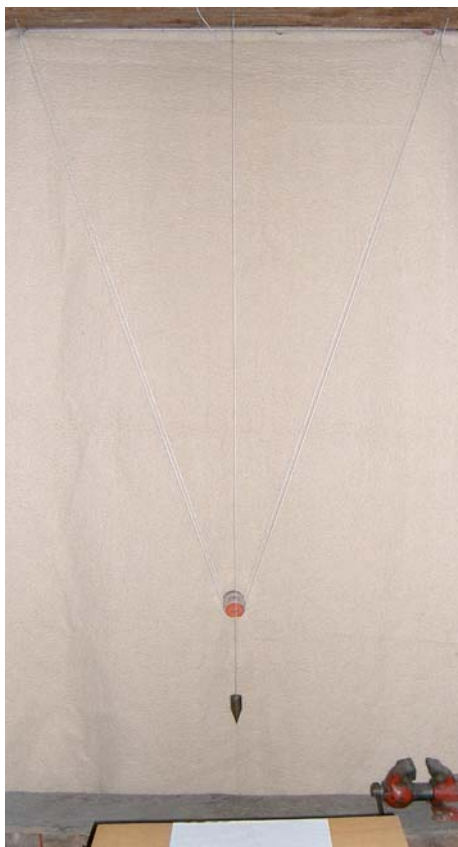
$$v = V \left(\frac{M + m}{m} \right) = \frac{M + m}{m} \sqrt{2gh}$$

Při srážce se předává kyvadlu pouhý zlomek počáteční kinetické energie diabolky. Zbytek přispívá k zahřátí soustavy nebo, se spotřebuje k deformaci a destrukci plastické hmoty (modelíny).

4.2. Sestavení balistického kyvadla, návrh měření jeho výchylky.

Pomůcky: menší plechovka, maticky, šroubky, očka, čtyřbodový závěs, pevné vlákno, modelovací hmota, pravítko, metr, libela, olovnice, papír, těžítka, váha, střelné zbraně, diabolky, oddělující zábrana.

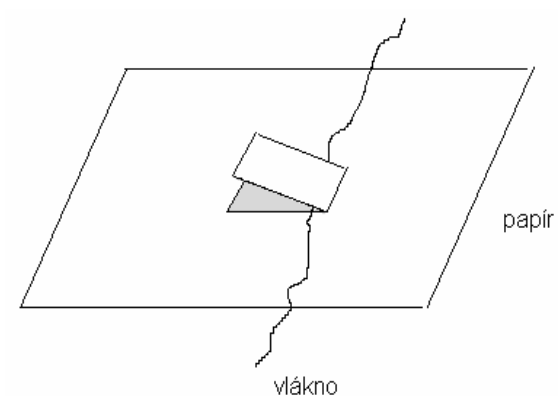
Místo kuličky použijeme plechovku na kterou připevníme, matickami a šroubky, čtyři očka, vždy dvě naproti sobě na jednom i druhém konci, kterými protáhneme vlákno na zavěšení. Plechovku naplníme modelovací hmotou, zvážíme (hmotnost závěsu vzhledem k její zanedbatelné velikosti není zahrnuto do hmotnosti kyvadla) a zavěsíme (obr. č. 4.2.1). Plechovku zavěsíme dvěma bifilárními závěsy tak, aby plechovka zůstala ve vodorovné poloze i při vychýlení. V našem případě je závěs uchycen na trámku na půdě (obr. č. 4.2.2). Změříme délku závěsu. Na plechovku přilepíme pomocí lepenky vlákno a natáhneme na stolec před kyvadlo, kterou zachytíme na papíře, ve kterém je vyříznutý „úzký jazýček“ 10 mm dlouhý a 4 mm široký na obr. č. 4.2.3.



Obr. č. 4.2.1 Celkový pohled na balistické kyvadlo



Obr. č. 4.2.2 Uchycení závěsu na trámu

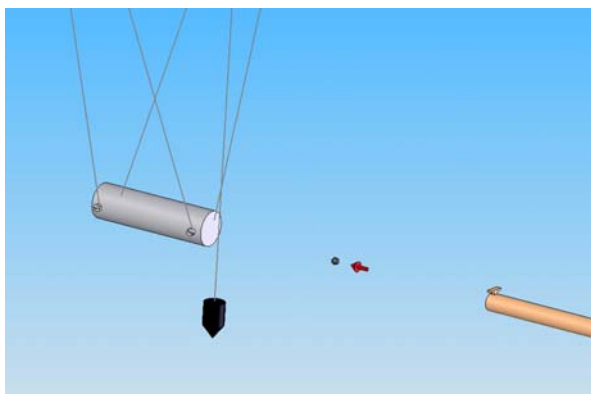


Obr. č. 4.2.3 Jak zachytit niť

Pomocí libely nastavíme osu zátěže kyvadla do vodorovné polohy a olovnicí ověříme souměrnost bifilárních závěsů kyvadla. Tím vznikne balistické kyvadlo, které slouží k měření rychlosti střely. Z druhé strany kyvadla položíme metr pro změření posunutí d kyvadla s plechovkou. Po skončení pokusu změříme délku povytažení vlákna z jazýčku.

4.3. Vypracování návodu na měření balistickým kyvadlem pro různé druhy vzduchovek a vzduchových pistolí

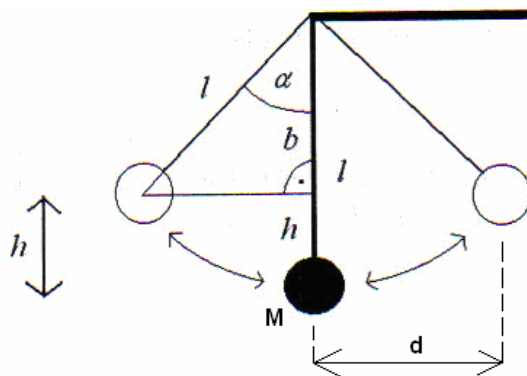
Po ustavení balistického kyvadla dle návodu vezmeme střelnou zbraň nabitou diabolkou a vystřelíme co nejpřesněji v místě a vodorovném směru osy plechovky. Vzduchovka musí být ve vodorovné poloze s plechovkou na obr. č. 4.3.1. Po výstřelu se kyvadlo vychýlí z rovnovážné polohy a vlákno zachycené v papíře se posune. V této poloze vlákno na papíře zatížíme, aby se nepohnulo při měření posunutí kyvadla. Kyvadlo pak ručně vychýlíme podle délky vlákna zachyceného v papíře a změříme metrem ve vodorovném směru délku jeho posunutí. Tuto hodnotu zapíšeme. Pak vyjmeme diabolku z kyvadla a veškerou modelovací hmotu vrátíme zpět do plechovky. Měření provedeme celkem desetkrát a pak celé opakujeme i pro další střelné zbraně jiného druhu.



Obr. č. 4.3.1 Směr střely

4.4. Použití balistického kyvadla pro různé druhy střelných zbraní a vlastní měření

Po sestavení balistického kyvadla dle návodu jsme pro jednotlivé typy zbraní naměřili délku posunutí d pomocí vytažení vlákna uvedenou v tabulce 1. na str. 35. Pro výpočet rychlosti střely použijeme vzorec z kapitoly 4.1. na str. 28, kde najdeme jeho odvození. Vypočítáme průměrnou rychlost a chyby měření.



Obr. č. 4.4.1 Výpočet výšky posunutí balistického kyvadla

M – hmotnost plechovky (kuličky), m – hmotnost diabolky, h – výška posunutí,

g – tíhové zrychlení $9,80665 \text{ m/s}^2$, l – délka závěsu, d – délka posunutí^{III}

Výšku posunutí h spočítáme: jelikož by se nám obtížně měřil úhel posunutí α , vypočítáme výšku posunutí pomocí Pythagorovy věty, když známe délky závěsu a posunutí.

$$l = h + b$$

$$h = l - b$$

$$b = \sqrt{l^2 - d^2}$$

$$h = l - \sqrt{l^2 - d^2}$$

Dosadíme za výšku h :

$$v = \left(\frac{M + m}{m} \right) \sqrt{2gh}$$

^{III} Délka d se přibližně rovná délce oblouku, po kterém se balistické kyvadlo pohybuje.

Dostaneme úplný vzorec pro výpočet rychlosti diabolky:

$$v = \left(\frac{M+m}{m} \right) \sqrt{2g(l - \sqrt{l^2 - d^2})}$$

Příklad výpočtu rychlosti:

Naměřené a vypočtené hodnoty:

$$l = 1,2535 \text{ m}; d = 0,098 \text{ m}; m = 0,00052 \text{ kg}; M = 0,18928 \text{ kg};$$

Dosadíme hodnoty:

$$\underline{\underline{v = 144,6 \text{ ms}^{-1}}}$$

U výsledků byla vypočítána chyba přímého měření podle vzorce: $\Delta = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (\Delta v_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$,

a relativní chyba $\delta = \frac{\Delta}{v} \cdot 100 [\%]$.

Tabulky:

1. Výsledky měření

a. TAU 7 - pistole

TAU 7	pistole		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,098	1,25	144,6
2.	0,098	1,25	144,6
3.	0,097	1,25	135,3
4.	0,098	1,25	144,6
5.	0,096	1,25	125,2
6.	0,097	1,25	144,6
7.	0,098	1,25	144,6
8.	0,096	1,25	125,2
9.	0,096	1,25	125,2
10.	0,097	1,25	135,3
		průměr \bar{v}	136,9
		Δ	1,9

b. TAU 200 - bílá

Tau 200	bílá		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,202	1,25	161,7
2.	0,202	1,25	177,1
3.	0,202	1,25	177,1
4.	0,202	1,25	177,1
5.	0,202	1,25	169,6
6.	0,202	1,25	177,1
7.	0,201	1,25	173,4
8.	0,202	1,25	180,8
9.	0,202	1,25	177,1
10.	0,202	1,25	177,1
		průměr \bar{v}	174,8
		Δ	1,1

c. TAU 200 - hnědá

Tau 200	hnědá		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,145	1,25	149,1
2.	0,145	1,25	149,1
3.	0,144	1,25	147,5
4.	0,145	1,25	148,5
5.	0,145	1,25	148,5
6.	0,145	1,25	148,3
7.	0,145	1,25	149,1
8.	0,145	1,25	149,1
9.	0,145	1,25	148,2
10.	0,145	1,25	149,1
		průměr \bar{v}	148,6
		Δ	0,1

d. Anschütz 8002

Anschütz	8002		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,205	1,25	191,3
2.	0,200	1,25	187,8
3.	0,199	1,25	184,3
4.	0,200	1,25	187,8
5.	0,200	1,25	187,8
6.	0,199	1,25	184,3
7.	0,200	1,25	187,8
8.	0,200	1,25	187,8
9.	0,201	1,25	185,8
10.	0,200	1,25	187,8
		průměr \bar{v}	187,3
		Δ	0,4

2. Přehled rychlosti diabolky pro jednotlivé střelné zbraně a chyby měření

zbraně	Tau 7 - pistole	Tau 200 - bílá	Tau 200 –h.	Anchütz 8002
č.měř.	rychlost v [m/s]	rychlost v [m/s]	rychlost v [m/s]	rychlost v [m/s]
1	144,6	161,7	149,1	191,3
2	144,6	177,1	149,1	187,8
3	135,3	177,1	147,5	184,3
4	144,6	177,1	148,5	187,8
5	125,2	169,6	148,5	187,8
6	144,6	177,1	148,3	184,3
7	144,6	173,4	149,1	187,8
8	125,2	180,8	149,1	187,8
9	125,2	177,1	148,2	185,8
10	135,3	177,1	149,1	187,8
průměr \bar{v}	136,9	174,8	148,6	187,3
Δ	1,9	1,1	0,1	0,4
δ [%]	1,4	0,6	0,1	0,2

4.5. Vyhodnocení měření pomocí balistického kyvadla

Při měření rychlosti střely pomocí balistického kyvadla jsme se dopustili poměrně malých chyb měření. Nejpřesněji vyšla střelná zbraň TAU 200 – hnědá a nejhůře TAU 7 použitá jako pistole. K chybě mohlo dojít tím, že jsme nestříleli přesně v ose válečku s modelovací hmotou To mohlo ovlivnit pohyb kyvadla. Při měření délky posunutí se pak naměřila různá vzdálenost.

K lepším výsledkům měření rychlosti střely mohla pozitivně ovlivnit teplota prostředí, protože jsme stříleli na půdě, kde byla teplota kolem 5 °C. Tím nebyla způsobena tak velká deformace plastické hmoty a mohlo se předat více energie soustavě.

Byly naměřeny následující chyby měření:

1. Chyba přímého měření

TAU 200 – hnědá	$148,6 \pm 0,1$ [m/s]
TAU 200 – bílá	$174,8 \pm 1,1$ [m/s]
TAU 7 – pistole	$136,9 \pm 1,9$ [m/s]
Anschütz 8002	$187,3 \pm 0,4$ [m/s]

2. Relativní chyba měření v procentech

TAU 200 – hnědá	0,1 [%]
TAU 200 – bílá	0,6 [%]
TAU 7 – pistole	1,4 [%]
Anschütz 8002	0,2 [%]

5. Měření pomocí aparatury rotujících kotoučů

5.1. Teoretický rozbor pro měření pomocí aparaturou rotujících kotoučů

Tato metoda spočívá v tom, že na kovovou tyč upevníme dva papírové disky. Když tyč propojíme přes ozubený řemen k vrtačce a necháme rychle rotovat, disky nesmí prokluzovat. Při pokusu diabolka vystřelená z hlavně vzduchovky, která je pevně uchycená ve stativu na zbraně umístěném v blízkosti disku, protne první disk v určitém místě. Soustava se během doby letu diabolky mezi prvním a druhým diskem otočí o úhel daný rychlostí rotace vrtačky a diabolka protne druhý disk. Pomocí tohoto úhlu a délky kovové tyče můžeme vypočítat průměrnou rychlost diabolky mezi dvěma disky, která se přibližně rovná úst'ové rychlosti, protože je mezi nimi malá vzdálenost.

Pro změření rychlosti vrtačky použijeme stroboskop nebo přímo otáčkoměr. Je to přístroj, který bliká s nastavitelnou frekvencí.

5.2. Vytvoření aparatury rotujících kotoučů, návrh měření úhlů odchyšky průstřelů.

Pomůcky: stroboskop (měřič otáček), vrtačku s regulací otáček, střelné zbraně, stojan na střelné zbraně, metr, úhломěr, libelu, terče, diabolky, kotoučová aparatura na měření rychlosti střely a lapač střel na obr. č. 5.2.1, oddělovací zábrana.



Obr. č. 5.2.1 Kotoučová aparatura na měření rychlosti střely a lapač střel (vlevo)

Kotoučovou aparaturu upevníme stahovacími úchyty na okraj stabilního stolu, na tyč nasadíme terče mezi přítlačné kotouče v potřebné vzdálenosti od sebe a přitáhneme matkou tak, aby neprokluzovaly. Na ozubenou řemenici umístěnou na hřídeli pro otáčení terčů navlékneme řemen k vrtačce, ve které je řemenice uchycena sklíčidlem. Vrtačku připevníme ke stolu tak, aby řemen nebyl ani volný, ani příliš napnutý. Terče srovnáme podle okrajů. Z jedné strany stojanu dáme držák na střelné zbraně (obr. č. 5.2.2), který musí být ve vodorovné poloze a z druhé strany umístíme lapač střel.

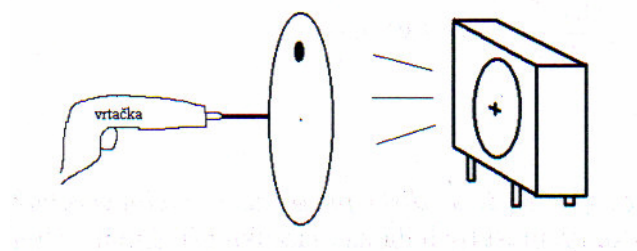


Obr. č. 5.2.2 Stojan se střelnou zbraní

Při pokusu diabolka vystřelená z hlavně střelné zbraně, umístěné v blízkosti terče, prorazí první terč v určitém místě. Soustava se během doby letu diabolky mezi prvním a druhým terčem otočí o úhel daný rychlostí rotace vrtačky a diabolka prorazí druhý terč. Pomocí tohoto úhlu a vzdálenosti terčů můžeme vypočítat průměrnou rychlost diabolky mezi dvěma terči, která se přibližně rovná úst'ové rychlosti diabolky, protože je mezi nimi malá vzdálenost. Pro změření otáček vrtačky použijeme stroboskop nebo přímo otáčkoměr. Stroboskop je přístroj, který bliká s nastavitelnou frekvencí.

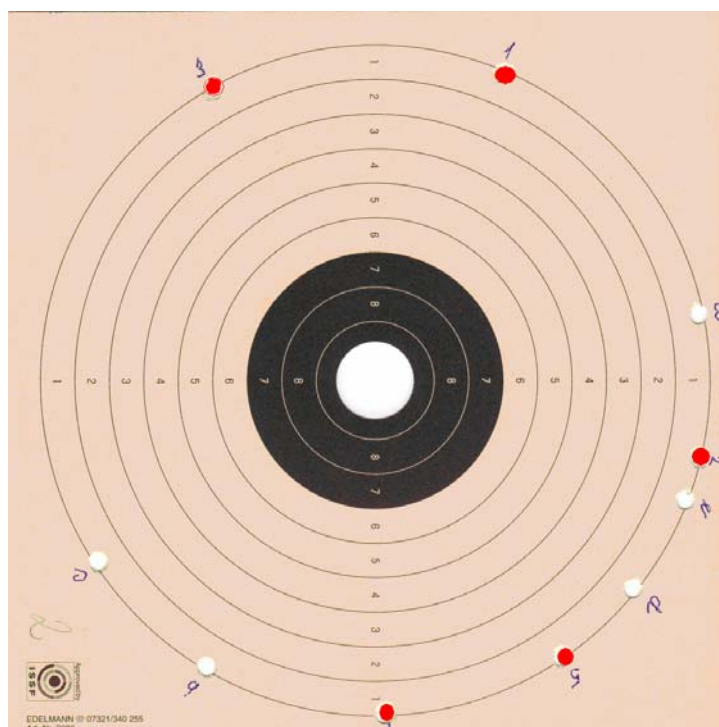
5.3. Vypracování návodu na měření aparaturou rotujících kotoučů

Po přípravě aparatury rotujících kotoučů podle návodu a nastavení ve vzdálenosti 0,5 m obou terčů, které si předem označíme, abychom věděli, který terč byl vpředu a který vzadu. Vezmeme střelnou zbraň a upevníme ji do stojanu na střelné zbraně umístěnému v blízkosti terče. Aparaturu srovnáme pomocí libely do vodorovné polohy a zároveň zajistíme, aby byla v ose s hřídelí. Pro kontrolu provedeme zkušební výstřel bez otáčení terčů a přesvědčíme se, zda střela prošla oběma terči ve stejném místě - eventuelně vše dorovnáme. Na terči vytvoříme orientační černý bod, pustíme vrtačku a pomocí stroboskopu určíme otáčky vrtačky. Pro správnou funkci stroboskopu je nejlépe mít v místnosti pološero nebo tmu. Stroboskop seřídíme tak, aby blikal synchronně s otáčením terče, aby černý bod byl pozorovatelný stále na jednom místě na obr. č. 5.3.1. Zdá se, že se terč neotáčí. Hodnota, kterou přečteme na stroboskopu, vidíme-li bod na jednom místě, je hodnota frekvence otáček vrtačky.



Obr. č. 5.3.1 Měření stroboskopem

Po zjištění otáček opět nabijeme střelnou zbraň a vystřelíme při spuštěných otáčkách. Při každém měření si každý průstřel nastřílený střelnou zbraní Anschütz označíme (obr. č. 5.3.2). Po vystřelení pěti střel, změním vzdálenost kotoučů na 0,6 m a celé opakujeme od srovnání terčů. Po skončení měření nastavíme jiné otáčky vrtačky a použijeme nové terče. Naměříme jejich vzdálenost 0,5 m a srovnáme. Dále pokračujeme dle výše uvedeného postupu. Po dokončení měření střelnou zbraní typu TAU 7, použitou jako pistolí, vyměníme za další střelné zbraně typu – TAU 200 na CO₂ (dva druhy plynovek), Anschütz 2008 – větrovka. Pro každou z nich celé opakujeme.



Obr. č. 5.3.2 Terče nastřílené zbraní Anschütz 8002

– střelba při otáčkách vrtačky 850 m/s.

Číslice - vzdálenosti terčů 0,5 m (pětkrát stříleno).

Písmena - vzdálenosti terčů 0,6 m (pětkrát stříleno).

5.4. Vyzkoušení vytvořené aparatury pro různé druhy střelných zbraní

Po sestavení aparatury rotujících kotoučů pro jednotlivé typy střelných zbraní a střelbou do terčů podle návodu, zjistíme velikosti úhlu pootočení tak, že si nasadíme terče patřící k sobě na náboj držáku tak, aby průstřely jednotlivých označených střel se překrývaly (obr. č. 5.4.1). Podle hran terčů změříme úhly v radiánech. Zjištěné hodnoty zapíšeme do tabulky 3 na str. 46 a dosadíme do vzorců pro výpočet rychlosti střely. Vypočítáme průměrnou rychlost a chyby měření.



Obr. č. 5.4.1 Jak zjistit úhel pootočení

Rychlost diabolky spočítáme:

Δt - čas mezi průstřely 1. a 2. terče; $\Delta \beta$ - úhel, o který se mezitím terče otočily;

ω - úhlová rychlost; Δs - délka dráhy

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} ; \Delta t = \frac{\Delta \beta}{\omega} \Rightarrow \frac{\Delta s}{v} = \frac{\Delta \beta}{\omega} \Rightarrow v = \frac{\Delta s \cdot \omega}{\Delta \beta}$$

Příklad výpočtu rychlosti:

Naměřené a vypočtené hodnoty:

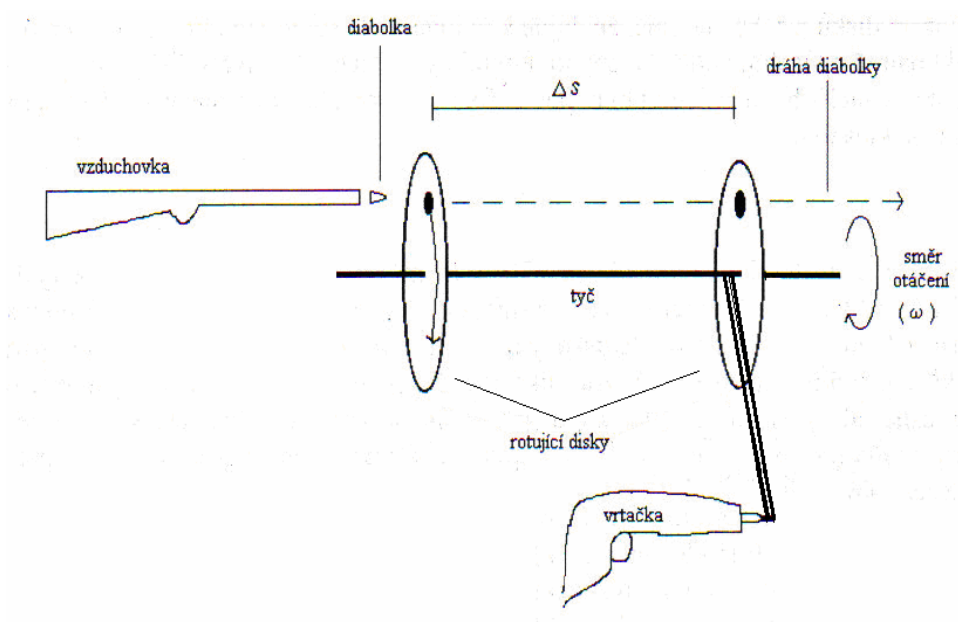
$$\Delta s = 0,5 \text{ m} ; \Delta \beta = 0,225 \text{ rad} ; \omega = 53,68 \text{ rad/s}$$

Dosadíme:

$$v = 119,2 \text{ m/s}$$

U výsledků byla vypočítána chyba přímého měření podle vzorce: $\Delta = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (\Delta v_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$, a

relativní chyba $\delta = \frac{\Delta}{v} \cdot 100$ [%].



Obr. č. 5.4.2 Rotující kotouče

Tabulka 3 Výsledky měření rotujícími kotouči pro použité střelné zbraně

TAU 200 - hnědá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	12,9	0,225	53,679	0,004	119,2
0,6	512,6	8,543	18	0,314	53,679	0,006	102,5
TAU 200 - hnědá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost.	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	37	0,646	89,012	0,007	68,9
0,6	850	14,167	41	0,716	89,012	0,008	74,6
TAU 200 - bílá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	17	0,297	53,679	0,006	90,5
0,6	512,6	8,543	20	0,349	53,679	0,007	92,3
TAU 200 - bílá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	33	0,576	89,012	0,006	77,3
0,6	850	14,167	38	0,663	89,012	0,007	80,5
Anschütz 8002							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	28	0,489	89,012	0,005	91,1
0,6	850	14,167	34	0,593	89,012	0,007	90,0
Anschütz 8002							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	14	0,244	53,679	0,005	109,8
0,6	512,6	8,543	17,2	0,300	53,679	0,006	107,3
TAU 7 pistole							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	17	0,297	53,679	0,006	90,5
0,6	512,6	8,543	20,9	0,365	53,679	0,007	88,3
TAU 7 pistole							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	42,5	0,742	89,012	0,008	60,0
0,6	850	14,167	34,9	0,609	89,012	0,007	87,7

Tabulka 4 Přehled jednotlivých rychlostí zbraní a chyby měření

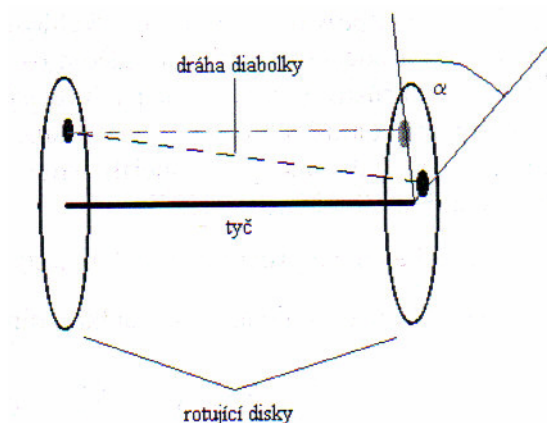
frekvence [ot/min]	512,6	512,6	850,0	850,0	
dráha Δ s [m]	0,5	0,6	0,5	0,6	
zbraně/ rychlost					průměr \bar{v}
TAU 200 - hnědá	119,2	102,5	68,9	74,6	91,3
TAU 200 - bílá	90,5	92,3	77,3	80,5	85,1
TAU 7 - pistole	90,5	88,3	60,0	87,7	81,6
Anschütz 8002	91,1	90,0	109,8	107,3	99,6

frekvence [ot/min]	512,6				
dráha Δ s [m]	0,5	0,6	512,6		
zbraně/ rychlost			průměr \bar{v}	Δ	δ [%]
TAU 200 - hnědá	119,2	102,5	110,9	5,5	5,0
TAU 200 - bílá	90,5	92,3	91,4	0,6	0,7
TAU 7 - pistole	90,5	88,3	89,4	0,7	0,8
Anschütz 8002	91,1	90,0	90,5	0,3	0,3

frekvence [ot/min]	850,0				
dráha Δ s [m]	0,5	0,6	850,0		
zbraně/ rychlost			průměr \bar{v}	Δ	δ [%]
TAU 200 - hnědá	68,9	74,6	71,8	1,9	2,6
TAU 200 - bílá	77,3	80,5	78,9	1,0	1,3
TAU 7 - pistole	60,0	87,7	73,8	9,2	12,5
Anschütz 8002	109,8	107,3	108,6	0,9	0,8

5.5. Vyhodnocení aparatury rotujících kotoučů

Teoreticky je možné, že při měření úhlové rychlosti kotoučů stroboskopem (přesně fungujícím) by mohlo dojít k naměření rychlosti k krát menší, kde k je libovolné přirozené číslo s výjimkou $k=1$. Protože nejmenší chyba by nastala při $k=2$, je zřejmé, že plynulým zvyšováním frekvence stroboskopu, počínaje $\omega=0$, dojde k prvnímu zastavení obrazu při $k=1$ a naměřená hodnota je pak správná.



Obr. č. 5.5.1 Úhlový posun

Prokluzování disků lze eliminovat vhodnou konstrukcí upevnění disků k rotující ose a kontrolou správného nastavení disků před i po ukončení střelby.

Rovnoběžnost dráhy střely s osou otáčení vrtačky ověříme kontrolním výstřelem do nerotujících kotoučů. I když se disky netočí, je při přiložení kotoučů k sobě zřetelné, že dojde k úhlovému posunu na obr. č. 5.5.1.

Přesnost střely ovlivňuje i tuhost konstrukce stativu kotoučů a jeho spojení se stolem.

Pohyb střely je ovlivňován při průstřelu prvního kotouče několika způsoby:

- a. snížení rychlosti střely, při střelbě brokem je snížení jednorázové, u diabolky je rychlost snížena nadvakrát při průchodu „hlavy“ a „sukénky“
- b. „stržení“ broku rotujícím prvním kotoučem ve směru kolmém k ose rotace, které závisí na rychlosti otáčení kotouče a vzdálenosti průstřelu od osy rotace kotoučů, čímž se prodlužuje délka dráhy mezi kotouči a ovlivňuje umístění průstřelu druhého kotouče. U diabolky je stržení dvojitě, při němž dochází ke změnám směru osy diabolky a mění se obtékání diabolky vzduchem, což má vliv na její trajektorii.

Byly naměřeny následující chyby měření.

1. Chyby přímého měření:

a. pro frekvenci vrtačky 512,6 ot/min

TAU 200 – hnědá $110,9 \pm 5,5$ [m/s]

TAU 200 – bílá $91,4 \pm 0,6$ [m/s]

TAU 7 – pistole $89,4 \pm 0,7$ [m/s]

Anschütz 8002 $90,5 \pm 0,3$ [m/s]

b. pro frekvenci vrtačky 850 ot/min

TAU 200 – hnědá $71,8 \pm 1,9$ [m/s]

TAU 200 – bílá $78,9 \pm 1,0$ [m/s]

TAU 7 – pistole $73,8 \pm 9,2$ [m/s]

Anschütz 8002 $108,6 \pm 0,9$ [m/s]

2. Relativní chyba měření v procentech:

a. pro frekvenci vrtačky 512,6 ot/min

TAU 200 – hnědá $5,0$ [%]

TAU 200 – bílá $0,7$ [%]

TAU 7 – pistole $0,8$ [%]

Anschütz 8002 $0,3$ [%]

b. pro frekvenci vrtačky 850 ot/min

TAU 200 – hnědá $2,6$ [%]

TAU 200 – bílá $1,3$ [%]

TAU 7 – pistole $12,5$ [%]

Anschütz 8002 $0,8$ [%]

6. Závěr

Bakalářská práce se zabývá laboratorním měřením rychlosti střely vzduchovky. Na základě teoretického rozboru základních pojmů balistiky jsou navrženy a odzkoušeny dvě metody měření – pomocí balistického kyvadla a pomocí aparatury rotujících kotoučů. Součástí práce je i vypracování a zkonstruování těchto aparatur, které jsou připravené do fyzikálního praktika na PF JU v Č. Budějovicích po drobných úpravách vzhledem k místním podmínkám. Práce je doplněna vzorovými protokoly měření a videem, které zachycuje celý průběh měření.

Měření rychlosti střely pomocí balistického kyvadla je přesnější metoda než metoda pomocí rotujících kotoučů, protože na výsledku měření se nepodílí tolik chyb způsobených vlastním měřením. Tuto úvahu potvrzují vypočítané chyby přímého měření, přesto relativní chyby, jak je vidět v jednotlivých tabulkách nepřesahují hodnotu 1,4 [%].

U rotujících kotoučů je patrné, že velice záleží na rychlosti letu diabolky i na zvolené frekvenci vrtačky, ale hlavně na materiálu, ze kterého jsou terče vyrobeny. Bylo by zajímavé vyzkoušet i jiný druh materiálu než z jakého se vyrábějí terče pro závodní střelbu, zda by se pak změnila rychlost diabolky.

Pro přesnější vyhodnocení jednotlivých aparatur by bylo dobré změřit rychlost diabolky pomocí měřicí aparatury napojené na PC. Pak by bylo možné provést srovnání takto získaných výsledků, s výsledky získanými pomocí balistického kyvadla a aparatury rotujících kotoučů, případně s údaji výrobce.

7. Seznam použité literatury:

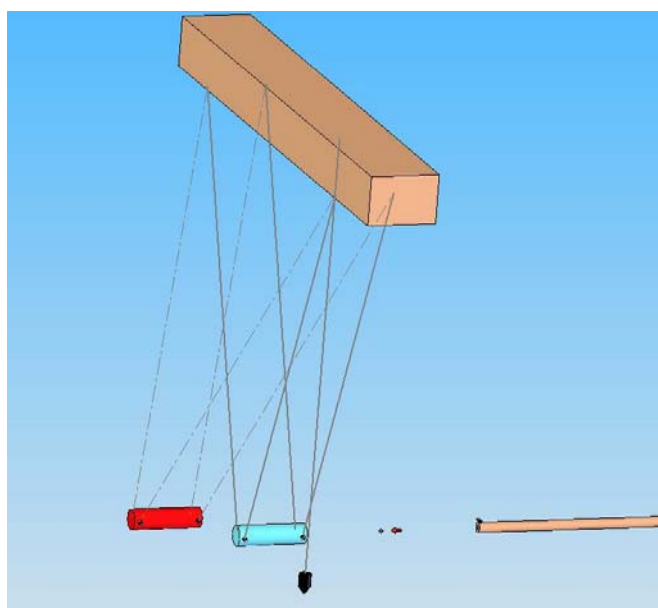
- [1] LEITNER, P. Přebíjení střeliva do krátkých a dlouhých kulových zbraní. Mimoň: vydavatelství Ofseta Plus s.r.o., 1999
- [2] HURNÍK, Z., TŮMA, P. Lexikon zbraně. Praha: Nakladatelství Svojtka & Co, 2003
- [3] Intel® DATA SHEET, <http://wikipedia.infostar.cz/>
- [4] KOLEKTIV. Myslivost. SZN Praha: 1966
- [5] JAVORSKOU, B.M. Přehled elementární fyziky. SNTL: 1989
- [6] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fyzika. VUT Brno: Prométheus, VUTIUM, 2001
- [7] HORÁK, Z., KRUPKA, F. Fyzika. SNTL Praha: 1981
- [8].KOLEKTIV. Ilustrovaná encyklopedie lidské vzdělanosti. Praha: Vydavatelství Reader's Digest Výběr, 2001
- [9] VÁŇOVÁ, H. a kol. Dětská ilustrovaná encyklopedie – Svět vědy a techniky I. Praha: Slovart, 1991
- [10] BROŽ, J. a kol. Základy fyzikálních měření. SPN Praha: 1983
- [11] HÝKEL, J., MALIMÁNEK, V. Náboje do ručních palných zbraní. Sellier Bellot a.s., Naše vojsko: dotisk 2006

Přílohy:

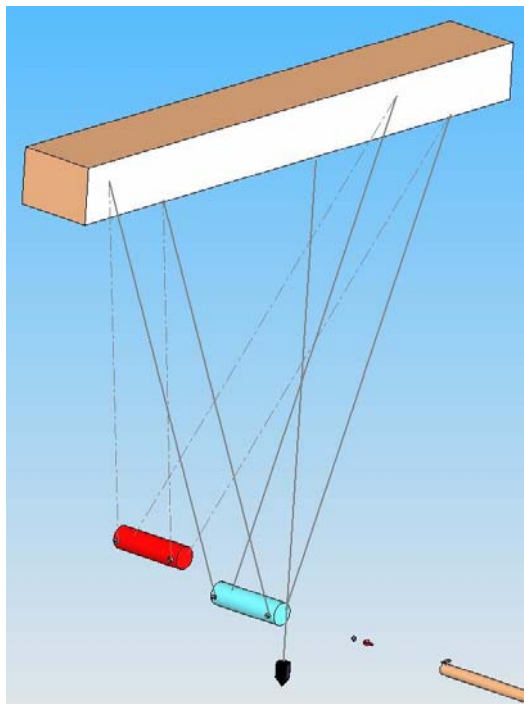
1. Obrázky k balistickému kyvadlu



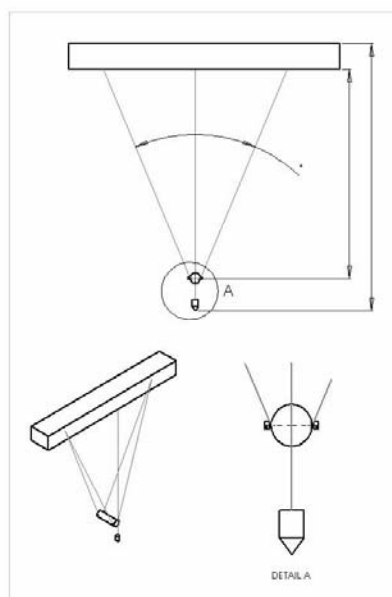
Obr. č. 1.1 Vyvážení kyvadla pomocí olovnice



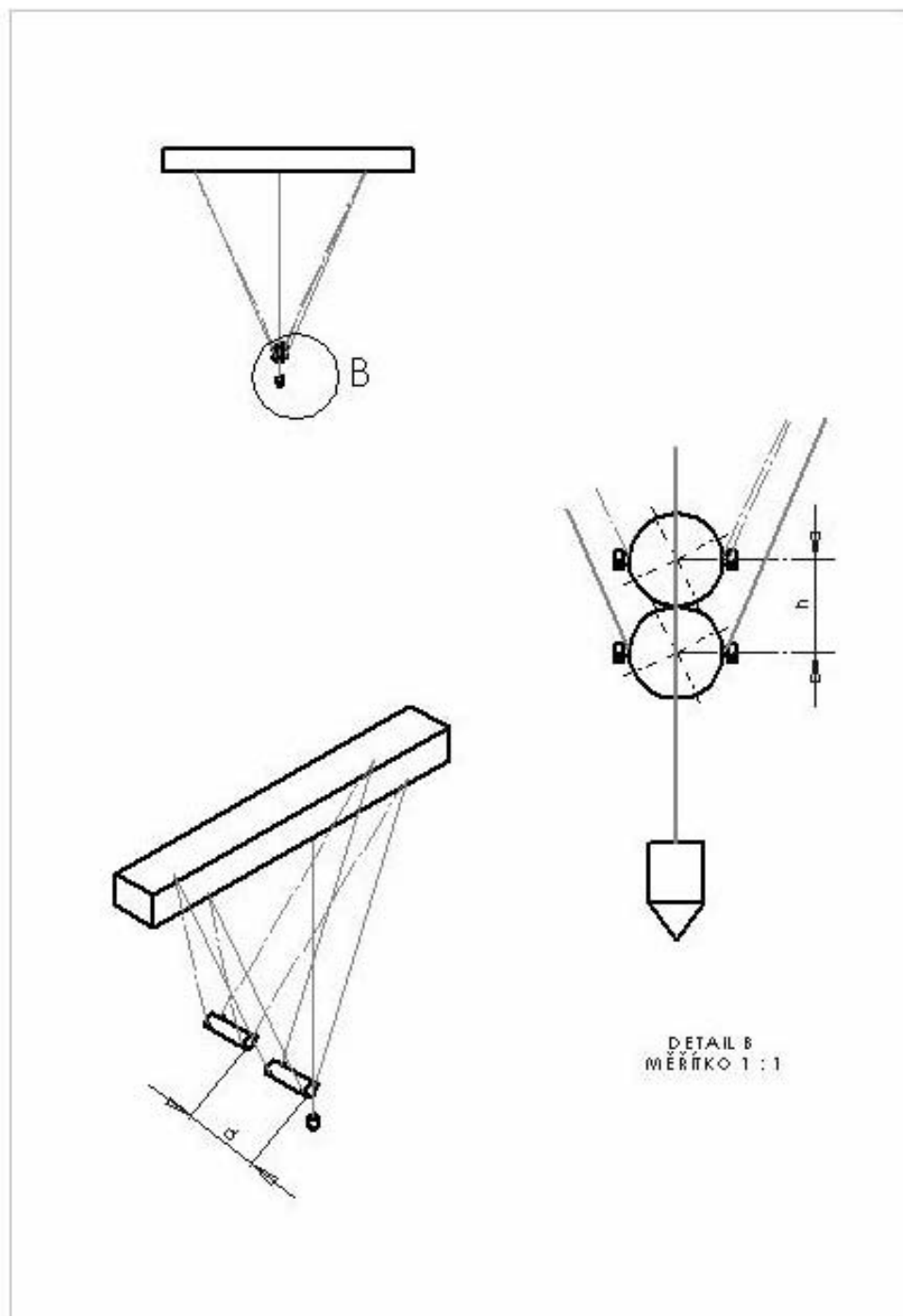
Obr. č. 1.2 Boční pohled na balistické kyvadlo a jeho vychýlení



Obr. č. 1.3 Zavěšení kyvadla

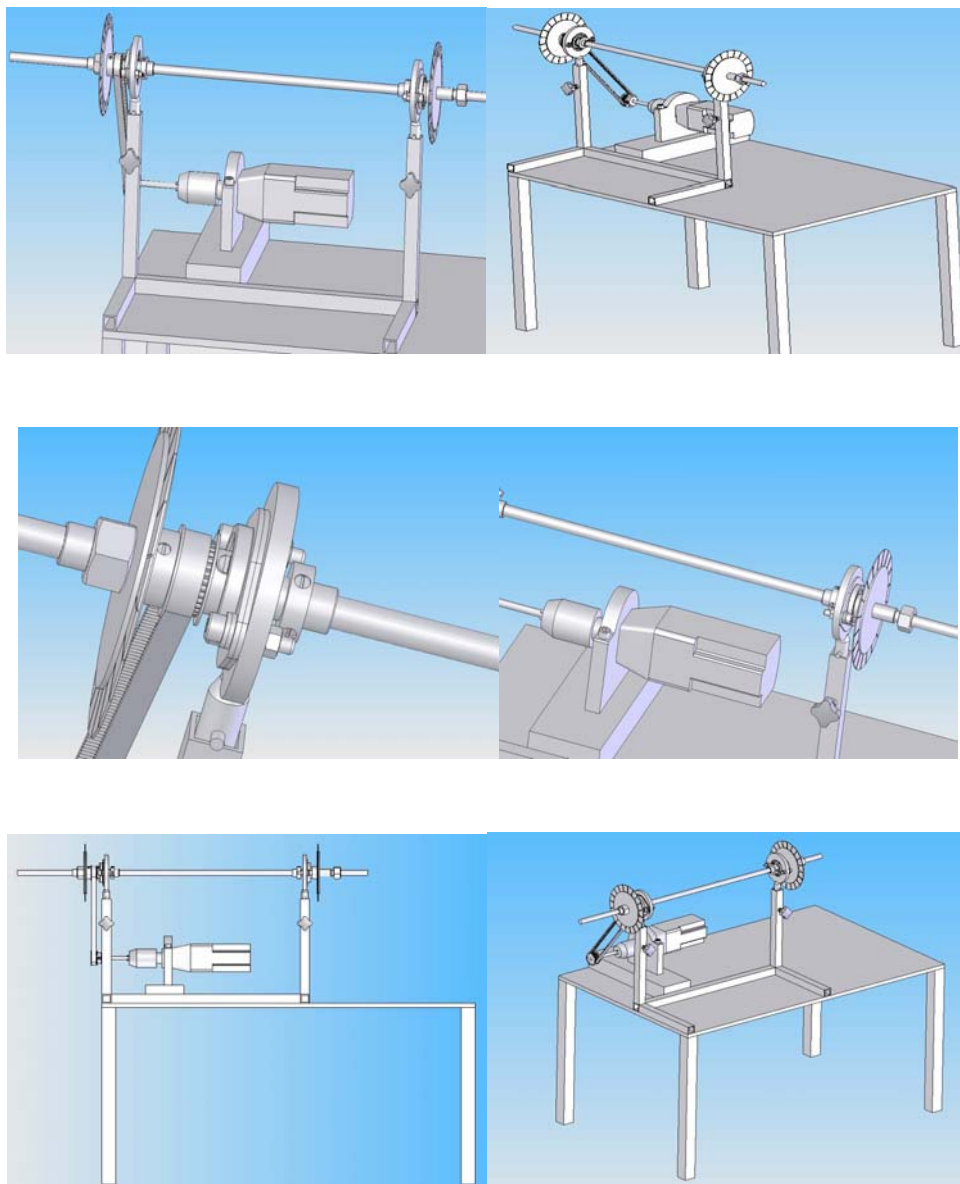


Obr. č. 1.4 Technický výkres bal. kyv.v rovnovážné poloze

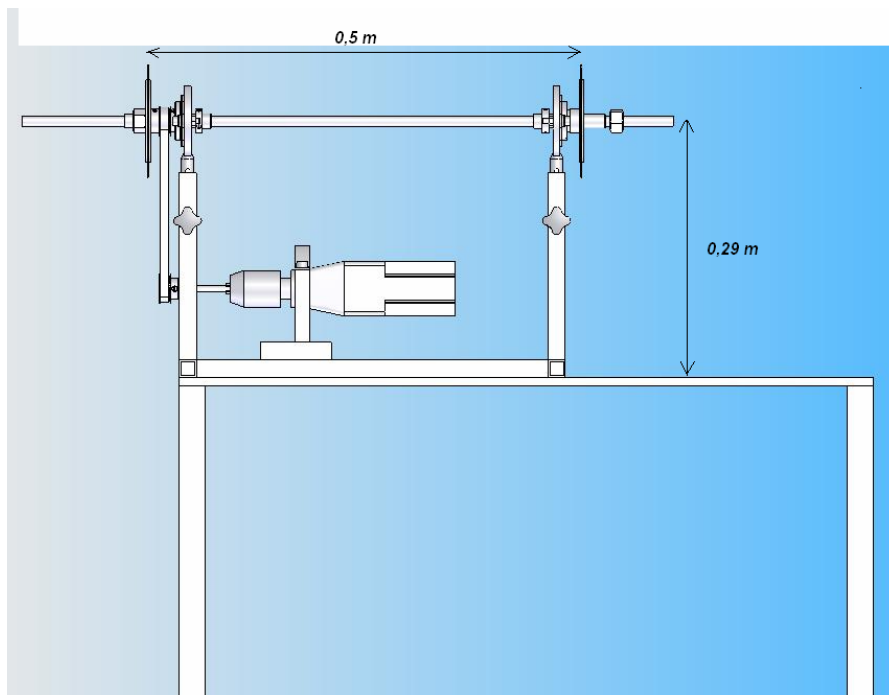


Obr. č. 1.5 Technický výkres balistického kyvadla v základní poloze a při výchylce

2. Obrázky k aparatuře rotujících kotoučů



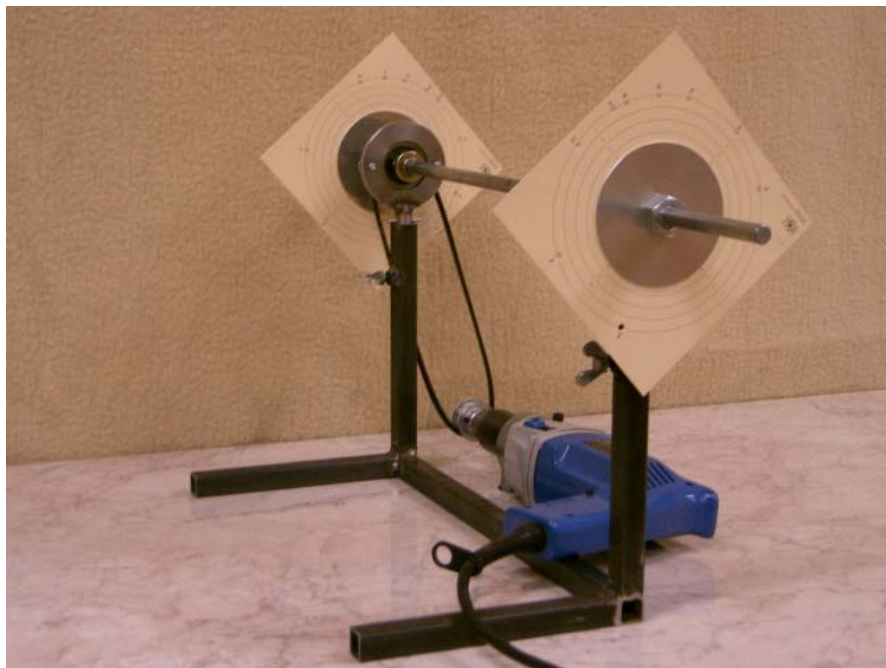
Obr. č. 2.1 Stojan s upevněním kotoučů a vrtačky – různé pohledy



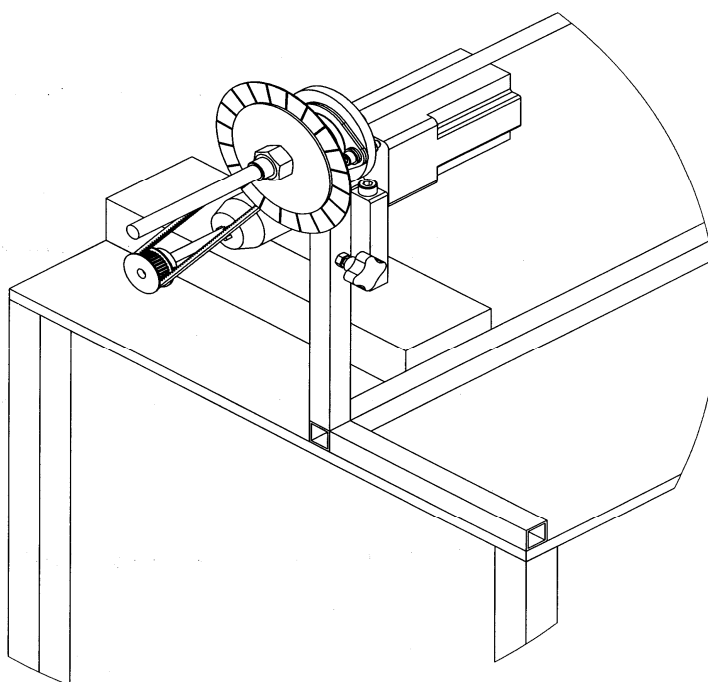
Obr. č. 2.2. Rozměry stojanu



Obr. č. 2.3 Pohled shora

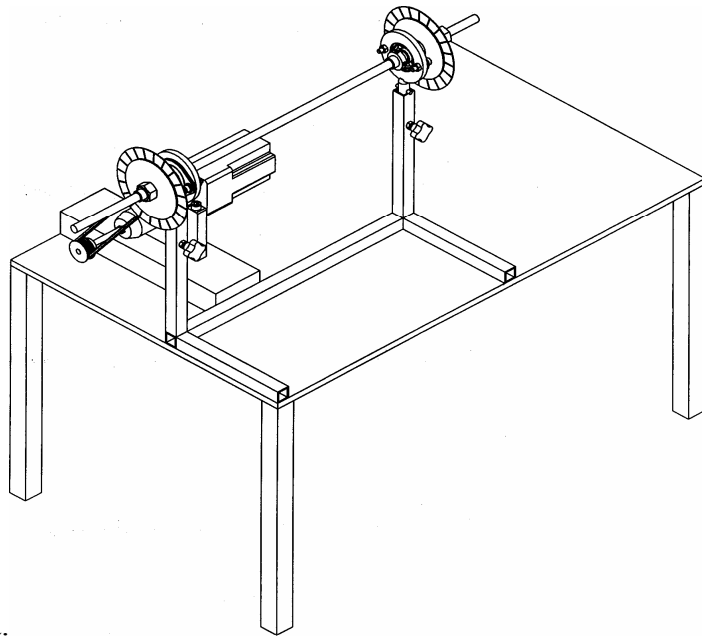


Obr. č. 2.4 Pohled z boku

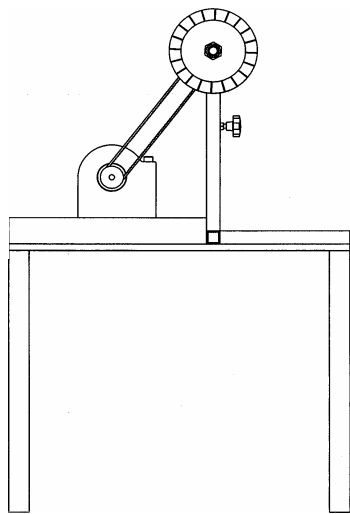


DETAIL A
MERITKO 1 : 3

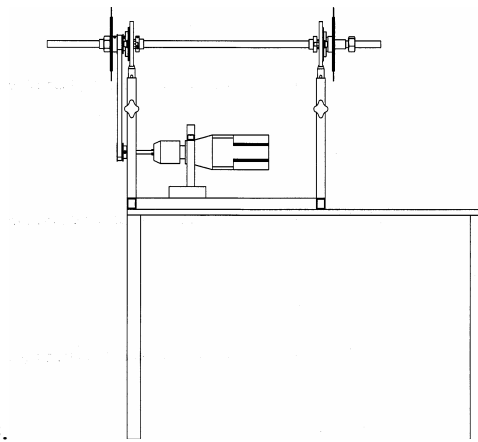
Obr. č. 2.5 Výkres bočního pohledu s uchycením vrtačky



a.



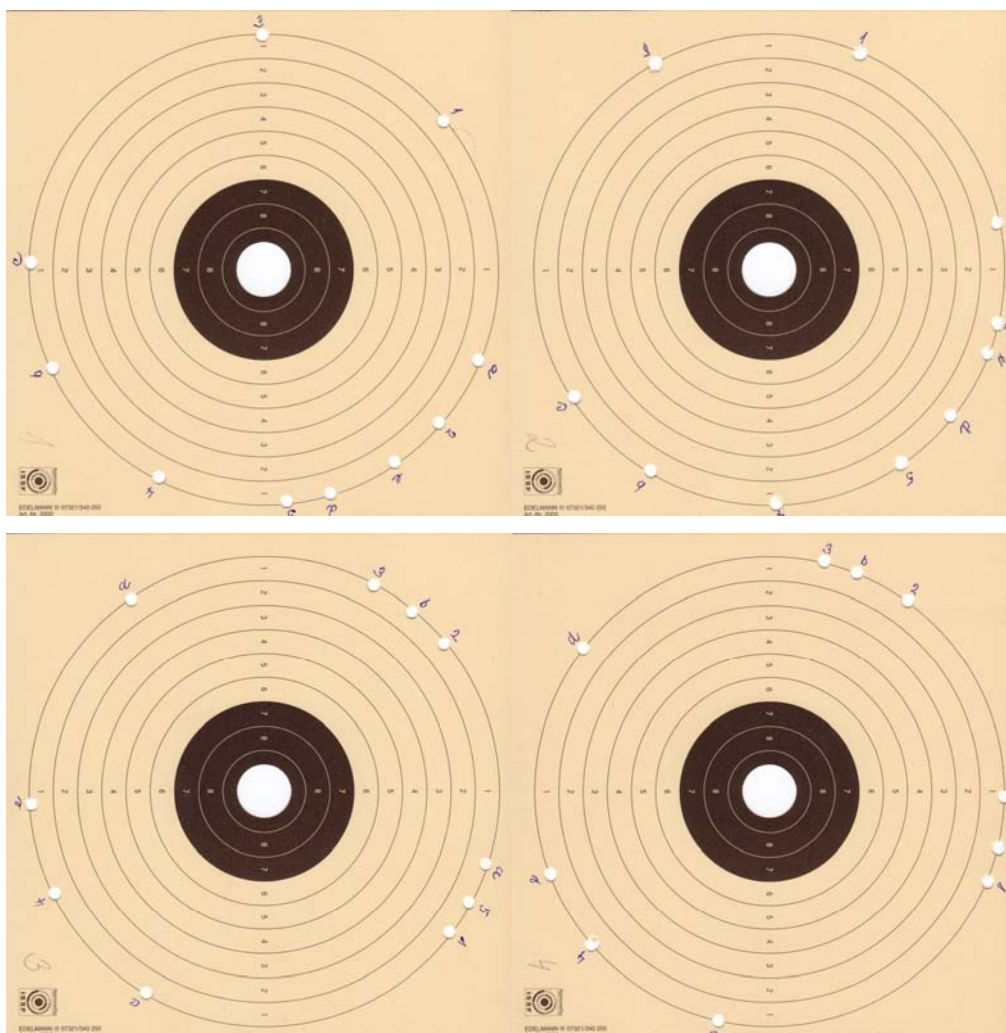
b.



c.

Obr. č. 2.7 Jednotlivé obrázky z technického výkresu

3. Průstřely odpovídajících dvojic terčů:



Obr. č. 3.1 Anschütz 8002





Obr. č. 3.2 TAU 200 – bílá plynová zbraň



Obr. č. 3.3 TAU 7 – pistole



Obr. č. 3.4 TAU 200 – hnědá plynová zbraň

4. Vzorový protokol pro měření balistickým kyvadlem

Měření rychlosti střely pomocí balistického kyvadla

Úkol:

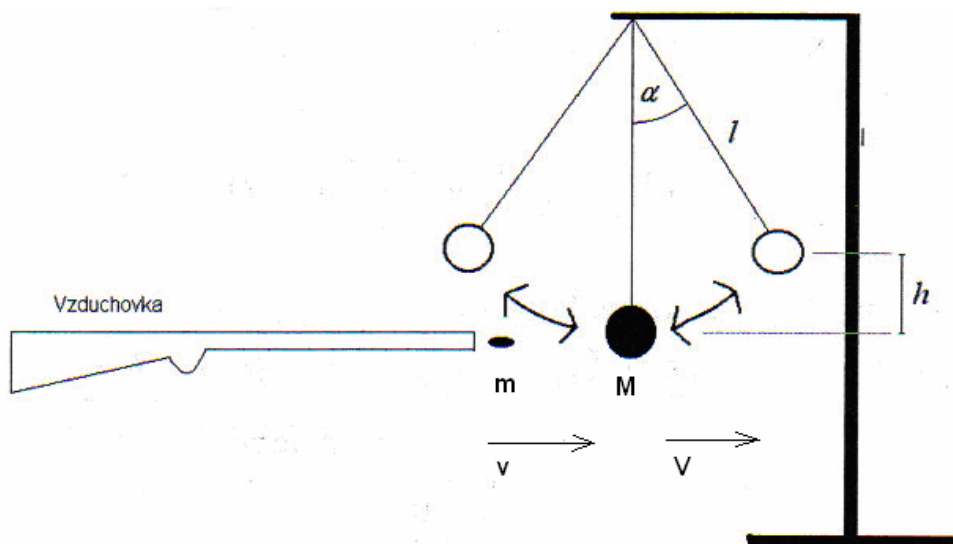
Určete rychlosti diabolky u různých druhů vzduchových zbraní pomocí balistického kyvadla a výsledky porovnejte.

Seznam pomůcek:

menší plechovka, matičky, šroubky, očka, čtyřbodový závěs, pevné vlákno, modelovací hmota, pravítko, metr, libela, olovnice, papír, těžitka, váha, střelné zbraně, diabolky, oddělující zábrana.

Teorie:

Balistické kyvadlo se používalo k měření rychlosti projektilů střelných zbraní, dokud nebyla k dispozici zařízení pro elektronická měření. Jedna z variant pro vysvětlení funkce balistického kyvadla je kulička zavěšená na dvou dlouhých závěsech o hmotnosti M podle obrázku č.1.



Obr. č. 1 Kyvadlo

Diabolka o hmotnosti m ; kterou vystřelíme z testované zbraně, zasáhne kuličku z plastické hmoty (předem zváženou) a uvízne v ní. Kulička s diabolkou se vychýlí z rovnovážné polohy, vyhoupe se do výšky h a vychýlí se o úhel α .

Když kulička s diabolkou vystoupí do výšky h , stoupne její potenciální energie o $E_p = (M + m)g h$. Podle zákona zachování energie musí být E_p rovna kinetické energii kuličky s diabolkou než začaly stoupat: $E_k = \frac{1}{2}mV^2$. Zde V je rychlost kuličky poté, co se do ní zaryla diabolka.

Zákon zachování energie - ZZE:

$$\frac{1}{2} (M + m) V^2 = (M + m) g h$$

$$V = \sqrt{2 g h}$$

Původní rychlost diabolky V určíme pomocí zákona zachování hybnosti.

Zákon zachování hybnosti – ZZH:

$$m v = (m + M) V$$

Po dosazení:

$$v = \left(\frac{M + m}{m} \right) \sqrt{2 g h}$$

Jedná se o dokonale nepružnou srážku, protože diabolka uvízne v modelíně. Hybnost letící střely se rovná hybnosti rozpohybované kuličky se střelou v ní.

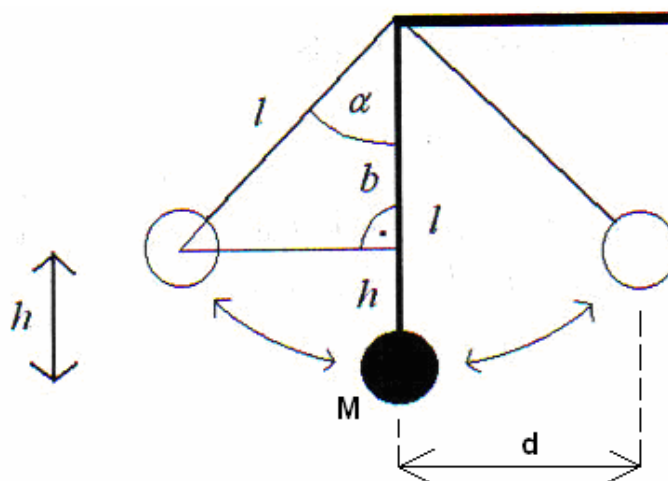
Balistické kyvadlo je zařízení, které přemění velkou rychlost lehké střely na malou a tím lépe měřitelnou, rychlost kuličky.

Aby byl vzorec pro výpočet rychlosti diabolky úplný, musí se vypočítat výška h podle obr. č. 2:

$$h = l - \sqrt{l^2 - d^2}$$

Po dosazení dostaneme úplný vzorec pro výpočet rychlosti diabolky:

$$v = \left(\frac{M + m}{m} \right) \sqrt{2 g \left(l - \sqrt{l^2 - d^2} \right)}$$

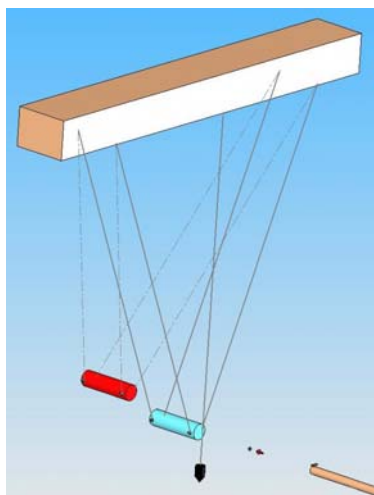


Obr. č. 2 Výška balistického kyvadla

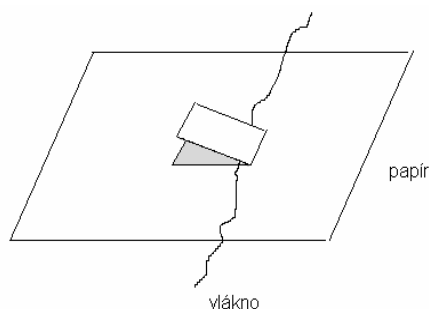
Při srážce se předává kyvadlu pouhý zlomek počáteční kinetické energie diabolky. Zbytek přispívá k zahřátí soustavy nebo se spotřebuje k deformaci a destrukci plastické hmoty (modelíny).

Postup:

Místo kuličky použijeme plechovku na kterou připevníme, matickami a šroubky, čtyři očka, vždy dvě naproti sobě na jednom i druhém konci, kterými protáhneme vlákno na zavěšení. Plechovku naplníme modelovací hmotou zvažíme (hmotnost závěsu vzhledem k její zanedbatelné velikosti není zahrnuto do hmotnosti kyvadla) a zavěsíme. Plechovku zavěsíme dvěma bifilárními závěsy tak, aby plechovka zůstala ve vodorovné poloze i při vychýlení. V našem případě je závěs uchycen na trámu na půdě na obr. č. 3. Změříme délku závěsu. Na plechovku přilepíme pomocí lepenky vlákno a natáhneme na stůl před kyvadlo, kterou zachytíme na papíře, ve kterém je vyříznutý „úzký jazýček“ 10 mm dlouhý a 4 mm široký na obr. č. 4.



Obr. č. 3 Zavěšení kyvadla



Obr. č. 4 Jak zachytit nit'

Pomocí libely nastavíme osu zátěže kyvadla do vodorovné polohy a olovnicí ověříme souměrnost bifilárních závěsů kyvadla. Tím vznikne balistické kyvadlo, které slouží k měření rychlosti střely. Z druhé strany kyvadla položíme metr pro změření posunutí d kyvadla s plechovkou. Po skončení pokusu změříme délku povytažení vlákna z jazýčku.

Vezmeme střelnou zbraň nabitou diabolkou a vystřelíme co nejpřesněji v místě a vodorovném směru osy plechovky. Vzduchovka musí být ve vodorovné poloze s plechovkou. Po výstřelu se kyvadlo vychýlí z rovnovážné polohy a vlákno zachycené v papíře se posune. V této poloze vlákno na papíře zatížíme, aby se nepohnulo při měření posunutí kyvadla. Kyvadlo pak ručně vychýlíme podle délky vlákna zachyceného v papíře a změříme metrem ve vodorovném směru délku jeho posunutí. Tuto hodnotu zapíšeme. Pak vyjmeme diabolku z kyvadla a veškerou modelovací hmotu vrátíme zpět do plechovky. Měření provedeme celkem desetkrát a pak celé opakujeme i pro další střelné zbraně jiného druhu.

Naměřené a vypočtené hodnoty:

Po sestavení balistického kyvadla dle návodu jsme pro jednotlivé typy zbraní naměřili délku posunutí d , pomocí vytažení vlákna, uvedenou v tabulce 1. Hodnoty dosadíme do odvozeného vzorce pro výpočet rychlosti střely. Vypočítáme průměrnou rychlost a chyby měření.

Rychlost diabolky spočítáme: (obr. č. 2)

M – hmotnost kuličky, m – hmotnost diabolky, h – výška posunutí,
 g – tíhové zrychlení $9,80665 \text{ m/s}^2$, l – délka závěsu, d – délka posunutí

Příklad výpočtu rychlosti:

Naměřené a vypočtené hodnoty:

$l = 1,2535 \text{ m}$; $d = 0,098 \text{ m}$; $m = 0,00052 \text{ kg}$; $M = 0,18928 \text{ kg}$;

Dosadíme hodnoty:

$$\underline{\underline{v = 144,6 \text{ ms}^{-1}}}$$

U výsledků byla vypočítána chyba přímého měření podle vzorce: $\Delta = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (\Delta v_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$, a

relativní chyba $\delta = \frac{\Delta}{v} \cdot 100 [\%]$.

Tabulky:

1. Výsledky měření:

a. TAU 7 - pistole

Tau 7	pistole		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,098	1,25	144,6
2.	0,098	1,25	144,6
3.	0,097	1,25	135,3
4.	0,098	1,25	144,6
5.	0,096	1,25	125,2
6.	0,097	1,25	144,6
7.	0,098	1,25	144,6
8.	0,096	1,25	125,2
9.	0,096	1,25	125,2
10.	0,097	1,25	135,3
		průměr \bar{v}	136,9
		Δ	1,9

b. TAU 200 bílá

Tau 200	bílá		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,202	1,25	161,7
2.	0,202	1,25	177,1
3.	0,202	1,25	177,1
4.	0,202	1,25	177,1
5.	0,202	1,25	169,6
6.	0,202	1,25	177,1
7.	0,201	1,25	173,4
8.	0,202	1,25	180,8
9.	0,202	1,25	177,1
10.	0,202	1,25	177,1
		průměr \bar{v}	174,8
		Δ	1,1

c. TAU 200 hnědá

Tau 200	hnědá		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,145	1,25	149,1
2.	0,145	1,25	149,1
3.	0,144	1,25	147,5
4.	0,145	1,25	148,5
5.	0,145	1,25	148,5
6.	0,145	1,25	148,3
7.	0,145	1,25	149,1
8.	0,145	1,25	149,1
9.	0,145	1,25	148,2
10.	0,145	1,25	149,1
		průměr \bar{v}	148,6
		Δ	0,1

d. Anschütz 8002

Anschütz	8002		
č. měření	posunutí d [m]	délka kyvadla l [m]	rychlost v [m/s]
1.	0,205	1,25	191,3
2.	0,200	1,25	187,8
3.	0,199	1,25	184,3
4.	0,200	1,25	187,8
5.	0,200	1,25	187,8
6.	0,199	1,25	184,3
7.	0,200	1,25	187,8
8.	0,200	1,25	187,8
9.	0,201	1,25	185,8
10.	0,200	1,25	187,8
		průměr \bar{v}	187,3
		Δ	0,4

2. Přehled rychlosti diabolky pro jednotlivé střelné zbraně

zbraně	Tau 7 - pistole	Tau 200 - bílá	Tau 200 -h.	Anschütz 8002
č.měř.	rychlost v [m/s]	rychlost v [m/s]	rychlost v [m/s]	rychlost v [m/s]
1	144,6	161,7	149,1	191,3
2	144,6	177,1	149,1	187,8
3	135,3	177,1	147,5	184,3
4	144,6	177,1	148,5	187,8
5	125,2	169,6	148,5	187,8
6	144,6	177,1	148,3	184,3
7	144,6	173,4	149,1	187,8
8	125,2	180,8	149,1	187,8
9	125,2	177,1	148,2	185,8
10	135,3	177,1	149,1	187,8
průměr \bar{v}	136,9	174,8	148,6	187,3
Δ	1,9	1,1	0,1	0,4
δ [%]	1,4	0,6	0,1	0,2

Diskuze:

Při měření rychlosti střely pomocí balistického kyvadla jsme se dopustili poměrně malých chyb měření. Nejpřesněji vyšla střelná zbraň Anschütz 8002 a nejhůře TAU 7 použitá jako pistole. K chybě mohlo dojít tím, že jsme nestříleli přesně v ose válečku s modelovací hmotou. To mohlo ovlivnit pohyb kyvadla. Při měření délky posunutí se pak naměřila různá vzdálenost.

Lepších výsledků měření rychlosti střely mohla pozitivně ovlivnit teplota prostředí, protože jsme stříleli na půdě, kde byla teplota kolem 5 °C. Tím nebyla způsobena tak velká deformace plastické hmoty a mohlo se předat více energie soustavě.

Závěr:

Měření rychlosti střely pomocí bal. kyv. je přesnější metoda než pomocí rotujících kotoučů, protože na výsledku měření se nepodílí tolik chyb vlastním měřením.

Byly naměřeny následující chyby měření:

1. Chyba přímého měření

TAU 200 – hnědá	$148,6 \pm 0,1$ [m/s]
TAU 200 – bílá	$174,8 \pm 1,1$ [m/s]
TAU 7 – pistole	$136,9 \pm 1,9$ [m/s]
Anschütz 8002	$187,3 \pm 0,4$ [m/s]

2. Relativní chyba měření v procentech

TAU 200 – hnědá	0,1 [%]
TAU 200 – bílá	0,6 [%]
TAU 7 – pistole	1,4 [%]
Anschütz 8002	0,2 [%]

5. Vzorový protokol pro měření aparaturou rotujících kotoučů

Měření rychlosti střely pomocí aparatury rotujících kotoučů

Úkol:

Určete rychlost střely (diabolky) pomocí aparatury rotujících kotoučů

- různými druhy střelných zbraní
- při různé vzdálenosti kotoučů
- při různých velikostech rychlosti vrtačky

Seznam pomůcek:

stroboskop, vrtačka s různými počtem otáček, kotoučová aparatura na měření rychlosti střely a lapač střel na obr. č. 1, 4 druhy střelných zbraní, stojan na střelné zbraně na obr. č. 2, metr, úhломěr, libela, fix na popisy, klíč č. 24 na utahování matek, imbus č. 3 na utahování náboje, terče, diabolky, oddělovací zábrana.



Obr. č. 1 Kotoučová aparatura a lapač střel (vlevo)



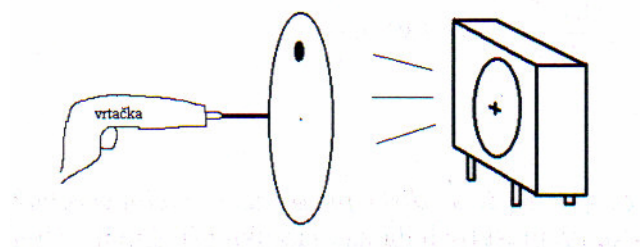
Obr. č. 2 Stojan se střelnou zbraní

Teorie:

Tato metoda spočívá v tom, že na kovovou tyč upevníme dva papírové disky. Když tyč propojíme přes ozubený řemen k vrtačce a necháme rychle rotovat, disky nesmí prokluzovat. Při pokusu diabolka vystřelená z hlavně střelné zbraně, umístěné v blízkosti terče, prorazí první terč v určitém místě. Soustava se během doby letu diabolky mezi prvním a druhým terčem otočí o úhel daný rychlostí rotace vrtačky a diabolka prorazí druhý terč. Pomocí tohoto úhlu a vzdálenosti terčů můžeme vypočítat průměrnou rychlost diabolky mezi dvěma terči, která se přibližně rovná úst'ové rychlosti diabolky, protože je mezi nimi malá vzdálenost. Pro změření otáček vrtačky použijeme stroboskop nebo přímo otáčkoměr. Stroboskop je přístroj, který bliká s nastavitelnou frekvencí.

Práce se stroboskopem (obr. č. 3)

Na disku si vyznačíme bod, když je stroboskop seřízen tak, aby blikal synchronně s otáčením disku, je pozorovatelný stále na jednom místě. Zdá se, že se disk neotáčí. Hodnota, kterou přečteme na stroboskopu, když vidíme bod na místě, je hodnota frekvence vrtačky.



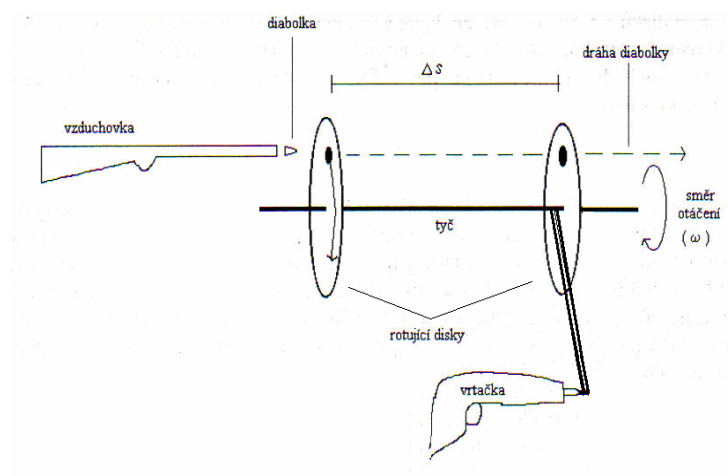
Obr. č. 3 Práce se stroboskopem

Rychlost diabolky spočítáme:

Δt = čas mezi průstřely 1. a 2. terče, $\Delta \beta$ = úhel, o který se mezitím terče otočily,

ω = úhlová rychlost, Δs = délka dráhy

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} ; \Delta t = \frac{\Delta \beta}{\omega} \Rightarrow \frac{\Delta s}{v} = \frac{\Delta \beta}{\omega} \Rightarrow v = \frac{\Delta s \cdot \omega}{\Delta \beta}$$



Obr. č. 4 Rotující kotouče

Postup:

Kotoučovou aparaturu upevníme stahovacími úchyty na okraj stabilního stolu. Na ozubenou řemenici umístěnou na hřídeli pro otáčení terčů navlékneme řemen k vrtačce, ve které je řemenice uchycena sklíčidlem. Vrtačku připevníme ke stolu tak, aby řemen nebyl ani volný, ani příliš napnutý. Na tyč nasadíme terče mezi přítlačné kotouče ve vzdálenosti 0,5 m od sebe, srovnáme je podle okrajů a přitáhneme matkou tak, aby neprokluzovaly. Označíme si je, abychom věděli, který byl vpředu a který vzadu. Z jedné strany kotoučové aparatury dáme držák na střelné zbraně (obr. č. 2) a z druhé strany umístíme lapač střel. Vezmeme střelnou zbraň a upevníme ji do stojanu na střelné zbraně umístěnému v blízkosti terče. Aparaturu srovnáme pomocí libely do vodorovné polohy a zároveň zajistíme, aby byla v ose s hřídelí. Pro kontrolu provedeme zkušební výstřel bez otáčení terčů a přesvědčíme se, zda střela prošla oběma terči ve stejném místě - eventuálně vše dorovnáme. Na terči vytvoříme orientační černý bod, pustíme vrtačku a pomocí stroboskopu určíme otáčky vrtačky. Pro správnou funkci stroboskopu je nejlépe mít v místnosti pološero nebo tmou. Stroboskop seřídíme tak, aby blikal synchronně s otáčením terče, aby černý bod byl pozorovatelný stále na jednom místě (obr. č. 3). Zdá se, že se terč neotáčí. Hodnota, kterou přečteme na stroboskopu, vidíme-li bod na jednom místě, je hodnota frekvence otáček vrtačky.

Po zjištění otáček opět nabijeme střelnou zbraň a vystřelíme při spuštěných otáčkách. Při každém měření si každý průstřel označíme (obr. č. 5). Terče nastřílené střelnou zbraní Anschütz. Po vystřelení pěti střel, změníme vzdálenost kotoučů na 0,6 m a celé opakujeme od srovnání terčů. Po skončení měření nastavíme jiné otáčky vrtačky a použijeme nové terče, naměříme jejich vzdálenost 0,5 m a srovnáme. Dále pokračujeme dle výše uvedeného postupu. Po dokončení měření střelnou zbraní typu TAU 7, použitou jako pistoli, vyměníme za další střelné zbraně typu – TAU 200 na CO₂ (dva druhy plynovek), Anschütz 2008 – větrovka. Pro každou z nich celé opakujeme.



Obr. č. 5 Terče nastřílené zbraní Anschütz

– střelba při otáčkách vrtačky 850 m/s.

Číslice - vzdálenosti terčů 0,5 m (pětkrát střeleno).

Písmena - vzdálenosti terčů 0,6 m (pětkrát střeleno).

Velikost úhlu pootočení zjistíme tak, že si nasadíme terče patřící k sobě na náboj držáku tak, aby průstřely jednotlivých označených stříel se překrývaly (obr. č. 6). Podle hran terčů změříme úhly v radiánech. Zjištěné hodnoty zapíšeme do tabulky a dosadíme do vzorců pro výpočet rychlosti střely. Vypočítáme průměrnou rychlost a chybu měření.



Obr. č. 6 Jak zjistit úhel pootočení

Naměřené a vypočtené hodnoty:

Rychlost diabolky spočítáme (obr. č. 4):

Δt = čas mezi průstřely 1. a 2. terče, $\Delta \beta$ = úhel, o který se mezitím terče otočily,

ω = úhlová rychlost, Δs = délka dráhy

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} ; \Delta t = \frac{\Delta \beta}{\omega} \Rightarrow \frac{\Delta s}{v} = \frac{\Delta \beta}{\omega} \Rightarrow v = \frac{\Delta s \cdot \omega}{\Delta \beta}$$

Příklad výpočtu rychlosti:

Naměřené a vypočtené hodnoty:

$\Delta s = 0,5 \text{ m}$; $\Delta \beta = 0,225 \text{ rad}$; $\omega = 53,68 \text{ rad/s}$

Dosadíme:

$v = 119,2 \text{ m/s}$

U výsledků byla vypočítána chyba přímého měření podle vzorce: $\Delta = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (\Delta v_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$ a

relativní chyba $\delta = \frac{\Delta}{v} \cdot 100 [\%]$.

Tabulka 1 Výsledky měření rotujícími kotouči pro použité střelné zbraně

TAU 200 - hnědá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	12,9	0,225	53,679	0,004	119,2
0,6	512,6	8,543	18	0,314	53,679	0,006	102,5
TAU 200 - hnědá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost.	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	37	0,646	89,012	0,007	68,9
0,6	850	14,167	41	0,716	89,012	0,008	74,6
TAU 200 - bílá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	17	0,297	53,679	0,006	90,5
0,6	512,6	8,543	20	0,349	53,679	0,007	92,3
TAU 200 - bílá							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	33	0,576	89,012	0,006	77,3
0,6	850	14,167	38	0,663	89,012	0,007	80,5
Anschütz 8002							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	28	0,489	89,012	0,005	91,1
0,6	850	14,167	34	0,593	89,012	0,007	90,0
Anschütz 8002							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	14	0,244	53,679	0,005	109,8
0,6	512,6	8,543	17,2	0,300	53,679	0,006	107,3
TAU 7 pistole							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	512,6	8,543	17	0,297	53,679	0,006	90,5
0,6	512,6	8,543	20,9	0,365	53,679	0,007	88,3
TAU 7 pistole							
dráha	frekvence	frekvence	velikost úhlu	velikost úhlu	úhlová rychlost	doba letu	rychlost
Δs	[ot/min]	[ot/s]	β [°]	β [rad]	ω [rad/s]	t [s]	v [m/s]
0,5	850	14,167	42,5	0,742	89,012	0,008	60,0
0,6	850	14,167	34,9	0,609	89,012	0,007	87,7

Tabulka 2 Přehled jednotlivých rychlostí zbraní a chyby měření

frekvence [ot/min]	512,6	512,6	850,0	850,0	
dráha Δs [m]	0,5	0,6	0,5	0,6	
zbraně/ rychlost					průměr \bar{v}
TAU 200 – hnědá	119,2	102,5	68,9	74,6	91,3
TAU 200 - bílá	90,5	92,3	77,3	80,5	85,1
TAU 7 - pistole	90,5	88,3	60,0	87,7	81,6
Anschütz 8002	91,1	90,0	109,8	107,3	99,6

frekvence [ot/min]	512,6				
dráha Δs [m]	0,5	0,6	512,6		
zbraně/ rychlost			průměr \bar{v}	Δ	δ [%]
TAU 200 - hnědá	119,2	102,5	110,9	5,5	5,0
TAU 200 - bílá	90,5	92,3	91,4	0,6	0,7
TAU 7 - pistole	90,5	88,3	89,4	0,7	0,8
Anschütz 8002	91,1	90,0	90,5	0,3	0,3

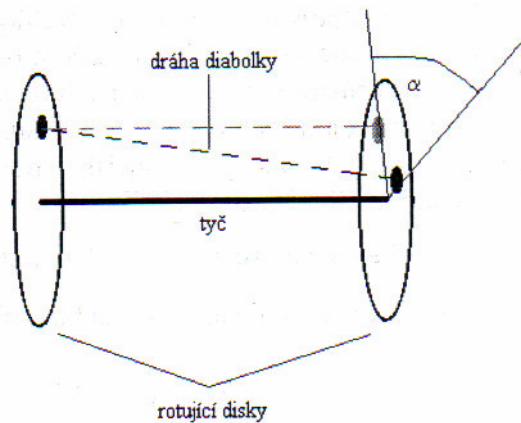
frekvence [ot/min]	850,0				
dráha Δs [m]	0,5	0,6	850,0		
zbraně/ rychlost			průměr \bar{v}	Δ	δ [%]
TAU 200 - hnědá	68,9	74,6	71,8	1,9	2,6
TAU 200 - bílá	77,3	80,5	78,9	1	1,3
TAU 7 - pistole	60,0	87,7	73,8	9,2	12,5
Anschütz 8002	109,8	107,3	108,6	0,9	0,8

Diskuze:

Teoreticky je možné, že při měření úhlové rychlosti disků stroboskopem (přesně fungujícím) by mohlo dojít k naměření rychlosti k - krát menší, kde k je libovolné přirozené číslo s výjimkou $k=1$. Protože nejmenší chyba by nastala při $k=2$, je zřejmé, že plynulým zvyšováním frekvence stroboskopu, počínaje $\omega=0$, dojde k prvnímu zastavení obrazu při $k=1$ a naměřená hodnota je pak správná.

Prokluzování disků lze eliminovat vhodnou konstrukcí upevnění disků k rotující ose a kontrolou správného nastavení disků před i po ukončení střelby.

Rovnoběžnost dráhy střely s osou otáčení vrtačky ověříme kontrolním výstřelem do nerotujících kotoučů. I když se disky netočí, je při přiložení kotoučů k sobě zřetelné, že dojde k úhlovému posunu na obr. č. 7.



Obr. č. 7 Úhlový posun

Přesnost střely ovlivňuje i tuhost konstrukce stativu kotoučů a jeho spojení se stolem.

Pohyb střely je ovlivňován při průstřelu prvního kotouče několika způsoby:

- a. snížení rychlosti střely, při střelbě brokem je snížení jednorázové, u diabolky je rychlost snížena nadvrát při průchodu „hlavy“ a „sukénky“
- b. „stržení“ broku rotujícím prvním kotoučem ve směru kolmém k ose rotace, které závisí na rychlosti otáčení kotouče a vzdálenosti průstřelu od osy rotace kotoučů, čímž se prodlužuje délka dráhy mezi kotouči a ovlivňuje umístění průstřelu druhého kotouče. U diabolky je stržení dvojitě, při němž dochází ke změnám směru osy diabolky a mění se obtékání diabolky vzduchem, což má vliv na její trajektorii.

Závěr:

Byly naměřeny následující chyby:

1. Chyby měření:

- a. pro frekvenci vrtačky 512,6 ot/min

TAU 200 – hnědá	$110,9 \pm 5,5$ [m/s]
TAU 200 – bílá	$91,4 \pm 0,6$ [m/s]
TAU 7 – pistole	$89,4 \pm 0,7$ [m/s]
Anschütz 8002	$90,5 \pm 0,3$ [m/s]
- b. pro frekvenci vrtačky 850 ot/min

TAU 200 – hnědá	$71,8 \pm 1,9$ [m/s]
TAU 200 – bílá	$78,9 \pm 1,0$ [m/s]
TAU 7 – pistole	$73,8 \pm 9,2$ [m/s]
Anschütz 8002	$108,6 \pm 0,9$ [m/s]

2. Relativní chyba v procentech:

a. pro frekvenci vrtačky 512,6 ot/min

TAU 200 – hnědá 5,0 [%]

TAU 200 – bílá 0,7 [%]

TAU 7 – pistole 0,8 [%]

Anschütz 8002 0,3 [%]

b. pro frekvenci vrtačky 850 ot/min

TAU 200 – hnědá 2,6 [%]

TAU 200 – bílá 1,3 [%]

TAU 7 – pistole 12,5 [%]

Anschütz 8002 0,8 [%]

Výsledky měření pomocí rotujícími kotouči není tak přesné, protože se na nich podílí více chyb měření, ale nejvíce zpomalení rychlosti diabolky způsobuje průstřel prvního terče.