

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Bohumil Kučera

Vědecké podklady moderního válečnictví. [II.]

*Časopis pro pěstování matematiky a fysiky*, Vol. 45 (1916), No. 4-5, 486--505

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/109104>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1916

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

ovšem nutno, aby uvažovaná funkcionální závislost

$$z = f(x, y)$$

byla skutečně dána analytickým výrazem; stačí, aby pro dostatečný počet dvojic  $(x, y)$  byla známa příslušná hodnota  $z$ , na př. na základě pozorování. Takovéto isoplety přicházejí často ve fyzice, meteorologii atd. Tak kreslíme na př. thermoisoplety, které udávají nám na první pohled pro každý měsíc v roce a pro každou hodinu denní střední teplotu určitého místa.

(Uvedená firma vyrábí papíry v různých rozměrech a prodává je v blocích, jak z cenníku logaritmických papírů jest patrné. K praktickému použití doporučuje Logarithmenblock No. 377 $\frac{1}{2}$ , obsahující po 12 listech čtyř různých druhů; cena M 450 a Düren.)

## Vědecké podklady moderního válečnictví.

Pro žáky středních škol píše prof. Dr. Boh. Kučera.

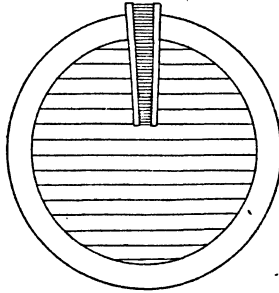
(Dokončení.)

Dříve než se zmíníme o některých výsledcích vnější ballistiky, již náš článek jest po výtce věnován, jest nutno poněkud se poohlédnouti po historickém vývoji tvaru projektilu. jehož se nyní všeobecně užívá.\*)

Do padesátých let minulého století měly střely vesměs tvar koule, buď plné, jako u střel ručnicových i dělových, nebo duté a explozivní látkou vyplněné, jako u *bomb* a *granátů*, které se vrhají z děl (kusů) nebo hmoždířů a houfnic. Explosivní látkou byl tehdy výhradně černý prach, od časů mnicha *Bertholda Schwarze* sestávající ze 75 dílů sanytru (ledku či dusičňanu draselnatého  $KNO_3$ ), 11 $\frac{1}{2}$  dílů síry a 13 $\frac{1}{2}$  dílů dřevěného uhlí (nyní užívá se směsi 78 : 3 : 19). Aby se uvnitř granátu vznítil a střelu roztrhl, byl vnitřek duté koule železný spojen s vnějším trubičkou rovněž prachem naplněnou (obr. 1.), obyčejně

\*) Tato stat jest zpracováním mé přednášky: »Moderní válečnictví a fyzika«, uveřejněné v »České Revui«, roč. 1915 str. 193 - 201 a 263—272, kde jsou mnohá data o moderních zbraních.

dřevěnou, aby se dala prostým uříznutím její délka měniti a tím i okamžik výbuchu poněkud regulovati. Prach v trubičce vznítil se za výstřelu a to plameny propulsivního náboje v dělové trubičce, které celý projektil obklopily, ježto nevyplňoval dokonale kalibr hlavně. Ještě třetího druhu střel se užívalo. Byly to *šrapnely*, nazvané dle svého vynálezce r. 1803., anglického plukovníka *Shrapnela*. Byly to koule s pláštěm tenčím než u granátů, které jako dodnes byly vyplněny explosivní látkou a mnoha menšími kulemi, které po explozi projektilu se ve vzduchu rozlétly a sledující v kuželovitém útvaru další pohyb dřívějšího těžiště střely, vykonávaly svou ničivou práci. Děla i houfnice a hmoždíře byly *předovky*, t. j. měly hlavně lité z jediného kusu,



Obr. 1.

vzadu uzavřené, do nichž jak propulsivní náboj (v pytlíku z etaminu, hedvábí nebo papíru), tak i střely byly nabíjeny ze předu. Jejich vrtání bylo hladké, a kalibr — vnitřní průměr — byl nutně o něco větší než kalibr střel. Kalibr udával se u děl (kanonů) zpravidla vahou plné železné koule, která se z nich vystřelovala, kalibr houfnic a hmoždířů vahou koule kamenné. Nyní udává se kalibr v centimetrech a měla tudíž po našem smyslu týž kalibr 15 cm 7-liberní houfnice jako 24-liberní dělo.

Dostřel (donos) těchto starých děl byl ovšem dle našich názorů ubohý. I u těžkých polních děl 12-liberních (12 cm) obnášel u plné koule asi 1300 m, u šrapnelu pak asi 900 m, u lehkých 6-liberních (9 cm) a 3-liberních (7 cm) byl ještě menší. Také jistota střelby byla malá. Střední odchylky v dále dostřelu dosahovaly až 6% celku. Ale ovšem mělo přes to dělostřelectvo

převahu nad střelbou pěchoty, ozbrojené hladkou předovkou, t. j. ručnicí ze předu nabíjenou s hladkým vrtáním hlavně. Účinný dostřel její nepřesahoval asi 300 kroků\*), kdežto kartáčová palba i lehké 6-liberky nebo 8-liberky (asi 10 cm, na př. u francouzské armády) v obvyklém tehdy hustém šiku velmi zhoubně působila i na vzdálenost 600 kroků. *Kartáči* rozumějí se dělové náboje, sestávající z velikého množství malých kulí v tenkém válcovitém obalu plechovém, který za výstřelu již v hlavní se roztrhl, takže kartáčový výstřel z děla — ovšem jen na cíle živé užívaný — jest obdobou výstřelu z brokovnice. Vůbec lze říci, že tehdejší polní dělo mohlo uzavřené šiky pěchoty účinně ostřelovati na vzdálenost nejvýše asi 1800 ×. To se dalo plnými koulemi ranou ricochetovou (ricocher franc. = po dopadu odskočiti) — koule dopadší na zem pod úhlem menším 15° znovu odskakuje v obloucích stále se zmenšujících, jakých na př. docílujeme na klidné hladině vodní plochy hozeným plochým oblázkem. O zvětšování dostřelu granátů „pólováním“ se zmíníme později.

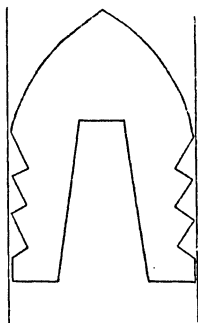
Takto nastílnili jsme zcela krátce poměry, které panovaly v létech padesátých minulého století u všech evropských armád a to od staletí téměř nezměněně, takže se šestiliberky Bedřicha Velikého podstatně téměř nelišily od děl užívaných v Šlesvické válce r. 1848. Ale právě tehdy nastává ohromný převrat, způsobený obecným zaváděním „tažené“ ručnice — pušky — v celých massách pěchoty, jež se odehrálo v létech 1840—1855. Byly to většinou předovky, jichž vrtání není hladké, nýbrž jest opatřeno spirálovitými rýhami (viz níže). Projektil, který nabývá tvaru krátkého, hrotem opatřeného válce, má při nabíjení průměr menší než je kalibr hlavně, takže jej lze ze předu do ní vpraviti, jest vzadu opatřen dutinou (viz obr. 2., znázorňující francouzskou střelu kapitána *Minié* z r. 1849), která při výstřelu následkem tlaku propulsivních plynů se rozšíří a tak zadní svou částí celý kalibr hlavně vyplní. Tím docílí se jednak lepšího využití tlaku plynů z náboje vzniklých, jednak rotace projektilu, jak se o tom zmíníme poněkud podrobněji u děla.

---

\*) Krokem rozumí se ve smyslu vojenském délka 75 cm. Krátké označení pro ni obvyklé jest ×.

Prusko zavedlo dokonce r. 1841 Mikolášem *Dreysem* zkonstruovanou „jehlovku“, ručnici ze zadu nabíjenou, z prvu hladkou později také taženou.

Tažené ručnice střílely nejenom daleko jistěji, ale též až dvakrát dále a zadovky vedle toho i značně rychleji než staré ručnice hladké. Převaha dělostřelby, jejíž předním účelem jest protivníkovu pěchotu vně účinné střelby ručnicové seslabiti a roztrfísti, stává se illusorní — na př. v krymské válce r. 1855 má francouzská ručnice na 800 × převahu nad ruským dělem. Neměla-li tedy artillerie ztratiti zhola svůj význam v polním



Obr. 2.

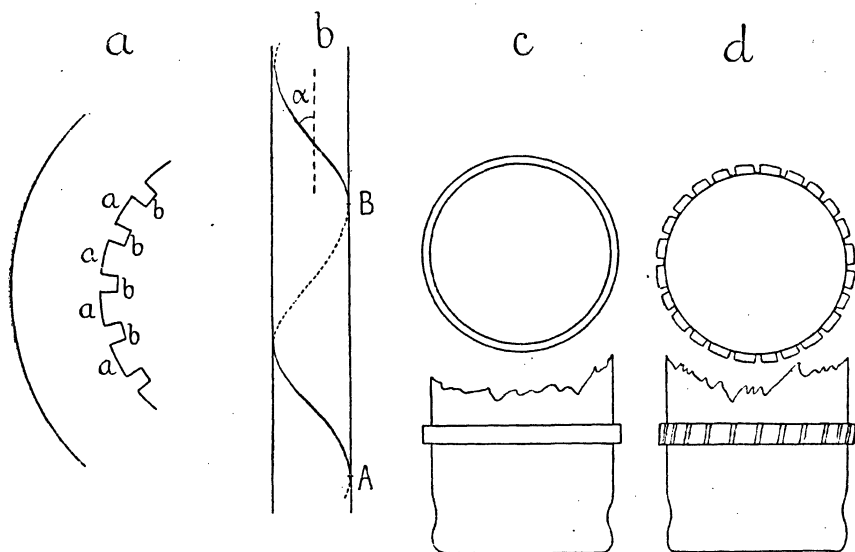
boji, bylo nutno ji reformovati, t. j. docíliti většího donosu děla a větší jistoty střelní.

Hlavní překážkou velikého dostřelu jest odpor vzduchu, jehož vliv zvláště na projektily malé je neobyčejně veliký. Tak na př. by dostřel moderní vojenské ručnice ve vzduchoprázdném prostoru obnášel na 40 *km*, kdežto největší dostřel skutečný — ve vojenství ovšem neužívaný — jest o málo větší 4 *km*. Vystřelíme-li z naší Manlicherovky M.95 \*) vertikálně do výše, dostihne projektil výšky 2450 *m* a spadne po uplynutí 52 vteřin zpět, ač by ve vzduchoprázdném prostoru vyletěl do výše téměř 20 *km* a dopadl zpět za dobu delší dvou minut. U velikých projektilů dělových jest velmi důležitým jejich tvar. Na prvním pohled je patrné, že koule za letu vzduchem doznává velikého

\*) M. 95 značí „Model 1895“; podobně na př. M.09 vzor z r. 1909.

odporu, neboť vzduch, jež při pohybu má rozrážeti, opírá se mocně o její k pohybu kolmou plochu čelní. Vedle toho jest u ní příliš malým t. zv. *zatížením průřezu* t. j. váha projektilu dělená k směru pohybu kolmým průřezem vzduchového kanálu, jenž u koule jest ovšem jejím největším kruhem. Čím větší jest toto plošné zatížení, tím větší jest za stejné rychlosti kinetická energie projektilu a tím poměrně méně padá na váhu odpor vzduchu. Pokusy i theoretické úvahy o užívání podlouhlých projektilů datují se sice již z počátku 19. století, leč teprve v padesátých letech mění se tvar střely z koule na dlouhý v předu zahrocený válec. Ač tato myšlenka již tvarem pradávňích šípů a oštěpů zdánlivě leží na snadě, přece zavedení její v praxi nebylo tak jednoduché, jak by se zdálo. Souvisí s touto reformou další, neméně důležité. Válcovitý projektil vystřelený z hladké hlavně se na své dráze následkem odporu vzduchu snadno překotí, takže provádí ve vzduchu kozelce a následek toho jest, že dráha se všelijak kříví, stává se velmi nepravidelnou, na náhodě velmi závislou a dopad hrotem na cíl naprosto se nedá zaručiti. Jistota střelby i průrazný účinek projektilu jsou ty tam. Tomu lze zabrániti, udělíme-li projektilu dostatečně rychlou rotaci kolem jeho vlastní osy. Plyneť ze základních zákonů mechaniky, že u rotujícího těžkého tělesa, kolem osy symetrického, nastává snaha, udržeti směr osy nezměněným. Ostatně vám jsou dobře známy z fysiky pokusy se setrvačnickými nebo s přístrojem Bohnenbergerovým. Dlouhé rotující projektily měly již před rokem 1850 jakéhosi předchůdce v t. zv. *střelách na demontování*, užívaných k ničení pevných cílů, hradeb, zdí a pod. Byly podlouhlé a na povrchu opatřeny spirálovitou rýhou. Nabíjely se do hladkých předovek a uváděly se v mírnou rotaci plyny z propulsivního náboje, které při výstřelu kolem nich hlavně onou spirálovitou rýhou unikaly. Ovšem nebylo toto řešení problému ani zdaleka ideální. Nyní dociluje se rotace projektilů dělových i ručnicových tím, že vývrti hlavně jest tažen, t. j. že její vnitřní stěna jest opatřena rýhami různého profilu, které jí ve tvaru šroubovice obtáčí. Nyní nejužívanějším tvarem rýh jest do kruhového oblouku stočený obdélník, jak jej ukazuje obr. 3. a. Rýhy (a) zovou se *tahy*, výstupy (b) *pole*. Úhel  $\alpha$ , který tvoří šroubovice se směrem osy, nazývá se *úhlem krutu*, délka jedné celé

otočky  $AB$  *délkou krutu*, jež se zpravidla udává v kalibrech, t. j. jakožto násobek vnitřního průměru hlavně. Vedení projektilu v rýhách lze docílití dvojím způsobem; buď jest projektil již předem opatřen pevnými výstupy odpovídajícími tahům, nebo sestává buď celý jeho povrch nebo jedna jeho část, průměru tahům odpovídajícího a nad ostatní válcovitou plochu poněkud vystupující, z kovu nepřilíš veliké tvrdosti, který se při výstřelu vmáčkne do rýh a potom jimi projektil vede, takže než proběhne hlaveň, se dostane do rychlé rotace.



Obr. 3.

Dnes se užívá bezvýjimečně způsobu posledního, který vedle dokonalého vedení projektilu v hlavní má také tu výhodu, že se otvor hlavně před možným unikáním výbušných plynů kolem projektilu dokonale ucpe, čímž se zabrání ztrátám jejich propulzivní síly. Granáty i šrapnely jsou ve spodní třetině své délky opatřeny měděným, plochým prstěncem, nad ostatní povrch poněkud vystupujícím, zvaným *páskou k vedení*. V předu (asi před poloviční délkou) podobnou užší *páskou k centrování*.

Moderní zbraně střelné vykazují valnou většinou t. zv. *krut progresivní*, t. j. úhel krutu, zprvu menší, blíže k ústí hlavně

poněkud roste, takže se projektil roztáčí pomaleji, znenáhleji než u *krutu stálého*, ale přece dostihuje žádaného počtu obrátek bez nebezpečí, že příliš velikým „namáháním na rotaci“ projektilu v prvých momentech explose propulsivního náboje utrpí „pole“ v hlavní trvalé deformace. Obrazec 3. *c* a *d* znázorňuje pásku k vedení u granátu před výstřelem a po něm. Počet obrátek musí být tím větší, čím je projektil v poměru ku kalibru delší. Konečný úhel krutu obnáší u ručnic asi  $4\cdot8^{\circ}$  až  $6\cdot0^{\circ}$ , u děl leží mezi  $4^{\circ}$  až  $7\cdot2^{\circ}$ , u hmoždírů a houfnic mezi  $5\cdot1^{\circ}$  a  $11\cdot8^{\circ}$ . U ručnice naší pěchoty (M. 95, kalibr 8 mm) jest počet obrátek za vteřinu při výstupu projektilu z hlavně 2480, ale u ručnice amerického námořnictva (kalibru 6 mm) dostupuje skoro až 5000.

Dokončeme však krátce zmínku o historickém vývoji. V letech padesátých minulého století zaváděné dlouhé projektily vyžadovaly reformu konstrukce hlavně. Nabíjení rýhovaným vývrtem ze předu bylo spojeno s obtížemi, zbraň se musela postupem času přetvořit na zadovku, musel být zkonstruován vhodný závěr hlavně, který vydrží veliký tlak výbušného plynu, uzavíraje hlaveň dostatečně vzduchotěsně, ale zase tak, aby mohl rychle a snadno být odstraněn, má-li se zbraň po výstřelu znova nabít. O pruské „jehlovce“, jež jest prvním řešením tohoto problému u ručnice, jsme se již zmínili. U děla řešil jej s úspěchem poprvé inženýr baron *Wahrendorff*, majitel železná hutí a tehdy proslavené zbrojovky v Åkeru ve Švédsku, který zkonstruoval prvý závěr pro hladkou hlaveň, jenž se přes různé pochyby a původní skepsi při zkouškách v r. 1843 velmi dobře osvědčil. K přejímání dodávky děl do Åkeru komandovaný sardiňský hejtman *Cavalli* zkonstruoval prvé tažené dělo-zadovku, v němž byly projektily vedeny netěsně pomocí výstupů, jež zasahovaly do tahů vývrtu, a *Wahrendorff* v r. 1846 přejal *Cavalliho* taženou hlaveň, ale dlouhé projektily opatřil po celé délce povlakem olověným, jímž se vtěsnily do rýh hlavně a tak se stal vynálezcem *projektilu tlakem vtěsněného*, dnes — ovšem s přeměnou povlaku na pásku k vedení a k centrování — jedině užívaného. Prvé tažené zadovky zavedlo Prusko pro dělostřelectvo pevnostní a obléhací kabinetním nařízením tehdejšího princegenta, pozdějšího císaře Viléma I. ze dne 18. února



1858. Očividné přednosti tohoto typu vedly i ostatní státy k tomu, že postupně je zaváděly. U nás v Rakousku byla prvními podobnými polní děla M. 75 a pevnostní a obléhací M. 80, ve Francii jsou prvými děla M. 77 a 78 a v týchž asi dobách i v jiných státech. Velmi obtížnou byla zvláště vhodná konstrukce trvanlivého závěru, takže na př. v Anglii v r. 1859 zavedená tažená děla se závěrem Armstrongovým byla r. 1865 a 1872 nahrazena taženými předovkami, které teprve v r. 1890 ustoupily definitivně zadovkám. Nespadá v rámeček tohoto článku, abychom se šířili o závěrech moderních\*), které se buď jako závěr s kloboukem nebo šroubem ze zadu k hlavní připojují nebo jako dnes nejobvyklejší závěr s klínem do zadní části hlavně se strany zasunují, nýbrž vrátíme se po této exkursi k hlavnímu problému vnější ballistiky.

Dráha hmotného bodu, šikmo vzhůru vrženého ve vzduchu-prázdném prostoru jest, jak dovedete sami dokázati, parabola. V týchž horizontálních vrstvách má pohyblivý bod touž rychlost a týž sklon dráhy k horizontále, takže na vodorovné rovině dopadne na cíl pod týmž úhlem, pod nímž byl vržen. Nejmenší rychlost ve dráze má ve vrcholu paraboly — jest rovna horizontální složce rychlosti — který leží uprostřed dráhy. Snad se Vám podaří dokázati i následující zajímavé věty, jichž důkaz lze provést prostředky elementární matematiky.

Myslíme-li si z téhož místa pod různými sklony ale vždy touže rychlostí a v téže rovině vržený hmotný bod, obaluje všechny paraboly dráhové tak zv. parabola ochranná, jejímž ohniskem jest místo vrhu, vrcholem pak výška vrhu svislého vzhůru. Vně této paraboly nelze stihnouti žádný bod za dané rychlosti vrhu (nebo rychlosti menší). Uvnitř lze každý bod stihnouti dvěma vrhy o různých elevacích. Každý bod horizontální roviny proložený místem vrhu lze stihnouti vrhem o elevaci menší než  $45^\circ$  a druhým o elevaci větší  $45^\circ$ . Dle toho jest také úhel dopadu s horizontálou menší či větší 45 stupňů. Ro-

---

\*) O všech těchto otázkách může se čtenář poučiti ze zajímavé pro neoborníky psaných knížkách známé „Sammlung Göschen“ totiž: *W. Heydenreich*: Das moderne Feldgeschütz (2 sv.), *Mummenhoff*: Die modernen Geschütze der Fussartillerie (2 sv.) a *G. Wrzodek*: Die Entwicklung der Handfeuerwaffen (1 sv.), z nichž také autor článku čerpal mnohá data.

zeznáváme tudíž *vrh plochý a strmý*. V důsledku toho užívá se ve vojenství děl s plochou drahou — děla polní, námořní a některá obléhací — a děl s drahou strmou — houfnice a hmoždíře. Vratíme-li se k hořejšímu případu, leží veškeré vrcholy parabol na ellipse, jejíž malou osou jest poloviční výška vrhu svislého vzhůru, velkou osou pak poloviční maximální délka vrhu za elevace  $45^\circ$ . Veškerá ohniska parabol leží na kruhu, jehož středem jest místo vrhu, poloměrem maximální výška vrhu.

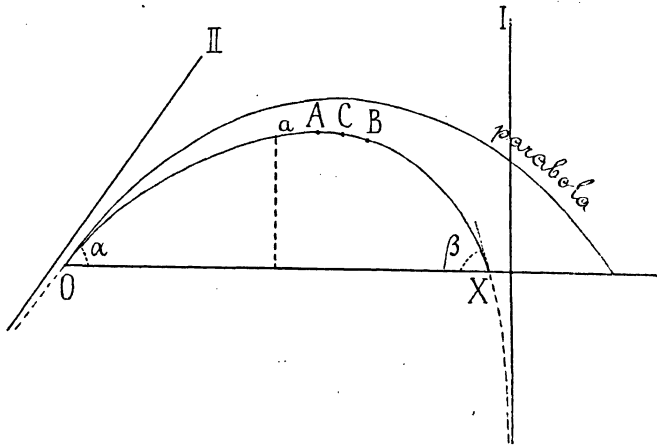
Tyto velmi jednoduché poměry značně se změň, vezme-li v úvahu odpor vzduchu. V ballistice klade se úměrným průřezu projektilu dělenému jeho vahou (tedy obráceně úměrným zatížení průřezovému), váze  $1 \text{ cm}^3$  vzduchu, koeficientu tvarovému závislému na tvaru hrotu projektilu,\*) a konečně jisté mocnině rychlosti projektilu ve dráze. *Cruuz* uvádí neméně než dvacet pět různých tvarů zákona o odporu vzduchu, jež vesměs byly dedukovány z různých pokusů a jsou často hodně složitými. Odvodíti theoreticky ze zákonů aerodynamiky všeobecný zákon se dosud nepodařilo a snad i sotva kdy podaří vzhledem k veliké složitosti problému, k níž ostatně již křivka obr. 1. v první části tohoto článku zřejmě ukazuje.

Znázorníme-li závislost odporu vzduchu na rychlosti projektilu tvarem  $K(v)$ .  $v^2$ , kde  $K(v)$  je jakási funkce rychlosti  $v$ , jest nejjednodušším zákonem odporu úměrnost se čtvercem rychlosti, klademe-li funkci  $K(v)$  rovnou konstantě. A již při tomto nejjednodušším tvaru a za předpokladu projektilu jakožto hmotného bodu, lze uzavřenými výrazy vyjádřiti pouze výsledky analytického výpočtu u vrhu svislého, kdežto vrh šikmý vede pro výšku, délku a dobu vrhu k výrazům, které se konečnými tvary vyjádřiti nedají. Leč přece můžeme udati různé vlastnosti křivky dráhové, jež jest schematicky znázorněna obr. 4. Jak jest z něho patrné, zmenšuje se dostřel  $AX$ , vrchol „ballistické křivky“ neleží ve středu dráhy  $a$ , nýbrž jest posunut blíže k cíli do bodu  $A$ , dráha v prodloužení za cílem blíží se k svislé asymptotě  $I$ , takže úhel dopadu (s horizontálou)  $\beta$  jest větší než elevace  $\alpha$ .

Rychlost projektilu ve dráze není nejmenší ve vrcholu  $A$ , nýbrž v bodě  $B$ , za ním ležícím, a blížila by se ve vertikální

\*) Nyni zpravidla *ogivální*, jehož meridiánový řez má tvar obdobný gothicckému oknu.

asymptotě „rychlosti hraničné“, za níž váha projektilu se právě rovná odporující síle vzduchu. Vertikální složka rychlosti je v téže horizontální rovině ve výstupné větvi větší než v sestupné, horizontální složky rychlosti podél dráhy neustále ubývá. Doba výstupu projektilu do vrcholu dráhy  $A$  je menší než doba sestupu z  $A$  do  $X$ . Kdybychom theoretickou křivku dráhovou prodloužili před místo vrhu  $O$ , blíží se k asymptotě  $II$ . Asymptot  $I$  a  $II$  užil *Euler*, jenž je u ballistiky první poznal, k základu výpočtu střeleckých tabulek. V bodě  $C$  mezi  $A$  a  $B$  jest dráha nejvíce zakřivena.

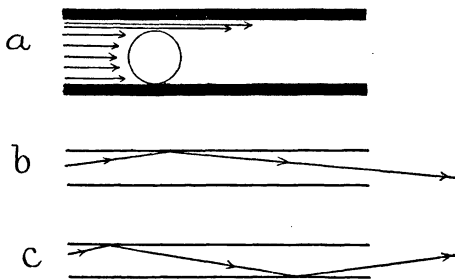


Obr. 4.

Již z těchto dosud uvedených výsledků vidíme, jak složitým jest centrální problém vnější ballistiky. A při tom považovali jsme projektil za hmotný bod a zemskou tíži za stálou, užili jsme nejjednoduššího kvadratického zákona o odporu vzduchu a úplně jsme abstrahovali od rotace zemské.

Na různé přibližné metody řešení tvaru ballistické křivky hmotného bodu za složitějšího zákona o odporu vzduchu věnováno mnoho píle a důvtipu mužů, jichž jména byla uvedena již v první části tohoto článku. Pokud se jedná o hmotný bod a nepřihlížíme k rotaci zeměkoule jest dráha vždy křivkou rovinnou, probíhající ve svislé, směrem počáteční rychlosti proložené rovině. Jakmile pojmem v úvahu rotaci zemskou, poznáme snadno,

že musí dráha projektilu vybočiti stranou z roviny a to na severní polokouli vždy v pravo, hledě od střelce. Důvod jest týž jako u vzniku passatních větrů. Představme si, že vystřelíme směrem k severu. Místo, z něhož střílíme, má od rotace zemské jistou rychlost směrem od západu k východu, rychlost tím menší, čím severněji, blíže k pólu zemskému se nacházíme. Tuto složku rychlosti projektilu podržuje a přecházeje v místa severněji ležící předbíhá jim, t. j. stihne svůj cíl na pravo od místa, kam by dopadl, kdyby zeměkoule se neotáčela. Při výstřelu směrem jižním předbíhá naopak cíl projektilu na levo t. j. na západ, odklon dráhy je východní, čili zase od střelce na pravo. Nečiní přílišných obtíží vzíti početně v úvahu rotaci zemskou za vrhu ve

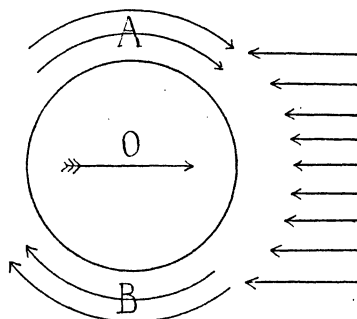


Obr. 5.

vzduchoprázdném prostoru, a i pro jednoduchý kvadratický zákon o odporu vzduchu lze alespoň udati krajní hodnoty této úchytky. U granátu váhy  $90\text{ kg}$  kalibru  $33\text{ cm}$  za elevace hlavně  $\alpha = 45^\circ$  a dostřelu  $4000\text{ m}$  leží dle výpočtu *Poissonova* odchylnka postranní mezi  $5$  a  $10\text{ m}$ . Jest tedy malá a lze ji zanedbat proti daleko větším odchylnám postranním, způsobeným rotací projektilu.

Takovéto rotace, ovšem ve značné míře náhodné, vznikaly již u starých střel tvaru kulového. Obrázek 5. ukazuje zřejmé příčiny jejich vzniku. Nevětšněná koule v obr. 5. a, dostane se při výstřelu patrně do rotace ve směru ručiček hodinových kolem osy na rovině dráhy kolmé. Jinak jest příčinou rotace jeden nebo u dlouhých hlavní i dva nárazy koule na vnitřní stěnu jejich (obr. 5. b, c). Tento zjev ovšem mění zároveň i úhel elevační projektilu, který může být větším nebo menším než elevace

hlavně, což ovšem velmi vadí jistotě střelby. Ale i rotace sama má veliký vliv na tvar dráhy. Prvým, kdo si toho povšimnul, byl Benjamin Robins, spisovatel angl. díla o dělostřelbě (r. 1742), které Euler (r. 1745) přeložil do němčiny a opatřil mnohými novými, vysoce cennými poznámkami a výpočty. Důvod zjevu však nikdo z obou nepoznal, a až se o vysvětlení i nadále mnozí pokoušeli, ba až na řešení této otázky vypsal v r. 1794 berlínská akademie zvláštní cenu, nedospěli ani muži jako *Terquem* nebo *Poisson* k správnému vysvětlení, jež podal a také pokusy podepřel teprve berlínský profesor fyziky *Magnus* v r. 1852 v pojednáních pruské akademie věd.

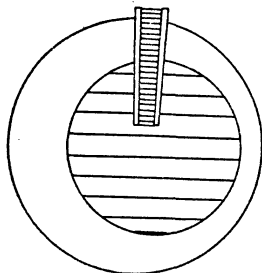


Obr. 6.

Pochopíme je z populárního výkladu tohoto: Koule (obr. 6.) rotující kolem osy procházející jejím středem  $O$  a na papíře kolmé ve směru šipkami naznačeném, strhuje k rotaci také okolní vzduch. Postupuje-li rychle směrem v pravo, nebo což jest totéž, naráží-li na ni klidnou vzduchový proud v levo postupující, vzniká v místech  $A$  zhuštění vzduchu, v místech  $B$  pak zředění. Vznik zhuštění je přímo pochopitelný, zředění vysvětluje se stejně, jako zjev ve Vaší učebnici fyziky v odstavci „hydrodynamický tlak plynů“ popisovaný. Přetlakem v  $A$  jest tudíž koule puzena směrem k  $B$ , kolmo na svou dráhu. Celkem můžeme tudíž resumovati: Rotuje-li koule kolem horizontální osy směrem od zadu přes  $\left\{ \begin{array}{l} \text{hořejšek} \\ \text{spodek} \end{array} \right.$  ku předu, doznává tlak  $\left\{ \begin{array}{l} \text{shora dolů.} \\ \text{zdola nahoru.} \end{array} \right.$  Ro-

tace kolem osy vertikální směrem od zadu přes  $\left\{ \begin{array}{l} \text{levou} \\ \text{pravou} \end{array} \right.$  stranu  
 ku předu způsobuje výchylku v dráze  $\left\{ \begin{array}{l} \text{v pravo.} \\ \text{v levo.} \end{array} \right.$

Ač toto vysvětlení nebylo před léty padesátými minulého století známo, byl znám zjev sám, ba dokonce bylo ho využito počínaje asi r. 1830. v konstrukci dělových koulí úmyslně „excentrických“, t. j. takových, že měly těžiště mimo střed, jako znázorňuje obr. 7. Plováním na rtuti určen jejich „těžký a lehký pól“, konce těžnice středem a těžištěm procházející, a lehký pól označen šípem. Pak nabíjeny tak, že před výstřelem byl šíp buď



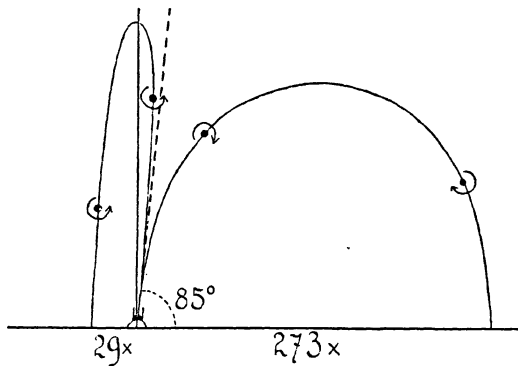
Obr. 7.

na vršku koule, těžiště pod středem jejím, nebo naopak šíp na spodu, těžiště nad středem.

Ježto při výstřelu působí výslednice všech tlaků propulsivních plynů na polokouli symetricky rozdělených ve středu koule, vzniká za každé polohy těžiště otáčení koule lehkým pólem ku předu. V případě znázorněném obr. 6., který odpovídá šípu nahore, nastává zkrácení dostřelu a zvětšení dopadového úhlu  $\beta$  (obr. 4.), kdežto v případě opačném se dostřel zvětšuje oproti normálnímu bez rotace, a úhel  $\beta$  zmenšuje, tak že se může státi i menším než elevace  $\alpha$ . Z pokusů *Didiona*, *Morina* a *Pioberta* v r. 1839 v Metách uvádíme data pro kouli asi 27 kg těžkou, která bez rotace dopadla do vzdáleností 708 m, s šípem nahore asi 518 m, s šípem dole pak 950 m. Při tom prováděla 8·6 otček za vteřinu.

Veliký vliv rotace jest zvláště patrný z pokusů majora *Heima* v Ulmu v r. 1848, z nichž nejzajímavější, třikrát opakovaný a tedy nikoli náhodný, jest znázorněn obr. 8., k němuž není potřebí mnoha slov. Rotace koule způsobila, že tato spadla za hmoždíř.

Přejdeme-li nyní od kulovitého tvaru projektilu k podlouhlému, válcovitému, kolem osy rotujícímu, stává se problém znovu složitějším. Ballistikové rozeznávají čtyři různé důvody deviace projektilu od dráhy hmotného bodu v odporujícím prostředí, které se navzájem překrývají.

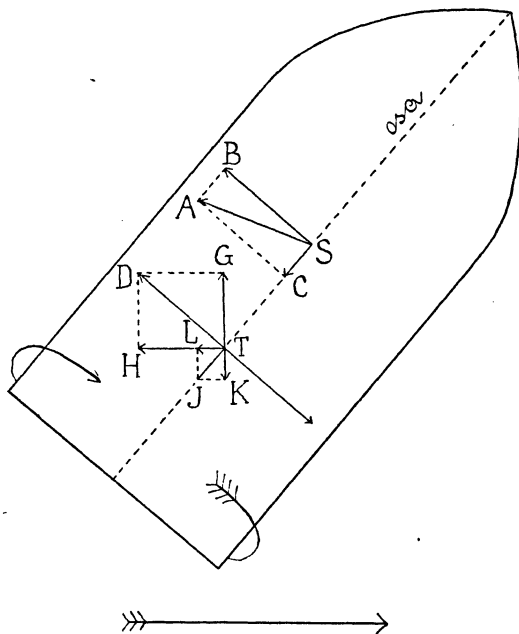


Obr. 8.

I. Podlouhlý projektil může být jakožto celek vlivem odporu vzduchu nadzvedán nebo tlačěn k zemi. Ježto o tomto vlivu obsahuje veliké kompendium *Cranzovo* vývody, po mém soudě ne zcela správné, všimneme si ho blíže.

Představme si (obr. 9.) podlouhlý projektil, který se pohybuje ve vzduchu směrem horizontálním z leva v pravo, a má těžiště *T* níže než působíště *S* odporu vzduchového. Odpor vzduchu lze znázorniti silou *SA*, složenou ze složek *SB* a *SC*, odporu proti komponentě rychlosti na ose projektilu kolmé a druhé, v ní ležící. Složka *SB* bude převyšovati *SC* tím více, čím jest na ose kolmý průřez projektilu menší oproti řezu osou. Mysleme si nyní v těžišti *T* působící dvě síly *TD* a *TE* velikosti stejné s *SB* a směru navzájem opačného. Přenesme také působíště síly *SC* do těžiště, což v tuhém tělese je vždy dovoleno. Ko-

nečně rozložme ještě složku  $TD$  a  $TJ = SC$  na složky horizontální a vertikální. Vidíme, že celkem jsme nahradili sílu z odporu vzduchu dvojicí sil  $SB$  a  $TE$ , která kácí projektil nazad momentem  $\overline{SB} \cdot \overline{ST}$ , silou  $TH + TL$ , která znázorňuje vlastní odpor vzduchu ve dráze, a konečně silou  $TG - TK$ , která projektil jakožto celek nadzvedá do výše.



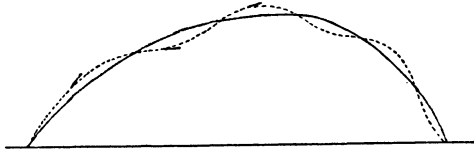
Obr. 9.

Kdyby se nacházelo těžiště  $T$  nad středem působení odporu vzduchu  $T$ , stáčela by dvojice projektil do směru pohybu, bránila by kácení. Tak jest tomu na př. u šípů nebo u oštěpů, opatřených těžkým hrotem. U projektilů dělových nebo ručnicových jest však vždy  $T'$  pod  $S$ . Dále jest patrno, že nadzvedací složka  $TG - TK$  jest tím menší, čím jest  $SC$  oproti  $SB$  větší, čím méně štíhlým nebo protáhlým jest projektil. Má-li tvar koule, stává se nullou. Rovněž klesá a dokonce mění svůj směr, projektil jest tlačěn dolů, když naráží na vzduch svým hrotem, spadá-li tedy jeho osa téměř v jedno se směrem tečné k dráze



— neboť pak také jest složka  $SC$  veliká,  $SB$  velmi malá — nebo když hrot projektilu snáší se *pod* směr dráhy. Ježto pak z důvodu, o kterém hned se zmíníme, leží hrot projektilu brzo nad, brzo pod tečnou k dráze vedenou, je projektil brzo nadzvedán, brzo tlačěn dolů a dráha nabývá složitého tvaru znázorněného — ovšem velmi přehnaně — na obr. 10. tečkovanou čarou.

II. Druhý vliv odporu vzduchu přičítají ballistikové okolnosti, že projektil stlačuje před sebou vzduch, kdežto za ním nastává zředění, takže na přední straně jest tření větší než na zadní, což při projektilu rotujícím, jehož osa nespadá úplně v jedno s tečnou k dráze, vede k úchylice.



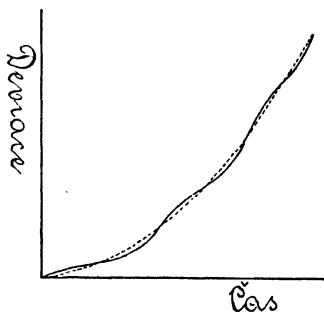
Obr. 10.

Krut valné většiny moderních zbraní jest pravotočivý (výjimku činí francouzské, anglické a norvéžské ručnice); to jest takový, že díváme-li se za odletující střelou, otáčí se tato směrem ručiček hodinových. Její přední, na vzduch narážející plocha točí se z prava v levo a doznávajíc většího odporu než zadní, valí se po stlačeném vzduchu jako by po podušce v pravo — odchyluje se směrem krutu. Tento vliv pokládají ballistikové za malý už z toho fyzikálního důvodu, že vnitřní tření vzduchu poměrně velmi málo závisí na jeho hustotě.

III. Třetí vliv rotace pochopíme, aplikujeme-li *Magnusovy* vývody o rotaci koulí na válcovitý projektil, na př. v pravo rotující. Pak (viz obr. 9.) vzniká na pravé straně (hledě jako vždy z místa výstřelu, tedy v obr. 9. před papírem) zhuštění vzduchu, na levé zředění, a přetlakem uchyluje se projektil na levo — proti směru krutu. Také tento vliv mizí proti největšímu poslednímu.

IV. Rotující těleso hledí, jak víme, zachovati směr své osy. Působí-li však na osu dvojice sil, která ji hledí stočiti v jiný

směr, nepodlehne osa této dvojici tak jako kdyby se těleso neotáčelo, nestočí se v rovině dvojice, nýbrž v rovině na tuto kolmé, vzniká pohyb praecessní. Znáte jej z pokusů se setrvačnický nebo s aparátém *Fesselovým*, a obšírněji jsem o něm pojednal v článku „*O pohybu otáčivém*“, v minulém ročníku tohoto časopisu. Tento případ nastává, jak prvý k tomu poukázal *Magnus*, a jak je patrné z obr. 9. také u rotujícího projektilu. Musíme tedy jeho pohyb vzduchem mysliti jakoby složený z postupného pohybu jeho těžiště a praecessního pohybu jeho osy kolem těžiště. Jak vidíme, jest tento problém velmi složitý a jest pochopitelné, že jej lze řešiti pouze přibližné výpočty velmi obtížnými. Jejich výsledkem jest, že při pravotočivém krutu vzniká deviace pro-

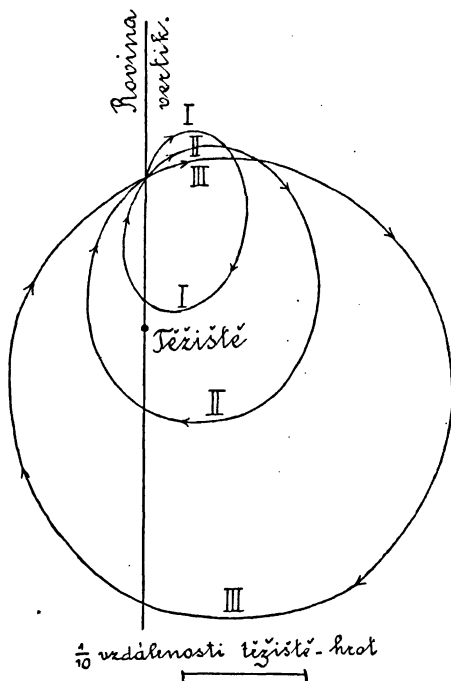


Obr. 11.

jektilu v pravo, která roste urychleně s dobou pohybu dle složitého zákona, znázorněného diagr. 11. vytaženou křivkou která pro praktické účely se nahrazuje jednodušší křivkou tečkovanou. Při tom jest praecessní pohyb osy projektilu znázorněn relativní polohou hrotu jeho vzhledem k těžišti, který opisuje křivky neustále se zvětšující (obr. 12.), jež však valnou většinou leží (u pravotočivého krutu) po pravé straně vertikální roviny proložené okamžitou tečnou dráhy a znázorněné vytaženou svislou čarou.

Praktický příklad o hodnotě různých veličin podává v obr. 13. reprodukováný *Auerbachův* diagram pro těžké německé dělo (O. 73.), který nepotřebuje výkladu. Deviace v pravo při dostřelu 5500 *m* obnáší dle diagrammu toho 80 *m*. Ovšem koriguje

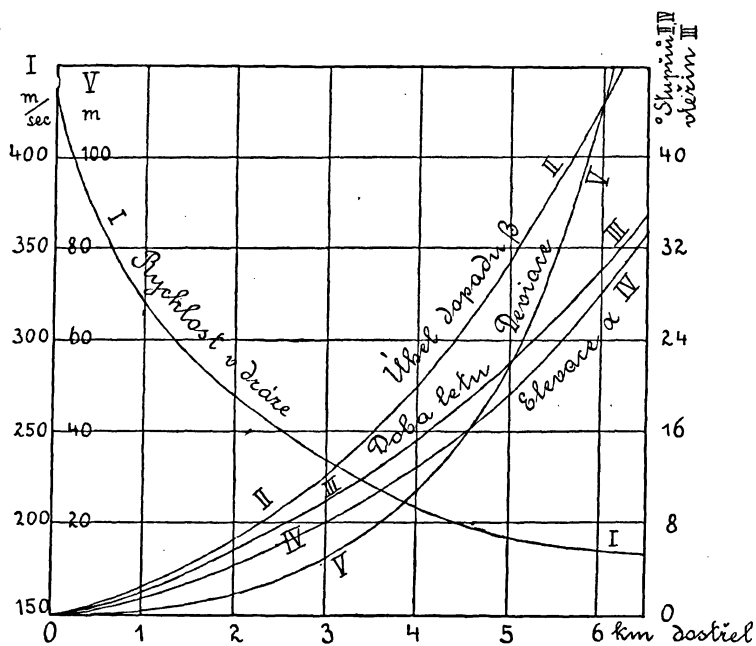
se již při míření zacilovacím zařízením, jako vůbec vždy u děl i ručnic se děje. Praecessní pohyb střely nesmí být tak značný, aby se střela překotila, nedopadla na svůj cíl hrotem. To se reguluje rotační rychlostí projektilu; úhel kruhu vyměří se tak, aby i při největším dostřelu byl pohyb střely „stabilní“.



Obr. 12.

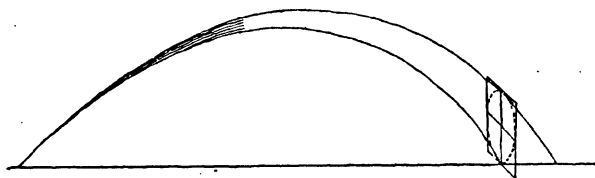
Pojednali jsme, pokud elementární cestou vůbec je možno, o hlavním problému vnější ballistiky, uvažující o trajektorii projektilu v klidném vzduchu. Již zde bylo patrné, jak vysoce obtížným jest, i když nepřihlížíme ani ke všem konstantním úchytkám, které lze kontrolovati, a ku kterým patří ještě pohyb vzduchu (vítr) a sklon osy lafety dělové k horizontále. Vedle toho vznikají následkem nevypočítatelných okolností — vibrace hlavně, malé nestejnomyšnosti propulsivního náboje a pod. — úchytky náhodné, takže nesmíme mysliti, že by na př. z této

ručnice zdánlivě za úplně týchž poměrů vystřelené projektily opisovaly naprosto tutéž dráhu. Tvoří tyto dráhy jakýsi svazek



Obr. 13.

trajektorií, který se s rostoucím dostřelem rozšiřuje. (Obr. 14.) Rány mířené na týž bod ve vertikální rovině dopadají uvnitř



Obr. 14.

rozptylového obdélníka, jehož pro naši ručnici přípustná velikost jest ve vzdálenosti 800, 1500 a 2200 kroků postupně  $0\cdot94\ m \times 1\cdot80\ m$ ,  $2\cdot30\ m \times 5\cdot30\ m$  a  $4\cdot10\ m \times 12\cdot20\ m$ . V něm jsou

rozesety, jak mnohé zkoušky ukázaly, úplně dle zákona pravděpodobnosti. Vytane nám snad na mysl otázka, čím tedy celá ta obtížná práce theoretická praxi prospívá. I když neklademe žádné váhy vrozenému snažení ducha lidského, aby problémy, jež se mu naskytují se všech stran probádal a seznal, má theoretická práce v tomto případě za praktický účel sestavení ballistických (střeleckých) tabulek, které pro každou ručnici nebo dělo nebo lépe snad pro každý typ jejich a pro každý dostřel obsahují nejdůležitější ballistické elementy. Těmi jsou úhel elevační  $\alpha$ , úhel dopadový  $\beta$ , doba letu projektilu, konečná rychlost jeho, abscissa a ordinata vrcholu dráhy a t. zv. ostřelený prostor (bestrichener Raum), t. j. vzdálenost  $x$  před cílem v horizontální rovině, nad níž se nachází střela v určité dané výši  $y$  ( $x = y : \operatorname{tg} \beta$ ). Některé z těchto veličin dají se ovšem zjistiti přímým měřením, jiné je nutno z měřených dat dle ballistické křivky počítati. Vedle toho nesmí se zapomínati, že není možno na př. ze zkoušeného děla vypáliti příliš veliký počet ran, ježto se opotřebovává a také municí dlužno šetřiti. Pro zpracování výsledků pokusné střelby jest pak theorie nezbytna. Ostatně podává spolu s ballistikou vnitřní — theorii zjevů, které se odehrávají za výstřelu uvnitř hlavně, pokud projektil neopustí její ústí — nepostradatelné pokyny pro další možná zlepšení střelných zbraní, jichž dokonalost jest vedle jejich počtu základní podmínkou válečné síly každého státu.

---

## Astronomická zpráva na červenec, srpen. září, říjen, listopad a prosinec 1916.

Veškerá udání v čase střeoevropském vztahují se na meridián střeoevropský a 50° severní zeměpisné šířky.

*Slunce* přechází v červenci ze souhvězdí Blíženců do souhvězdí Raka, v srpnu do souhvězdí Lva, v září do souhvězdí Panny, prochází jím v říjnu, přejde v listopadu souhvězdím Vah do souhvězdí Štíra a odtud v prosinci do souhvězdí Střelce.