

Pingis

MEKANIK



Robert Svanberg

Jan Blomquist

GRUNDLÄGGANDE MEKANISKA PRINCIPER

Mål och syfte

Målet med denna utbildningsdel är att ge kunskap kring de mekaniska principer som gäller vid bordtennisspel. Som i flera idrotter är det många moment som påverkar bordtennispelet i sig, spelarna, materialet, spelplanen mm.

I detta kompendium beskrivs några av dessa moment.

1. Inledning

Vi gör först en liten överblick av vad vi kommer att behandla:

1. *Bollkontakten*

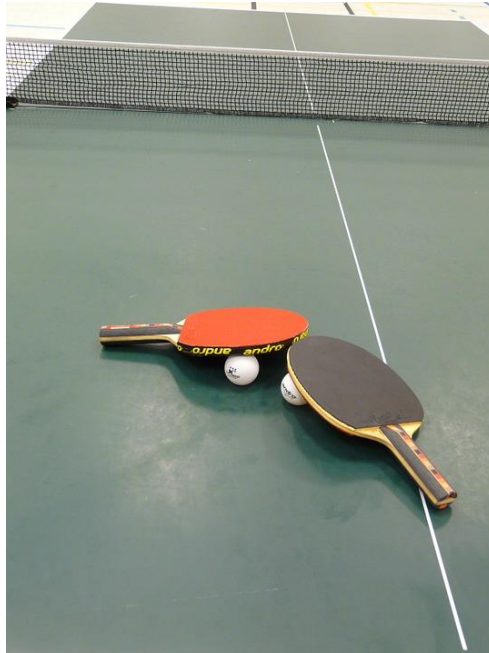
Bollen är under spelets gång i kontakt med luften, racket eller bordet. Bollen är naturligtvis i kontakt med luften hela tiden, men det är dess påverkan av bollbanan som vi kommer att intressera oss för. Kontakten med bord och racket sker ju under väldigt kort tid, men är av helt avgörande betydelse. Ett grundläggande mekaniskt begrepp vid all bollkontakt är friktion.

Karaktäristiskt för friktionskrafter är att de tenderar att stjäla energi från ett föremål i rörelse genom t.ex. luft eller glidande på en yta. En boll som slås rakt upp kommer att ha lägre hastighet då den återkommer till utgångspunkten då dess rörelse motverkas av friktion mot luften både på uppvägen och nedvägen, den bromsas hela vägen. Utan luft skulle bollens fart vara densamma men motriktad vid återkomsten.

2. *Boll- racket*

Bollens studs mot racket är ett komplicerat mekaniskt förlopp med en sammansatt racket i kontakt med bollen under en aktiv process. Att lära känna sin rackets egenskaper hör naturligtvis till de allra viktigaste delarna av spelet, att verkligen bli ett med sitt material, och det gäller ju att inte bara behärska det egna materialet utan även att förstå hur motspelarens material fungerar. Med alla olika spelstilar och material som förekommer i pingis blir detta en nyckel till framgång. Jämför med andra racketsporter som tennis, badminton och squash, där alla har väldigt jämförbara racketar, och det hela blir ganska uppenbart.

En tennisspelare byter ofta racket flera gånger under en match, vilket inte är tillåtet i BT annat än vid materialskador. Och sker i praktiken ytterst sällan. En pingisspelare överger ytterst motvilligt sitt favoritreddskap!



3. *Boll-bord*

Bordets kontakt med bollen sker passivt och önskemålet är ju att denna kontakt skall ske under så konstanta förhållanden som möjligt. Studsen bör variera så litet som möjligt över bordets yta, mellan olika bord och beroende på bordets underlag. Dock är denna kontakt av ett betydligt enklare slag än den mellan boll och racket.

4. *Boll-luft / bollbanan*

Bollen påverkas under sin färd genom luften på olika sätt beroende på fart och rotation hos bollen, och även om de bakomliggande fysikaliska principerna är nog så knepiga kan man få ett rätt bra grepp om hur det fungerar praktiskt.

5. *Spelets geometri*

Hur utnyttjar man bäst de geometriska förhållanden som uppstår under spelets gång för att skaffa sig fördelar.

Rörelseekonomi och optimal placering av bollen är ju ett geometriskt problem. Hur man numera löser detta problem har blivit ganska individuellt både beroende på teknisk utveckling och utveckling av spelarfysiken. De tidigare närmast obligatoriska korta servarna har ersatts med en betydligt större variation då många spelare utvecklat mycket effektiva backhandflippar över hela bordet. Den traditionellt korta serven i motståndarens backhandhörn vänds till ett vapen för mottagaren och det är ofta bättre med en längre snabb serve i fel hörn även om man får attack emot sig i form av halvbra loop mot forehand-läge.

Var man har sitt neutralläge under spelets gång beror också i hög grad av hur man spelar backhand och forehand, numera är ju väldigt många spelare lika starka på båda sidor men räckvidden är ju lite bättre på forehand-sidan. Så utgångsläget hamnar ju ett par decimeter åt backhandhörnet, och man bör ju under spelet hela tiden snabbast möjlig återgå till denna utgångsposition.

Utvecklingen av backhandtekniken gör ju det möjligt också för handskakspelaren att spela tidigt på bollen och sätta motståndaren under tidspress genom kortare bollvägar och då ha samma fördel som pennskaftaren har. Spelet nära studs på korta bollar ger också ett betydligt större vinkelomfång att placera bollen i!

Vi väntar litet med boll-racket-problematiken tills vi har gått igenom litet mer i detalj hur racket och belag är uppbyggda och betraktar först litet mer generellt de begrepp som behövs.

2. Grundläggande begrepp

Ett antal grundläggande fysikaliska begrepp behövs för att mekaniskt beskriva vad som händer vid pingisspel, t.ex. hastighet (fart), rotation (spinn) och friktion. Kraftbegreppet är ju mycket grundläggande, något som vi alla har en intuitiv och förmodligen relativt riktig uppfattning om. Vi har ju en idé om att ett föremål som påverkas av en nettokraft får en acceleration som till storlek och riktning beror av kraften. Hastighetens förändring per tidsenhet ger accelerationen, och accelerationen är proportionell mot den kraft som verkar. Både kraft och acceleration är riktade storheter, har alltså både storlek och riktning, och talar man enbart om hastighetens storlek används ofta termen fart. Mekaniken har metoder för att tämligen exakt bestämma förhållandet mellan kraft, hastighet och acceleration och därmed också t.ex. bollens bana.

a. Krafter

Krafter påverkar bollen både då den är i kontakt med racket och bord, men också vid sin färd genom luften. Vid bollträff och studs har man kontaktkrafter och friktionskrafter, vid luftfärden friktionskraft (luftmotstånd), tyngd (gravitation) och en speciell kraft som uppstår som en följd av bollens rotation då den far fram genom luften, Magnus-kraften.

Gravitationskraften drar ju bollen nedåt mot jordens medelpunkt och är proportionell mot bollens vikt, luften ger en friktionskraft (luftmotståndet), motriktad bollens rörelse och beroende av luftens egenskaper och bollens storlek och ytans beskaffenhet samt bollens hastighet. Slutligen ger rotationen i kombination med fart upphov till den rätt speciella kraft vi kallar Magnuseffekten, som beror av luftens densitet, bollstorleken, hastigheten och

rotationen. Detta är alltså samma kraft som man utnyttjar vid frisparkar i fotboll för att ”knorra” in bollen i krysset. En boll med toppspinn tenderar att böja av nedåt, mot bordet, snabbare än motsvarande smash som bara böjer av nedåt pga. gravitationen (tyngden).

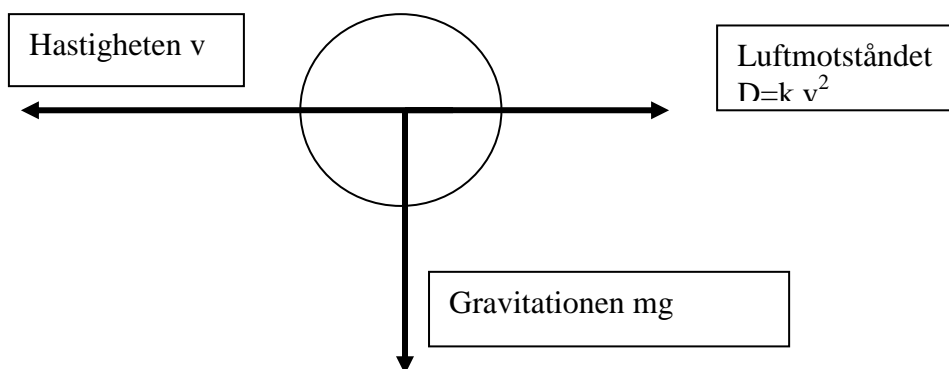
Luftmotståndet beror mera precist av bollens hastighet ($=v$) i kvadrat, alltså v^2 . Vad som i övrigt påverkar luftmotståndet brukar samlas i en proportionalitetskonstant, ibland betecknad D . Luftmotståndet $= D = kv^2$. Snabba bollars fart bromsas snabbt och gör livet lättare för defensivspelare. Förhållandet mellan den bromsande kraften på en boll med farten 6 respektive 3 m/s ($6/3=2$) blir då $36/9 = 4$. En dubbling av hastigheten fyrdubblar alltså luftmotståndet (se nedan)! Friktionskrafter är också mycket viktiga vid bollens kontakt med bord och racket.

b. Oskruvad boll

Efter dessa inledande betraktelser går vi vidare för att titta litet mer i detalj på bollbanan. I det enklaste fallet har man en oskruvad boll som rör sig framåt med hastigheten v , dras nedåt av gravitationen g samt bromsas av luftmotståndet D (D av drag-force).

Luftmotståndet:

Med hastigheten 8 m/s (kontring) blir luftmotståndet $D = k v^2 = 0.41 \cdot 10^{-3} \cdot v^2 = 0.026 \text{ N}$. (vad k innehåller ges nedan). D kommer av det engelska Drag force.



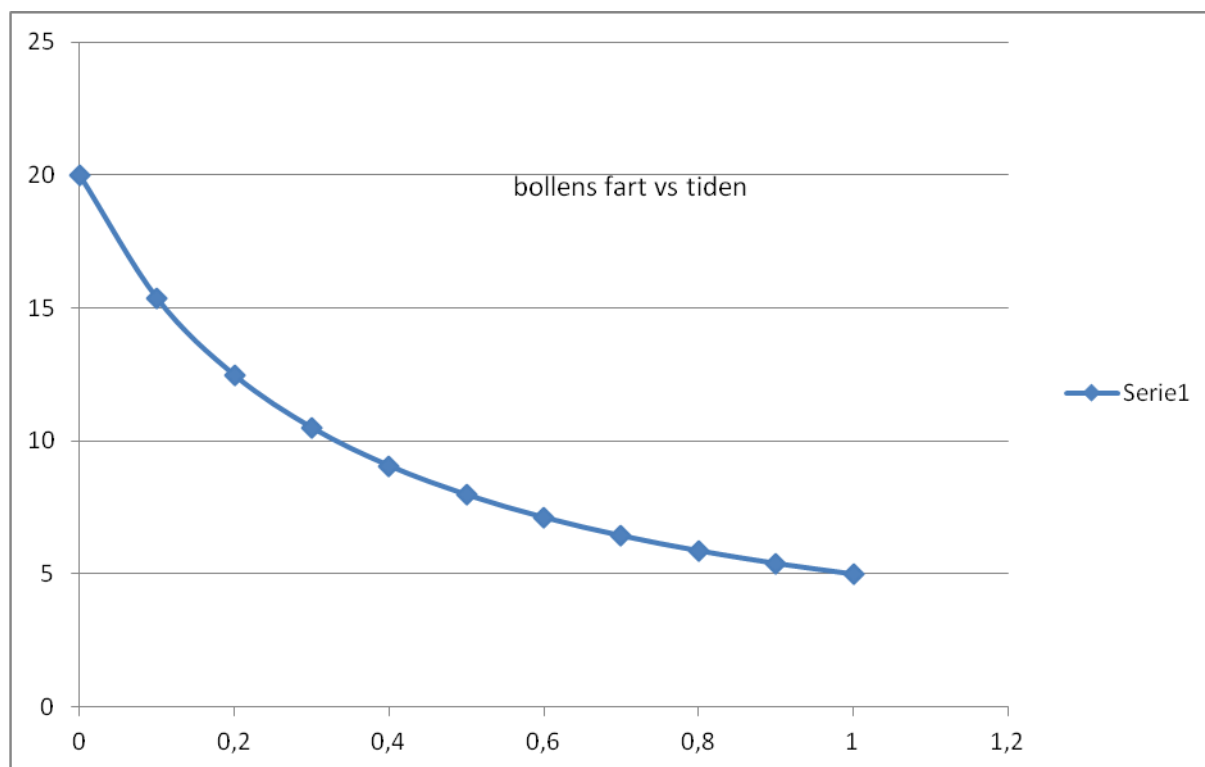
Gravitationen $= mg = 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot 9.81 \text{ N} = 0.027 \text{ N}$. Alltså, vid kontring då bollens fart är 8 m/s är tyngdkraften som verkar på bollen lika stor som luftmotståndet. Om farten dubblas till 16 m/s (hygglig smash) blir motståndet 4 ggr större, c:a 0.1 N. En boll som rör sig horisontellt med 20 m/s (mycket hög fart för en pingisboll) har efter 3/10 sek bromsats upp till 10 m/s, alltså ungefär halva hastigheten. Luftmotståndet är alltså defensivspelarens bästa vän, och den här typen av överläggningar är rätt klargörande för att förstå hur det fungerar.

Det kan vara intressant att fördjupa sig ytterligare en aning kring bollens uppbromsning. Om vi för ett ögonblick blir litet mer precisa bestäms bollens rörelse, om vi för enkelhetens skull bortser från gravitation och rotationseffekter, av ekvationen $ma = f$ (=kraften). Bollens massa $m = 2.7 \text{ g}$, accelerationen $a = dv(t)/dt$. Löser man den ekvationen får man ut $x(t)$, bollens position vid tiden t . Kraften är ju luftmotståndet D , som är k ($0.5 \cdot C_D \cdot A \cdot \rho = 0.41 \cdot 10^{-3}$) multiplicerad med v^2 , bollhastigheten i kvadrat. C_D är en konstant som beror av föremålets form, 0.5 för en sfär, A bollens tvärsnittyta och luftens densitet (1.3 kg/m^3). Lösningen till ekvationen $m \, dv/dt = -k \, v^2$ blir då:

$$V(t) = 1 / (kt/m + 1/v_0),$$

där v_0 är starthastigheten, alltså farten vid $t=0$. (Testa genom att sätta $t=0$ i formeln!)

Om vi tar denna formel för farten v och räknar ut den för var tiondels sekund som bollen rör sig framåt får vi en kurva i enlighet med figuren nedan:



Bilden visar hur bollens fart (m/s) varierar under första sekunden.

Man noterar att en loop eller smash med farten 20 m/s efter en sekund är nere i måttliga farten 5 m/s, motsvarande farten vid bollning.

Med hjälp av figuren ovan beräknar man lätt medelvärdet av hastigheten, c:a 10 m/s. Hur långt går bollen under den första sekunden? $S = v(\text{medel}) \cdot t (= 1 \text{ s}) = 10.5$ meter. Kortar vi tiden till c:a 0.8 s blir vägen c:a 9 m och bollens fart är fortfarande under 6 m/s. Även efter ett

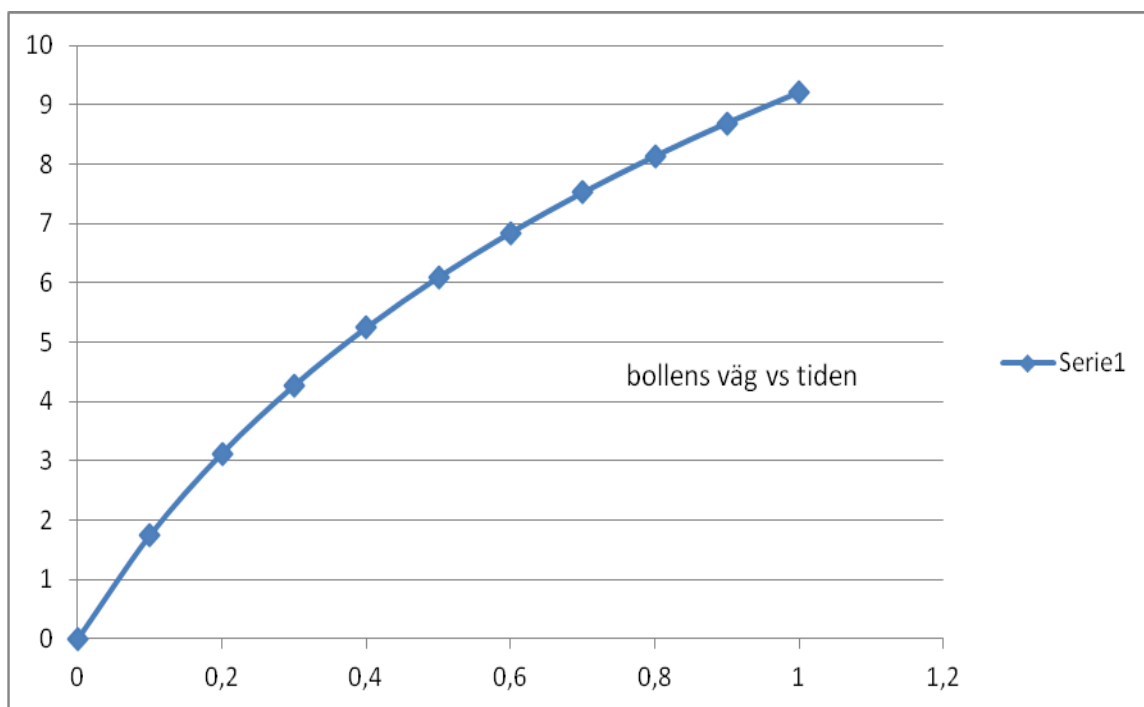
mycket hårt slag har defensivspelaren alltså nästan en sekund på sig och farten nere i måttliga 6 m/s.

En annan intressant frågeställning i det här sammanhanget är ju vad den nya bollen med den något större diametern 40 mm (38 mm hade den gamla) har betytt. Det är ju lätt att byta ut 40 mot 38 i formeln ovan, farten efter 1 s är då 5.07 (jfr 4.97 m/s).

Så enligt den här matematiken blir det en relativt måttlig fartminskning med den nya bollen på ett par procent. Anledningen till detta är ju att samtidigt som ytan är större hos den nya bollen så är den också tyngre, vilket gör den relativa förändringen mindre än man kanske väntat sig! När vi har bestämt $v(t)$, alltså hur hastigheten förändras med tiden t , kan man lätt gå vidare och bestämma hur positionen x varierar med t , alltså hur långt bollen färdas på t sekunder:

$$X(t) = \ln(0.1511 \cdot v_0 \cdot t + 1) / 0.1511,$$

vilket nedanstående figur illustrerar ännu tydligare med vertikal-axeln representerande läget $x(t)$ som funktion av tiden (sek) på horisontal-axeln:



Tiden t (sek)

Bilden visar bollens förflyttning (meter) under första sekunden.

Av diagrammet framgår tex att bollen under de första två tiondelarna av en sekund går 3 m, medan den under de två sista (0,8 – 1,0) endast går 1 m som ett resultat av den snabba inbromsningen!

Ett annat intressant exempel på luftmotståndets inverkan är vid serve med högt uppkast. Med en enkel överläggning (luftmotståndet = tyngdkraften, (dvs. $D = kv^2 = mg$) kommer man lätt fram till att vid bollhastigheten = 8,0 m/s balanserar dessa krafter varandra, högre än så blir aldrig farten. Den är då konstant hur högt den än kastades från början. Detta är en mycket måttlig hastighet, så vad vinner man då på dessa höga uppkast.

De mer precisa beräkningarna för uppkastets uppåtgående fas såväl som den nedåtgående delen redovisas i appendix på slutet.

Sannolikt har det främst effekten att påverka motståndarens koncentration. Det dröjer rätt lång tid innan bollen är nere, och olika lång tid beroende på uppkastets höjd. Samtidigt ska motståndaren ha sin koncentration maximal vid bollträffen, vilket då kan bli ett problem! Returtagaren vet ju aldrig hur högt bollen kommer att kastas!

Hastigheten vid ett högt uppkast ger ju större tryck mot racket och kan ge mer skruv, men timingen blir svårare. Knappast heller någon överskriv att tala om utan sannolikt viss underskriv med sidskriv. Och ett högt kast ger knappast en kort serve. Så en förberedd serve-mottagare kan rätt väl förutse vad servaren har för möjligheter.

Experiment / Övning

Detta, att bollen snabbt når sin gränshastighet, kan vi ju rätt lätt studera genom att göra olika höga uppkast och jämföra hur högt bollen studsar mot bordet eller golvet (om hårt). Bollen studsar ju upp till en höjd som motsvarar sluthastigheten, just innan den träffar bordet/golvet. Som en jämförelse kan nämnas att en boll på 1,4 m höjd tar 0,5 s för att komma ned, från 4,3 m behövs 1 s och från 8,0 m tar det 1,5 s, och farten ökar från 6,7 till 7,6 mellan de två senare höjderna. En ganska ringa fartökning trots 4m höjdskillnad!

En boll kastad till dessa två höjder(4 resp. 8 m) kommer alltså att studsa upp ungefär lika högt, vilket kan var kul att övertyga sig om!

Om man räknar på en boll i fritt fall har den farten 6.7 m/s efter 1 s och 7.9 m/s efter 2 s, dvs. på dubbla tiden har farten bara ökat ungefär 15 %. Redan efter 2 s är farten i själva verket väldigt nära jämviktarten på 8 m/s!

För detaljer, se Appendix.



Anna-Carin Ahlquist serverar ! (Paraolymisk guldmedaljör i bordtennis.)

Kraft mellan boll-racket vid träffen:

Om man vet kontakttiden t och ingående farten v på bollen kan den genomsnittliga kraften på racketen vid bollträffen lätt uppskattas för det fall då racketen hålls stilla och bollen antas gå ut igen med samma fart men med omkastad riktning. Då gäller, med $t = 1$ millisekund och $v = 10$ m/s, att $Ft = 2mv$, dvs. $F = 2 \cdot 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 / 10^{-3} = 54$ N alltså ungefär 5 kp. Det handlar alltså om en rätt stor kraft som verkar under mycket kort tid. Detta är ju en icke helt försumbar kraft med en kontring vinkelrätt mot en stillastående racket, man kan ju lätt testa samma uttryck med högre hastighet och med annan kontakttid, den senare är ju inte så lätt att komma åt och beror av materialets hårdhet och tjocklek. Man kan ju påminna sig de gånger man missat bollen och kommit ur balans alternativt känt av den icke motverkade rörelsen med smärta i t.ex. axeln.

Diskussionen ovan bygger på Newtons tredje lag om kraft och reaktionskraft. Två föremål påverkar alltid varandra med lika stora och motriktade krafter. Står jag på ett golv påverkas jag av golvet med en lika stor uppåtriktad kraft som jag trycker med mot golvet. Min racket påverkar bollen med en kraft som är lika stor men motriktad den kraft som bollen påverkar racket med.

Experiment/övning

Lägg en racket på bordet och släpp en boll och mät höjden efter studs.

Lägg sedan en svamp eller något kraftigt dämpande under racket och upprepa experimentet.

Ändras studsens mycket?

Om en boll med farten v studsar mot en betongvägg påverkas väggen av en lika stor kraft som bollen, men då den är oändligt tung i jämförelse med bollen rör den sig inte. Väggen absorberar ingen energi, all energi är kvar hos den studsande bollen om studsen är elastisk. Bollen studsar tillbaka med en fart nära v . Om "väggen" ersätts med en likadan boll överförs den inkommande bollens energi till den stillaliggande bollen som far iväg med farten v ! (jämför stöt vid biljard!) Testa med två bollar. Eller två en-eller femkronor. Och enkrona mot femkrona. Ju massivare "vägg", desto mindre energi absorberar den!
Betänk: En bordtennisracket är ett massivt föremål i jämförelse med bollen, som ju inte får väga mer än 2.7 gram. Racket väger typiskt 140 – 170 gram, alltså runt 50 ggr mer.
Om vi bortser från effekten av speciella energiabsorberande material kommer en successivt tyngre racket alltmer likna väggen.

c. Skruvad boll

Den helt oskruvade bollen är ett specialfall, nästan alla bollar har mer eller mindre skruv på olika sätt. En hårt överskruvad boll får en bollbana som är mer krökt än den oskruvades, bollen viker av snabbare mot bordet, studsen ut blir dessutom flackare (se ovan). Utöver gravitationen, som ju drar bollen ned mot bordet, får vi ytterligare den kraft som vi nämnt tidigare, Magnuseffekten, och som man använder för skruva in en frispark i fotboll eller få ned bollen på banan i tennis med stark överskruv. Hur denna kraft påverkar bollbanan i pingis ska vi nu titta litet extra på.



Kina-/lådträning i Halmstad BTK (Fredrik Håkansson)

Arbetsuppgifter/diskussion

1. Kinaträningen (multi ball drill) är en mycket lämplig övning för att förstå hur olika skruvar verkar!

3. Bollbanan

Utöver tyngd och friktion får alltså den roterande bollen en extra påverkan, Magnuskraften.

Vid en ren överskriv (ingen sidskriv alls) roterar bollen kring en axel genom bollens tyngdpunkt, horisontell och vinkelrät mot bollens hastighet, rotationsvektorn ω . Den resulterande kraften blir vinkelrät mot både hastigheten och rotationen och proportionell mot deras storlek samt luftens densitet och bollens volym.

Loop-spelet dominerar idag både på backhand och forehandsidan, inte minst genom den s.k. tjeckflippen. Detta spel är möjligt tack vare Magnuskraften, resultatet av växelverkan mellan en roterande boll och förbiströmmande luft. Matematiskt beskrivs den som:

$$F = \pi r^3 \rho \omega \times v,$$

ω representerar spinnet, v hastigheten, \times att det är en s.k. kryssprodukt som är vinkelrät mot de båda ingående storheterna. Bollens radie är r , ρ är luftens densitet. För en loop i bordets plan blir Magnuskraften riktad nedåt mot bordsytan och vara proportionell mot spinnet, farten, bollens volym och luftdensiteten.

Vid hård skruv och fart på c:a 10 m/s blir Magnuseffekten av samma storlek som gravitation eller större! Gravitationen är konstant under normala förhållanden, oberoende av fart och skruv, Magnuseffekten beror av båda, medan luftmotståndet är starkt beroende av farten. På mycket hög höjd kan förändringen av gravitationen säkert märkas en aning, den blir något mindre, vilket också de båda andra krafterna blir genom den minskande densiteten hos luften.

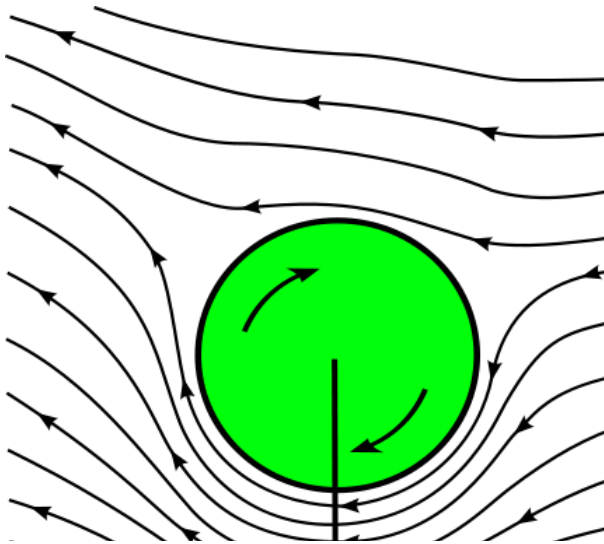
En loop kommer att tendera att få en rakare bana, både gravitationen och Magnuskraften är ju svagare. Det blir litet svårare att få ned bollen på bordsytan, den tenderar att gå litet för långt.

Om vi återgår till Magnuseffekten, så kan man lätt inse att för en skuren boll blir effekten den omvända jämförd med toppspinn, kraften blir nu uppåtriktad och håller bollen kvar i en bana rakt fram tills farten sjunker och därmed den uppåtriktade kraften! Det förklarar också varför spelarna slår bollar till varandra mellan hagarna med underskriv: den bär bollen längre! En annan bekräftelse på detta finner vi i golfen, där huvudet på en driver är snedvinklat och de längsta slagen är kraftigt underskrivade. Magnuseffekten förbättras i det fallet genom att bollen har en gropig yta som gör att växelverkan med den omgivande luften förstärks. Vad är det då som händer då bollen roterar och ger denna extra påverkan? Vi ger en litet förenklad beskrivning av fenomenet här.

Genom friktionen mellan bollens yta och den förbiströmmande luften påverkas luftströmmen över och under bollen på olika sätt. Strömmen över bollen bromsas då friktionen på ovansidan blir större pga. att rotationen ger bollytan extra fart i bollens rörelseriktning och det statiska trycket mot bollen ökar därmed på den sidan, medan strömningen på undersidan underlättas, friktionen minskar, varvid det statiska trycket mot bollen sjunker. Netto får man alltså en nedåtriktad kraft.

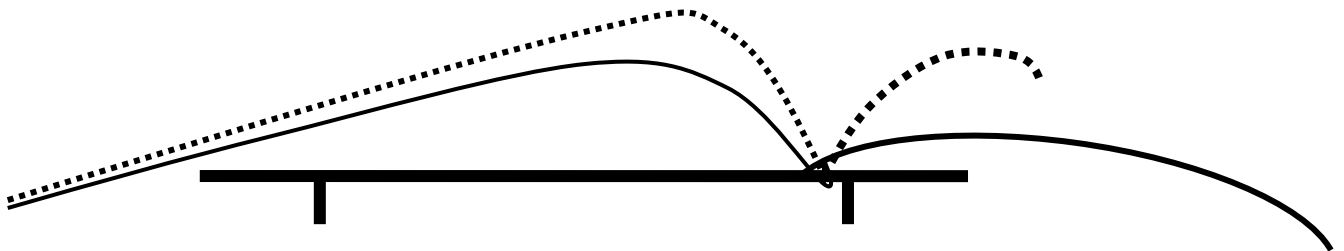
Man kan också se det som att bollens kontakt med luften blir starkare på den sida där bollens yta och luftströmmen rör sig åt samma håll. Luften tenderar här att följa med bollrörelsen längre och därmed få en uppåtående rörelse efter bollpassagen, och den rörelsemängd luften får balanseras mot den nedåtriktade kraft bollen får, rörelsemängden bevaras.

Man kan ju jämföra med en halvöppen dörr i korsdrag. På den sida luftströmmen går sjunker trycket men blir oförändrad på den andra, dörren slår igen. Man kan också lägga en pingisboll i ett dricksglas och blåsa hårt och horisontellt ovanför glaset – bollen åker ur!



Bilden (från Wikipedia) visar hur en boll med toppspinn på väg åt höger påverkas.

Nedanstående bild visar i grova drag hur en loop (-) respektive underskriv (...) kan tänkas se ut. Magnuseffekten har en nedåtriktad påverkan för loopen, medan underskrivade bollen lyfts av denna i detta fall mot gravitationens riktade kraft, som är störst i början av banan där fart och skruv är större än mot slutet. Studsen mot bordet skiljer sig också en del.



En loop kan alltid ges mer rotation än ett skär med ett greppigt material då magnuseffekten trycker ned bollen mot bordsytan vid överskriv, men det motsatta vid underskriv. Om man returnerar en boll med maximal toppspinn med ett nästan friktionslöst material vänder man bollens riktning, men rotationen kvarstår och blir då en underskrivad boll i returen. Här behövs inget stort tryck mellan boll och racketmaterial, i själva verket så litet som möjligt för att inte bromsa rotationen onödigtvis. Den returnerade bollen kan alltså ha mycket underskriv men låg fart och bli mycket svår att hantera! Att åstadkomma en liknande retur med ett greppigt material är svårt. Mot hård överskriv är det svårt att få sådan fart i racket att

inkommande bollens rotation inte bromsas mot belägget med hög friktion, skruven minskar, bollen får lätt för hög fart och missar bordet. Försöker man dra racket nedåt med sådan fart att rotationen inte bromsas (20-25 m/s) blir tiden då racket har rätt position oerhört kort och alltså mycket "svår-timat".

Diskussion/uppgift:

☒ ***Fria siktlinjen.*** Den siktlinje som tangerar nätet och i gränsfallet träffar bordskanten på andra sidan bordet. En boll som följer en rak linje kan aldrig träffa bordet om den slagits under fria siktlinjen. Tag en tråd och dra från bordskanten så att den tangerar nätet för att visualisera linjen. Man kan ju också med hjälp av tråden lätt visa hur marginalen ökar om man höjer tråden över gränslinjen.

Fart med och utan skruv. Inget slår en smash ifråga om fart, så snart racketbladet vinklas och träffen blir tunnare kommer bollens energi att fördelas mellan translation och spinn, dvs. framåtrörelse och rotation. Den mycket tunna träffen ger låg fart och mycket skruv. Vissa spelare tror att farten är hög bara för att man loopar. En smash slagen under fria siktlinjen missar bordet, men en loop klarar det med sin böjda bana! En typisk loop har har energin ungefär jämt fördelad mellan translation och rotation.

Illustrera fria siktlinjen med bild/fota av bord med två personer som håller tråden.

4. Fart och skruv i samband med studs

Bollstuds

Studsen mot bordet skall dock vara så jämn som möjligt, både då det gäller det individuella bordets egenskaper och då olika bord jämförs med varandra. Borden har en jämn, matt yta som är blå eller grön. Kontakten med bordet sker alltså inte utan friktion.

Om bollen tenderar att glida kommer friktionskraften att vara motriktad glidningen. En oskruvad boll kommer vid kontakt med bordet att tendera att glida i bollens rörelseriktning. Friktionen blir bakåtriktad i bordets plan och under kontakten påverkas bollen av ett moment som ger bollen en viss framåtroteration, dvs. överskruv.

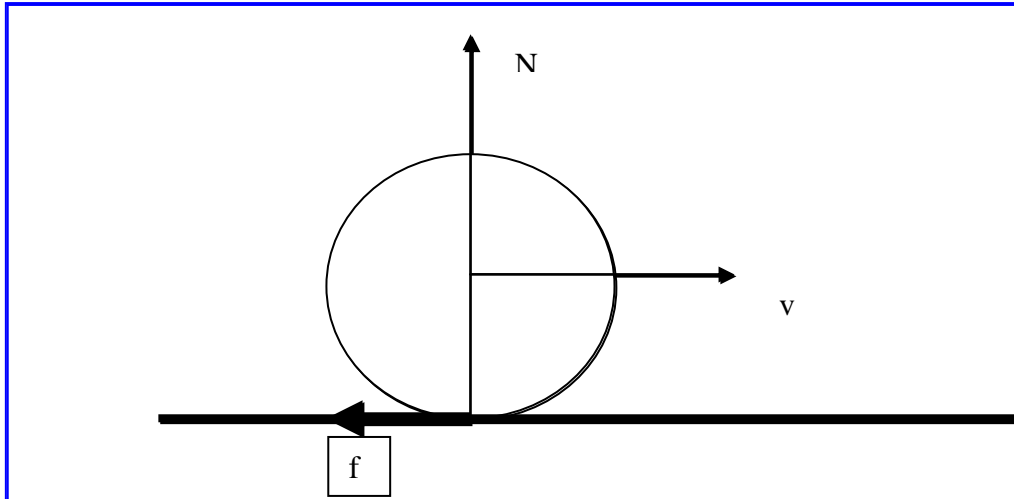
En boll som ej roterar och studsar mot bordsytan vinkelrätt kommer att ha ca 85 % av farten kvar efter studsen, en del energi försvinner pga. bolldeformation och vibrationer i bordet. Ett mått på studsens elasticitet är $\text{fart}(\text{in})/\text{fart}(\text{ut})$, Coefficient of Restitution - COR. Om farten in mot bordet är 5 m/s, ut 4.5 m/s är $\text{COR} = 4.5/5 = 0.9$.

Friktionsförluster och viss överföring av translation till rotation medför att farten kanske bara är ca 70% efter studsen.

Den nya plastbollen är ju konstruerad så att den studsar som den gamla celluloidbollen på en platta av stål (samma CoR). Men bordet är av trä, så där kan de olika bollarnas något olika hårdhet medföra viss avvikelser.

Studs mot bordet vid rotation

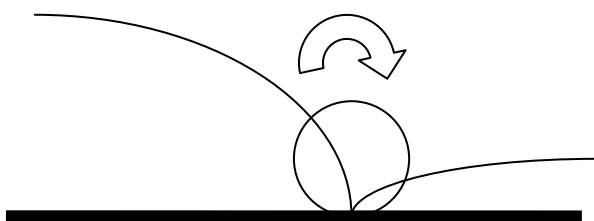
Vid studsen mot bordet påverkas alltså bollens riktning kraftigt, exakt hur beroende på fart, skruv och bordsytans kvalitet. Det är en stor kraft som verkar under mycket kort tid, kanske någon millisekund. Kraften kan delas upp i två mot varandra vinkelräta komponenter, normalkraften (N) vinkelrätt mot bordsytan, friktionskraften i bordsytan, tangentiellt med bollens yta (f).



Den påverkan bollen får i samband med studs på bordet som beror på bollrotationen påverkas alltså även av bordsytans beskaffenhet, för en glattare yta blir effekten av rotationen mindre, den utgående bollens bana inte lika flack. Men en glatt yta bromsar heller inte bort lika mycket av rotationen. Studsen blir lättare att hantera men skruven överlever i större utsträckning.

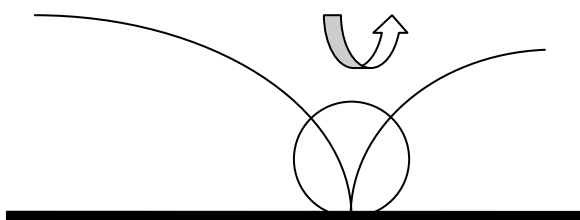
a. Toppspinn/överskruv

En underskruvad boll bromsas upp en aning (T bakåtriktad) medan toppspinn ger bollen en extra kraft i bollens riktning under kontakttiden (T framåtriktad) så att utgångsvinkeln blir något mindre än ingångsvinkeln. Om bollen har en hastighet på 10 m/s och toppspinn på 80 varv/s kommer en punkt på bollens yta att ha hastigheten 10 m/s relativt tyngdpunkten och alltså kommer kontaktpunkten vid studsens att vara i vila relativt bordet så att studsens sker relativt neutralt, varken flackare eller mer uppåt, in och utgångsvinklarna ungefär lika. Vid toppspinn där rotationen klart överskrider gränsfallet ovan tenderar bollytan vid kontaktpunkten att glida bakåt (en punkt på bollens yta rör sig relativt tyngdpunkten bakåt med högre fart än denna rör sig framåt), friktionen ger en kraft T i framåtriktningen, som alltså accelererar bollen. En del av rotationen övergår då i translation. Man får alltså en viss fartökning och en utgångsvinkel som är flackare/mindre, men med reducerat spinn.



a. Underskriv

Den underskrivade bollen dimper ned på bordsytan med normalt lägre fart och spinn/rotation. Magnuseffekten (se bollbanan nedan) medför att toppspinnbollen trycks ned mot bordsytan, medan den skurna bollens spinn snarare lyfter bollen. Trycket blir mindre och bollen glider lättare mot bordsytan. Den tangentiella kraften, dvs. friktionen längs bordsytan T , är nu bakåtriktad. Både rotation/spinn och translation/fart minskar. Studsen blir eventuellt litet mer uppåtriktad. Man kan ju se det som att friktionen T både bromsar bort en del spinn och en del fart.

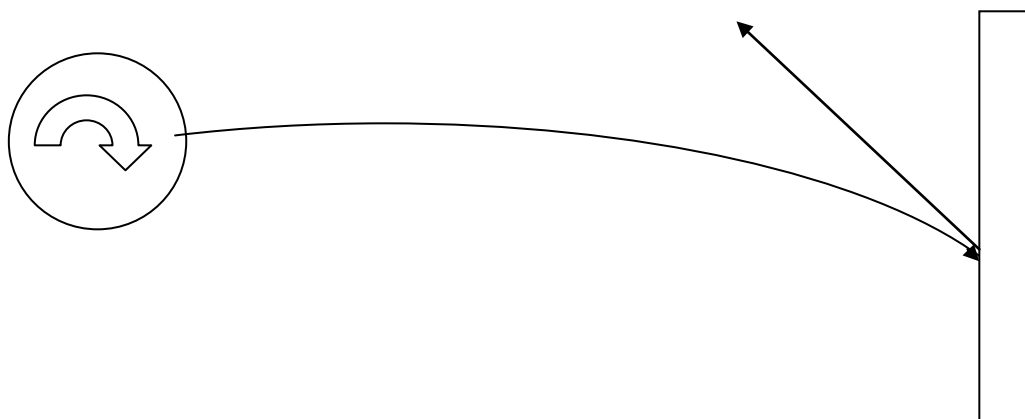


c. Sidskriv

Vid en sidskriv sådan att bollen roterar kring en axel vinkelrätt mot bordsytan blir krafterna från bordet på bollen, utöver normalkraften N , små. Det bromsande momentets kraft är ju väldigt nära rotationsaxeln i detta läge, dvs. momentarmen väldigt liten. Om man snurrar en boll på detta sätt, som när man testat bollens rundhet, kan den ju ligga på bordet och snurra rätt länge.

En något lutande rotationsaxel medför större krafter vid studs och kan ge en rätt stor avvikelse efter studs i jämförelse med det oskrivade fallet. Bollbanan blir också litet mer svårbedömd för motståndaren! Om bollen roterar medurs sedd uppifrån avviker den åt höger sedd från spelaren som slår bollen, och tvärtom för rotation moturs.

Bilden nedan visar den sidskrivade bollens bana sedd uppifrån och hur roterande bollen sedan tenderar att avvika med denna rotation, dvs omvänt om sidskriven är den omvända.



På ett liknande sätt påverkas bollen vid kontakt med racket, men mer extremt då belagen utformats för att ge allt från maximal skruv till ingen skruv alls! Till detta återkommer vi längre fram.

Experiment/övning:

▣ **Bordet:** snabbt/långsamt bord , med och utan gummiklossar under bordet. Jämför studs mot bordet från tex 1 meters höjd, med och utan klossar.

Poäng: bordet närmast oändligt tungt jämfört med bollen. (2.7 g, vs. kanske 50 kg).

▣ **Racket:** Ta en racket med en 2 mm platta på en sida och utan gummibelägg på den andra. Som ovan (2 bollar) jämför du studsens mot sidan utan belag med den med belag.

Överraskad?

▣ **Tag nu denna racket** och testa med vilken sida du kan slå bollen längst i hallen. En poäng här är att racket väger detsamma antingen du slår med träsidan eller belagsidan. Man vill se vad belaget har för effekt, att racketar med olika vikt har effekt vet vi ju redan.

Vi upplever spelet med alla sinnen påkopplade. En stor ljus hall upplevs lätt som lite långsam då ljudet av bollträffen sprids ut i lokalen. Med bra ljus ser man bollen bra hela tiden. I den lilla mörka lokalen förstärks ljudet av bollträffen (eko från väggarna) och bollen dyker hastigt

upp ur "mörkret", och ger oss mindre tid. Sammantaget uppfattar vi slaget som hårdare, våra sinnen lurar oss!

5. Impact boll-racket

Racket

a. Allmänt

Mycket av det som sägs under grundläggande begrepp skulle kunna flyttas till detta avsnitt. Vid bollträffen har spelaren sin enda chans att påverka bollens uppförande, dess hastighet och rotation, som sedan helt bestämmer bollbanan. Under spelets gång har bollen kontakt med underlaget/bordet samt spelarnas racketbelag, dvs. gummi av mycket varierande slag. Belaget är ju dessutom fastlimmat på ett underlag av trä, alltså en racket stomme, som utöver variationen av gummits egenskaper erbjuder en hel arsenal av möjligheter från tunga, hårda (snabba) stommar till lättare och mjukare (långsammare) som brukar uppskattas av defensivspelare.

Attackspelaren vill ha ett material som ger optimal kombination av fart och skruv, medan den mer defensivt lagde väljer material som dämpar farten och är mer okänsligt för skruv. Racket har en stomme av trä, oftast skiktlimmat, där limmet kan innehålla material för att ge en något styvare stomme. Man kan stoppa in ett eller fler tunna folier av något kolfibermaterial (carbon), som gör stommen styvare utan att den blir tyngre, och därmed snabbare.

En offensiv stomme är generellt tyngre och hårdare och därmed snabbare än (jfr väggen). Plattor för kraftfullt offensivt spel med mycket topp spinn är oftast tjockare och hårdare, varvid hela racketen blir ganska tung, vilket bidrar till farten. Plattans tjocklek och hårdhet skyddar mot genomslag vid hårt spel. Vid smashspel kan en tunnare platta ge minst samma fart om hela racket har samma vikt.

Balsastommar har ett tjockare balsaskikt omgivet av tunnare skikt av hårt trä. Balsaträ är mycket mjukt och mycket lätt, det deformeras lätt men skyddas av det omgivande hårdare trä. Det speciella med en balsaracket är att den ej är linjär, hårda slag genererar mer fart än standardmaterialet, och omvänt litet mindre vid lätt tillslag. Jämför med en vattenyta som är mycket mjuk vid hopp från låg höjd, men mycket hård från hög höjd.

Att lägga in ett eller ett par tunna balsaskikt är också ett sätt för tillverkaren att påverka racketens/stommens egenskaper, som bl.a. blir lättare. Tendensen har på senare tid gått mot lättare stommar. Så har ju t.ex. balsastommar blivit populära.

De tunnaste och därmed lättaste varianterna som absorberar mycket av den inkommande bollens energi har också vunnit stor uppskattning bland många defensivspelare.

Med skikt av balsa kan ju en tung offensiv stomme göras lite lättare och samtidigt ges lite bättre kontroll vid kort spel med mindre fart.

Gummibelaget är som regel sammansatt av ett ytgummi (för skruven) och ett undergummi, 1-c:a 2 mm tjockt (för fart och kontroll). Vid studs mot stommen kommer c:a 85 % av farten att behållas, med ett snabbt belag c:a 70 %, med långsammare blir det sämre. För att övertyga sig om detta kan man tex. ta en stomme med en 2 mm platta på ena sidan och inget belag på den andra och sedan se med vilken sida man lyckas slå iväg bollen längst (se övning ovan)

Experiment/Övning

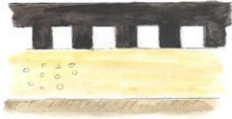
En annan enkel demonstration är att lägga två stommar, den ena försedd med belag, bredvid varandra på ett bord och släppa två bollar samtidigt från c:a 1m höjd samtidigt mot dem, och iaktta studsens. Sedan kan man fortsätta och jämföra olika material med varandra. Olika tjocklekar och hårdhet, olika typer av material!

Belagets uppgift blir för den offensive spelaren att kontrollera bollen med så mycket som möjligt av farten kvar, samt därutöver åstadkomma skruv. Stommen har däremot inte visat sig ha någon avgörande betydelse för skruven. Belaget kommer alltid att absorbera en viss del av energin (och värmas upp), men förlänger kontakttiden (kontrollen) och med stor friktion ges möjlighet att returnera bollar med olika grad av spinn. Kombinationen av ytgummi-undergummi vad gäller tjocklek och mjukhet bestäms av hur mycket spelaren satsar på fart respektive skruv. En spelare som bygger på fart kan inte ha ett alltför mjukt undergummi, vilket ger genomslag och försämrad kontroll, medan en skruvspelare, som inte spelar så hårt, behöver ett mjukare belag så att trycket mot racket räcker för utnyttja ytgummits elasticitet tangentiellt (i sidled) och undvika glidning. Slår man för hårt med ett mjukare undergummi får man genomslag och bollen går nedåt. Man tappar i varje fall delvis effekten av elasticiteten i sidled och samtidigt en del av kraften framåt, bollen droppar nedåt (i nät).

Vi har testat en modell där belagets elasticitet ersätts med två harmoniska fjäderkrafter, i rackets plan och vinkelrätt däremot. Modellen visar tydligt hur viktigt det är att för varje spelare hitta material med den elasticitet och hårdhet som med spelarens spelstil ger optimal fart och skruv. Generellt verkar det vara så att elasticiteten längs racketytan bör vara litet mjukare än den vinkelrätt mot ytan. Är elasticiteten vinkelrätt mot ytan för hård relativt elasticiteten i ytan kommer katapulteffekten inte hinna ge maximal effekt.

b. Backside

Ett backside-gummi har nabbarna inåt, mot stommen, och är den typ av belag som ger maximal skruv och samtidigt god fart. Det används av majoriteten av spelare i kombination med ett undergummi med tjocklek på mellan 1 och drygt 2 mm. Inför det numera gällande limförbudet har fabrikanterna tagit fram nya material som skall kompensera bortfallet av omlimningseffekten. Helt har man inte lyckats.



Bilden visar ett tvärsnitt av backsidegummi med nabbarna inåt. Maximalt är belaget 4 mm tjockt, ytgummit 2mm och svampen 2mm.

Den här typen av material är särskilt lämpligt för offensivt spel med mycket fart och skruv. Defensivspelare som kombinerar försvar med frekvent mottattack har ofta ett backsidegummi med tunnare undergummi, typ 1-1.5 mm. Ett sådant belag möjliggör också hård underskriv men med bevarad kontroll.

Den högsta rotationen hos bollen har uppmätts vid spel loop mot loop, runt 170 varv/s. Den inkommande bollen har då både hög fart och rotation, trycket blir tillräckligt för att undvika glidning, rotationsenergin övergår för ett ögonblick till potentiell energi i racketmaterialet som trycks i sidled, längs racketbladets yta, varefter gummit återgår och ger en tangentiell kraft som förstärks av racketrörelsen framåt. Bollrotationen byter riktning samtidigt som bollen byter riktning. Undergummits elasticitet bör nu vara anpassad så att man ej får genomslag men samtidigt får ut maximal rotation vid träffen. Är underlaget för stumt relativt den hårdhet man slår med blir resultatet lätt en för snabb racket med mindre skruv. Det stelare undergummit kräver en större kraft i sidled och samtidigt större tryck för att undvika glidning. Det här resonemanget vill bara visa på hur viktigt det kan vara att förstå ungefär vad som händer för kunna söka sig mot det optimala.

Om plattan är för mjuk får man lätt genomslag, bollen bottenar i stommen så att endast en del av inkommande bollens rotationsenergi ges tillbaka till den utåtgående bollen. En del av katapulteffekten går förlorad och bollen hamnar lätt i nätet.

Kinaplattor fungerar annorlunda då de har ett ytgummi som är delvis viskoelastiskt, dvs. gummit återgår efter deformation ej lika snabbt till utångsläget, katapulteffekten reduceras betydligt. Slår man med för tjock träff kommer bollen att tränga in i den klibbiga ytan och fastna så mycket att den bromsas upp då den lämnar gummiytan. Man får alltså slå med relativt tunn träff och därvid utnyttja ytans höga friktion för att ge den utgående bollen skruv. Den minskade katapulten kompenserar kinesiska spelare med att vara så starka i kroppen att de klarar av att slå med i stort sett rak arm och på så vis ge racket en hög hastighet vid bollträffen. En annan effekt av materialet är att den inkommande bollens rotation bromsas bort av det viskoelastiska gummit, dvs. ingen större katapulteffekt, och en hårt överskrivad inkommande boll blir lättare att hantera. Detta gör det ju t.ex. enklare för en spelare med denna typ av gummi att hantera returerna från en defensiv spelare, särskilt då med material som kan ge mycket svårbedömda skruvar.

Se också avsnittet om friktion.

c. Breda, korta nabbar

Materialet är snabbt men ger inte samma skruvmöjligheter, även om mätningar visat att asiatiska spelare med rätt teknik kan få rätt avsevärd skruv. Kontaktytan blir ju definitivt mindre och den tangentiella deformationen får ett annat förlopp än då nabbarna är vända inåt.

Men för spelare som använder fart mer än skruv kan det vara en fördel att göra sig litet okänslig för motståndarens skruv. Alltså lämpligt för kontrings/smashspelare. Materialet ger också viss ”effekt” i meningen att motståndarens loop efter blockering snarast har underskruv.



Bilden visar ett nabbgummi med breda, korta nabbar, nabbarnas höjd 1 mm eller mindre, bredden 2-3 mm.

d. Långnabb

Defensivspelare har ofta långa, smala nabbar på åtminstone det ena belaget. Det har hög förmåga att absorbera den inkommande bollens energi och minskar skruvkänsligheten och man får därigenom en ökad kontroll. Med belaget kan man inte själv aktivt åstadkomma mycket spinn, men utnyttja motståndarens, och genom ett skickligt hanterande av materialet ge motståndaren problem med returerna. En stor del av inkommande spinn kan returneras, upp till 90 %. Bollrotationen bevaras medan bollens riktning vänds, varvid inkommande toppspinn kommer att returneras som underskruv. Returnerad med hårt skär bromsas inkommande rotationen minimalt, som nämnts: uppåt 90 % returneras. Vid blockering returneras c:a 60 %. Med överskruv mellan 30 och 0 %. För den attackerande spelaren är det svårt att bedöma det reverserade spinnet.



Bilden visar ett nabbgummi med långa, smala nabbar utåt. Ett nabbgummit klassificeras som långnabb om förhållandet mellan längd och bredd är över 0.9. Kvoten kallas ”aspect ratio of pimples” och får inte överskrida 1.1. För flertalet långnabb är nabb längden 1.5-1.8 mm.

Experiment/övning:

Tag en kombinationsracket med backside på en sida, långnabb på den andra. Slå en boll rakt upp med mycket skruv och låt den studs mot backside-sidan respektive nabbsidan med racketytan horisontellt! Vad ser du? Hur mycket dämpas studsens? Jämför snabb backside med energiabsorberande långnabb.

Att prova på att spela med kombinationsracketar är nyttigt för alla spelare, även offensiva backside-spelare för att öka förståelsen av hur materialen fungerar!



Viktoria Pavlovich, Vitryssland, defensivspelare

Attack med nabben mot underskruv fungerar bra, och särskilt då man tar bollen på uppstuds. Även här bevaras i stort set rotationen, men efter vändning av bollriktningen fungerar den som en loop, och tar ned bollen mot bordet.

Med olika racketvinklar kan man utnyttja att nabbarna viker sig olika mycket och man kan variera returerna på ett för motståndaren mycket svårgenomskådligt sätt.

e. Antiloop

Detta material, ett belag med nabbarna inåt men med relativt låg friktion, används alternativt av defensivt lagda spelare i stället för långnabb. Det fungerar på ett liknande sätt som långnabb, men returerna är inte lika svåra att tolka av motståndaren. Medger t.ex. attack mot stark underskruv, och är på samma sätt relativt okänsligt för skruv.

Antiloop är ju inte så vanlig bland elitspelarna, defensivspelarna föredrar nog ett nabbgummi på elitnivå, men bland veteranspelare förekommer det ofta.

f. Vibrationer i stommen

Det här en ganska intressant punkt som på allvar börjat diskuteras och där fabrikanterna har lanserat olika stommar som med varierande metoder som sägs påverka racketstommens uppförande på ett positivt sätt. Fibrer i bladet och olika konstruktioner av skaftet ska snabbt dämpa ut vibrationerna och minska energiförluster samtidigt som kontrollen förbättras. Samtidigt opererar man med tex. urborrade skaft som flyttar ut racketens tyngdpunkt och "percussion point" vilket förmodas ge en renare träff längre ut och därmed högre fart. I de här sammanhangen talas ju ofta om *sweet spot*, som helt enkelt är det område som ger en god träff, men som saknar en mer strikt vetenskaplig definition. Ytterligare ett begrepp är "power point", som är den punkt där träffen ger bollen störst energi (fart och skruv).

I tennis finns en hel del publicerat om dessa begrepp, men där har fabrikanterna större resurser och problemet är enklare mekaniskt. Tennisspelet har dock alltmer börjat likna bordtennis i många avseenden och det finns säkert en hel del som dessa bollsporter kan lära av varandra numera. Men det är litet riskabelt att bara föra över resonemangen från tennis till pingis utan

att göra en del motsvarande mätningar. Men det här är saker som diskuteras alltmer, så det tål väl att börja fundera en del i den här riktningen.

Titta på bollen

En aspekt som ju inte direkt är mekanik men som kopplar den mekaniska delen av spelet med den fysiologiska är spelarens observation av bollen och förberedelse av nästa slag. Länken mellan mekaniken och biomekaniken skulle man kunna säga.

Eftersom bollen är ett lätt objekt, 2,7 g, och lätt påverkas av minsta vinddrag och spinn så är det viktigt att noga observera bollen ända till träffen för att undvika kantbollar och orena bollträffar. Noggrann observation av de bästa spelarna har visat att de gör det!

Det är därför en poäng att i samband med diskussion om racket, racketbelag och kontakten med bollen ta upp denna mycket viktiga del av spelet, som man aldrig tycks kunna betona för mycket.

Alltså:

1. Sedan motståndaren genomfört sitt slag bör fokus vara på bollen ända till och genom bollträffen. Det är väldigt lätt att släppa bollen med blicken just före träffen med sämre träff som resultat.

2. Efter eget slag och fram till motståndarens är fokus på motståndaren.

Bollens egenskaper har definierats av ITTF och diametern ska vara 40.0-40.6 mm, rundheten <math><0.25\text{ mm}</math> (celluloiden hade kravet 39.5-40.5 mm (rundhet <math><0.35</math>), därav beteckningen 40+. Vidare skall bollen, släppt från 305 mm höjd mot en speciell stålplatta, studsas upp 240-260 mm, plast och celluloid lika.

Hårdheten mäts genom att utsätta bollen för en kraft på 50 N och får då maximalt deformeras c:a 0.7-0.8 mm, samma krav för plast och celluloid.

Den dynamiska kvaliteten utvecklas (hur bollens fart, spinn och hållbarhet ser ut) kommer att följas de närmaste åren. Men de kommenteras inte för närvarande.

Appendix A

Om friktion och studs

Då en kloss glider på ett underlag bromsas den upp pga. friktion mot underlaget, klossens energi bromsas bort (kloss och underlag värms upp litet grand). En boll som rullar på ett underlag med friktion så att bollen inte glider bromsas inte upp pga. friktionen mot underlaget, däremot av luftmotstånd och av ev. deformation av boll eller underlag, t.ex. en pingisboll som rullar på ett bord. Bollen som rullar utan glidning har vid kontaktpunkten

ingen hastighet relativt bordet, dvs. bollens kontaktpunkt är i vila relativt bordet. Den kraft som bordet verkar med på bollen (normalkraften brukar den kallas, N) är riktad rakt upp och uppväger precis tyngdkraften.

Om en boll släpps ned på bordet från t.ex. 1 meters höjd kommer den att studsas upp till c:a 82 cm höjd, här talar man ibland om COF, "coefficient of restitution", som är ett mått på hur elastisk en studs är. Den är aldrig helt elastisk!

Experiment/övning:

Det här är ju lätt att testa på litet olika typer av bord, på olika ställen på bordet (bordets kvalitet), samt på samma typ av bord på litet olika underlag (ger olika typer av golv olika studs?). En av ITTF godkänd boll studsar upp c:a 250 mm från en stålplatta då den släpps från 305 mm höjd.

https://d3mjm6zw6cr45s.cloudfront.net/2017/10/T3_Ball_BoD2016_Final.pdf
(länk till ITTF:s sida om pingisbollen)

Om däremot en boll, som träffar bordet med viss hastighet och sedan studsar upp, studeras noga ser man att den i de flesta fall kommer att glida en viss sträcka på bordet, bollen bromsas eller accelereras samt utsätts för ett vridande moment så att den antingen roterar snabbare eller långsammare. Ett väldigt glatt bord med liten friktion påverkar då också bollen ganska litet, bollens utgångsvinkel efter studs är densamma som ingångsvinkeln och rotationen påverkas väldigt litet.

Ett bord med större friktion ger däremot en del effekter vid bollstudsens. En hårt överskruvad boll kommer att påverkas av en kraft längs bordsytan i bollens framåtriktning och därigenom få en flackare utgångsfart efter studsens. Momentet på bollen bromsar rotationen något och bollen kan få en viss fartökning efter studs. Rotation överförs till translation genom kontakten med bordet.

Friktionen har också stor betydelse vid bollens kontakt med racket, oftast en helt avgörande betydelse dessutom. *Bordtennis är en materialsport*, och det är en del av sportens charm men även upphov till mycket huvudbry. Det finns material med mer eller mindre friktion (mer eller mindre skruvmöjlighet) och med svampgummi med olika hårdhet (olika gradtal säger man numera, degree of hardness) läggs ytterligare en dimension till spelet där ett hårdare svampgummi i allmänhet ger större fart. Varje spelare försöker finna rätt kombination av hårdhet, tjocklek och friktion som är bäst för just hans/hennes spel. En grannlaga uppgift som kan ägnas mycket tid, men som ju också är intressant och öppnar nya möjligheter. Det finns t.ex. mjukare svampgummin som är mindre elastiska och därmed absorbera energi effektivare för defensivspelare (materialet tar hand om en del av den inkommande bollens rörelseenergi, ungefär som stötdämparen i en bil). Valet av material anpassas till spelarens slagteknik. Byggs spelet upp kring mer skruv och mindre fart vill man troligen ha en mjukare svamp och ytgummi med mycket friktion. En fartspelare vill ha en hårdare svamp och bör ha tjockare svamp för att undvika genomslag och får då större massa i sin racket vilket också ger mer fart. Till en massivare racket överförs mindre energi vid bollträffen, varför den utgående bollen efter studs har kvar en större del av energin.

Detta har ju nämnts tidigare, men tål att sägas flera gånger!

En naturlig startpunkt blir nu att studera friktionen på några vanliga, typiska plattor.

Exempel på friktion hos några olika racketbelag:

Friktionskoefficienten för ett material (μ) utgör förhållandet mellan friktionskraften och normalkraften (=den kraft bollen trycks mot materialet) då bollen samtidigt flyttas i sidled över materialytan (plattan) eller påverkas av en kraft i sidled. Vid några egna tester som vi genomförde, då dessa uppgifter är svåra (omöjliga?) att hitta i litteraturen, ges nedan. Så dessa är kanske inte så exakta, men ger en fingervisning. Trenden är större friktion om koefficienten är större.

Racketbelagfriktionskoefficient :

Dr Evil 0.59, Spinpips 0.64, Stiga Clippa 0.75, Raystorm 0.86, Rakza7 soft0.80, Tackiness 0.86, Neos tacky 1.02, Haifu whale II 1.02, Wang hao 1.07.

De fyra första belagen är av nabbtyp (soft sa man ofta förr) med nabbarna utåt, det första dessutom mellannabb med anti-behandling av nabbarnas toppar. Raystorm har hög friktion trots att det är nabbgummi, men nabbarna är breda. De tre nedersta plattorna är alla av klibbtyp, vilket ju också märks på friktionen. De två sista är av typiskt kinesiskt utförande och lämpar sig väl för kinesisk slagteknik medan Rakza7 och Tackiness, båda japanska, är typiska "europeiska" material. Neos tacky är en mellanvariant.

En egenskap som kan skilja en del är något som kallas "high throw", som på något sätt ska beskriva hur hög bollbanan blir för givet material och racketvinkel vid t.ex. blockering, vilket kräver att racketvinkeln alltså modifieras beroende hur hög "throw" man har.

Hur fart och skruv hanteras vid blockering är intressant att studera. Generellt är det ju rätt lätt att notera att långsamma, mycket skruvade loopar oftast är rätt knepiga att hantera, medan en loop med fart och flack bollbana oftast är rätt enkel om man hinner med. Vi skall visa att vinkelspridningen av de förra blir klart större.

Utgångspunkten är då en enkel modell av racketmaterialet i form av två harmoniska fjäderkrafter, gummibelaget ersätts helt enkelt av två mot varandra vinkelräta fjädrar med olika fjäderkonstanter (se faktaruta ovan).

En kraft kan ju alltid delas upp i två vinkelräta komponenter, vi väljer den ena kraften (fjädern) vinkelrät mot belaget, den andra i belagets plan. Man kan då räkna på en inkommande boll med viss riktning, rotation (skruv) och fart, som möter en racket med i sin tur fart, riktning och vinkel. Efter en del räknande kommer man fram till vad den utgående bollen får för hastighet och rotation.

För enkelhetens skull betraktas nu en horisontellt inkommande boll med farten v och rotationen f . Om nu v_x är hastigheten relativt bordet längs ytan och v_y motsvarande fart vinkelrätt får man efter litet approximationer $v_y/v_x = R 2\pi f/v$. Spridningen i y-led (vinkelrätt mot bordet) kommer då att växa med bollens radie R och rotationen f och vara mindre om farten v är större.

Vi tittar på variationen i hastighetsförhållandet, $v_y/v_x = q$, där $\Delta q = 0.1 (\Delta f/v - (f/v^2)\Delta v)$, dvs. en ändring av frekvensen $f = \Delta f$ och av $v = \Delta v$ ger ändringen i kvoten $q = \Delta q$. Vi ser på två fall:

a. $F=120$ varv/s och $v=5$ mm/s.

b. $F=100$ och $v=20$ m/s

Insatt finner man att a) kanske sprider uppåt en faktor 10 mer än b). Låg fart och mer skruv ger alltså betydligt större spridning än den högre farten och litet mindre skruven!!

Det intressanta med modellen är att den efter några förenklingar ger en formel som är extremt enkel och samtidigt väldigt intuitiv, $q = \text{konstant } Rf/v$. En större radie bör ge en ökad vertikal-komponent liksom större rotationsfrekvens. Och med större inkommande fart blir den relativa vertikalkomponenten mindre.

Modellen baserad på två mot varandra vinkelräta harmoniska krafter (oscillatorer), dvs. fjäderkrafter, är en ganska enkel men acceptabel beskrivning av material av "europeisk" typ. Men hur ska man beskriva kinabelagen?

Dessa fungerar på ett delvis annat sätt och kräver en annan teknik. Om bollträffen är för tjock, alltså med för öppen racket, tränger bollen djupare in i gummit och tenderar att fastna i den klibbiga ("tacky") ytan så att bollen bromsas då den lämnar ytstrukturen. Detta är troligen skälet till att man vid tester med europeiska spelare fått mindre fart och skruv vid loop mot loop för dessa material. Med en tunnare träff, mer stängd racket, vilket räcker med dessa högfriktionsgummin, rullar bollen på racketytan. Svampgummit kan vara rätt hårt då svampen inte används på samma sätt med denna teknik (jfr. fjädrarna ovan).

Exakt hur en modell, som är tillräckligt enkel, skulle kunna se ut återstår att lista ut, men man får försöka med något likartat men litet mer komplext och jämföra med erfarenheterna, praktiken, vid bordet. Förmodligen en rätt knepig uppgift.

Den här typen av material har som nämnts använts med relativt hårt undergummi/svamp då elasticiteten inte utnyttjats på det sätt som är typiskt för europeisk spelstil. De europeiska (japanska) materialen finns ju numera med allt mjukare svamp och med låg vikt; de kinesiska är för det mesta rätt tunga. Dock, numera finns det tacky-gummi med relativt mjuk svamp och här kan man ju tänka sig en kombinationsfunktion.

Ytterligare en ny typ av gummi som utvecklats främst för defensivspelare har ett mjukt ytgummi ovanpå en hård svamp och ger goda möjligheter till loopspel men är samtidigt väl lämpat för skurna bollar, men får naturligtvis inte samma katapulteffekt som traditionellt europeiska material. Å andra sidan mindre känsligt för inkommande skruv.

Impactmodellen

Men den ovan beskrivna modellen för växelverkan mellan boll och racketgummi, där effekten av kontakten mellan boll och materialyta behandlas som effekten av två vinkelräta harmoniska krafter (fjäderkrafter med olika fjäderkonstanter), kan man då inkommande bollens fart, riktning och rotation är kända, liksom racketens fart och vinkel, bestämma den utgående bollens hastighet och spinn. Man kan då se att maximal spinn får man om fjäderkonstanten i ytan är något mindre än den vinkelrätt mot ytan på plattan. Man kan också se hur låg ingångsfart men mycket spinn omvandlas till en utgående boll med högre fart och lägre spinn, och omvänt (jfr blockering). Vi avstår från att närmare gå in på den här beskrivningen av impact-fenomenet då modellen är rätt matematisk. Den gäller inte heller för material med kinagummikaraktär (klibbgummi).

Rotationsenergi/translationsenergi

Det är ju också intressant att se hur energin fördelar sig på translation respektive rotation.

$$K_r / K_t = \frac{1}{2} I \omega^2 / \frac{1}{2} m v_t^2 = \frac{1}{2} (2/3) (m R^2 v_y^2 / R^2) / \frac{1}{2} m v_t^2 = (2/3) (v_y / v_t)^2 ;$$

V_t = translationshastighet, v_y = ythastigheten ($R\omega$);

Vi testar förhållandet för **typisk loop med farten 15 m/s och rotationen 120 varv/s**, Maximala rotationen ligger på c:a 170 varv/s.

$$(2/3) (v_y^2 / v_t^2) = (2/3) (120 \cdot 2\pi R)^2 / 15^2 = 2/3$$

För dessa typiska värden är **rotations- och translationsenergi ungefär lika stora**

Diskussion/uppgift:

☒ **Hårdheten.** Skalan sådan att de flesta plattor ligger mellan 30 och 45 i hårdhetsgrad. Vad är 30° i hårdhet? Det är en väldigt mjuk platta. Högre gradtal ger hårdare undergummi och tyngre material. Enligt J-O är hårdheten en mycket kinkig parameter. Stor variation av hårdhet på samma typ av platta (10-20 %). Hur veta? Tips: väga!

☒ **Friktion:** testa att kolla friktionen genom att låta en kloss glida mot lutande yta. Jfr vinkeln för olika material, förhoppningsvis är det lätt att se skillnad på olika material. Man kan fästa tre bollar på en platta som sedan dra över plattan med en dynamometer. Kraften är proportionell mot friktionskoefficienten.

☒ **rotation kontra translation:** 100 varv per sekund (ingen märkvärdig överskruv) ger en periferihastighet av 6 m/s. Om bollen har en translationshastighet på 6 m/s och rot är 100 v/s kommer den punkt som träffar bordsytan ha noll hastighet relativt bordsytan, dvs ingen friktionskraft alls längs bordsytan.

En litet snabbare boll kommer att bromsas något, en litet långsammare boll utsätts för en framåtriktad kraft vid studs och farten ökar något. En mycket långsam boll med stort spinn sätter fart vid studs och vinkeln ut blir flackare.

Man kan **illustrera spinn /bollrotation** med ett hjul på en axel på ett pedagogiskt vis.



Appendix B

Serven

Den uppåtgående fasen vid uppkastet (serve)

$m \, dv/dt = -mg - k v^2$ kan omformuleras till, efter separering av variabler och integrering:

$$\int_0^v \frac{dv}{(a^2 + v^2)} = -(k/m) \int_0^t dt$$

$(1/a) \arctan(v/a) = kt/m$ eller $\arctan(v/a) = kat/m$ och $a=8.0$, $m=2.7 \cdot 10^{-3}$, $k=0.41 \cdot 10^{-3}$

Kasta upp med begynnelsefarten 8 m/s:

$\arctan 1.0 = 45 \text{ gr} = 45\pi/180 = 1.215 t$ vilket ger oss $t = c:a 0.7 \text{ sek}$

Även med 15 m/s tar det något under sekunden för att nå vändpunkten.

Den nedåtgående fasen vid serve
(Fritt fallande boll med luftmotståndet kv^2 .)

Den differentialekvation man har att lösa är för det fria fallet med luftmotstånd:

$$F = m \cdot dv/dt = mg - kv^2$$

Separering av variabler ger ekvationen

$$\int dv/(a^2 - v^2) = \int (k/m) dt$$

Med lösningen:

$$v = a * \{(e^{bt} - 1)/(e^{bt} + 1)\}, \text{ där } a = (gm/k)^{1/2} \text{ och } b = (4gk/m)^{1/2}$$

Med rimliga antagande är $a=8,0$ och $b = 2,44$.

Man kan notera att a är gränshastigheten, v närmar sig a när t växer. Efter 1 sek är $v = 6,71$, dvs 84 % av sluthastigheten 8 m/s. Efter 2 sek 97 % från maxfart!

Exempel: Om en boll kastas upp med en fart runt 10 m/s och når upp till $c:a$ 4 meters höjd på runt 0,7 s, kommer den efter ytterligare omkring 1 sek att nå servarens racket med farten omkring 7 m/s. Gränshastigheten = maximala hastigheten är alltså inte långt borta och gör det inte särskilt meningsfullt att göra ännu högre uppkast för att öka farten. Däremot kan ju tidpunkten för serven fördröjas en hel del med det höga uppkast och varierar med uppkastets höjd, och motståndaren vet ju inte vilken fördröjning som är att vänta och skapa problem med

att ha maximal koncentration vid rätt tidpunkt. En nackdel är dock att den nedfallande bollens fart kommer att begränsa urvalet av servemöjligheter.

