

# KOLLISIONER

## 1 Inledning

Vi undersöker kollisioner mellan två objekt i en dimension. I kollisionen växelverkar objekten och växlar rörelsemängd och energi med varandra. Enligt Newtons tredje lag verkar kropparna på varandra med lika stora, motsatt riktade krafter under kollisionen. Krafterna som verkar mellan delarna i ett sådant här system kallas interna krafter. Vi antar att summan av de yttre krafter som verkar på vårt system är lika med noll. Då gäller lagen om rörelsemängdens  $p$  bevarande i systemet

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2, \quad (1)$$

där  $v_i$  och  $v'_i$  är kroppen  $i$ :s hastighet före och efter kollisionen och  $m_i$  kroppens massa. Vi bestämmer att kollisionen är elastisk, alltså bevaras även rörelseenergin  $E$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v'^2_1 + \frac{1}{2} m_2 v'^2_2. \quad (2)$$

I andra fall är det fråga om oelastiska kollisioner, där rörelseenergi går åt till exempel för att producera värme (friktion) eller formändringar.

Enligt Newtons II:a lag gäller  $F = ma$  för kraften  $F$  som verkar på kroppen och kroppens acceleration  $a$ . Samtidigt är hastighetsförändringen mellan tidpunkterna  $T$  (före kollisionen) och  $T'$  (efter kollisionen) lika med accelerationens integral över det ifrågavarande tidsintervallet, alltså

$$v' - v = v(T') - v(T) = \int_T^{T'} a(t) dt. \quad (3)$$

Därmed kan vi bestämma ändringen i kroppens rörelsemängd, alltså impuls, under kollisionen genom tidsintegralen av kraften som verkar på kroppen under kollisionen

$$mv' - mv = \int_T^{T'} F(t) dt, \quad (4)$$

Detta kallas impulsprincipen. Eftersom kropparna verkar på varandra med lika stora och motsatt riktade krafter under kollisionen, alltså  $F_2 = -F_1$ , är även kropparnas impulser under kollisionen lika stora och motsatt riktade, alltså

$$m_2 v'_2 - m_2 v_2 = m_1 v_1 - m_1 v'_1, \quad (5)$$

Som stämmer överens med lagen om rörelsemängdens bevarande (1).

I det här laboratoriearbetet används en vagnbana med låg friktion för att undersöka kollisioner. Vagnarnas rörelse mäts med ultraljudssensorer. Med hjälp av sensorernas plats-, hastighets- och accelerationsdata granskas ändring i vagnarnas rörelsemängd och rörelseenergi i såväl elastiska som fullt oelastiska kollisioner.

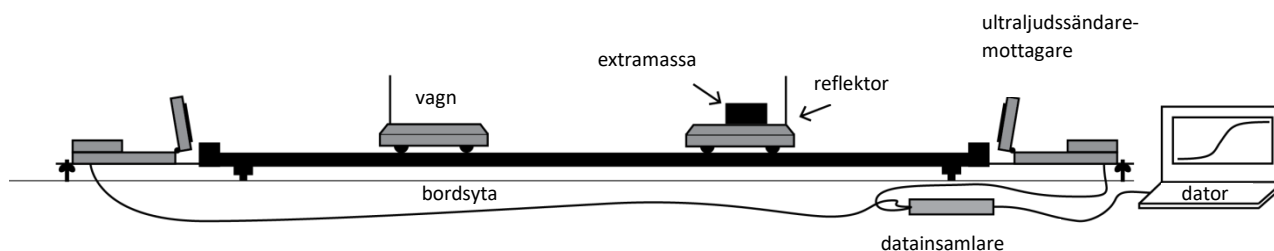
## 2 Målsättningar

Efter laboratoriearbetet

- har studeranden fått observerat rörelsemängdens bevarande och impulsprincipen experimentellt, genom att studera kollisionen mellan två objekt
- kan studeranden jämföra elastiska och fullt oelastiska kollisioner med varandra i fråga om rörelsemängdens och rörelseenergis bevarande
- Har studeranden bekantat sig med numerisk databehandling och feluppskattning

## 3 Apparatur

Mätningssapparaturen (bild 1) består av två vagnar, som åker längs med en skena, samt två ultraljudssensorer, som är fästa på skenornas ändor. Sensorerna är kopplade till en datainsamlare, som i sin tur är kopplad till en dator. Genom att sända ut ultraljudspulser med tätt intervall (20/s) mäter sensorerna vagnens position som funktion av tiden. Pulserna reflekteras från vagnarna och tillbaka till sensorerna, vars inbyggda mottagare registrerar dem. Vagnarnas position bestäms sedan ur de reflekterade pulsernas färdtid.



**Kuva 1.** Mätningssapparatur. Två vagnar på en skena förs in i varandra och kolliderar medan ultraljudssensorerna bakom dem mäter deras rörelse under kollisionen.

Friktionen mellan vagnarna och skenan har minimerats. Med apparaturen kan man göra såväl nästan elastiska som helt oelastiska kollisioner genom att använda olika buffertar på vagnarnas ändor. För att producera en elastisk kollision används magnetiska buffertar, som repellerar varandra, så att vagnarna kolliderar utan att röra vid varandra. För att producera en oelastisk kollision används däremot kardborrebandsbuffertar, som fäster vagnarna i varandra under kollisionen. En löstagbar vikt är fäst på den ena vagnen så att vagnarnas massor klart är olika stora.

Reflektorerna på vagnarna förbättrar ultraljudssignalens kvalitet genom att förse den med en stor yta att reflekteras från. Då man växlar kollisionstyp mellan elastisk och oelastisk måste reflektorerna flyttas till vagnens motsatta ända genom att lösa på fingerskruvarna som fäster dem. För vagnen med vikten innebär detta även att tillfälligt ta loss vikten från vagnen.

Mätningssprogrammet visar vagnarnas position som funktion av tiden och möjliggör därmed även att rita upp grafer för deras hastighet, acceleration och rörelsemängd i realtid.

## 4 Föruppgifter

Bekanta dig med teorin som hör till arbetet med valfri fysiklärobok, t.ex. [1–3]. Läs igenom arbetsinstruktionerna och besvara frågorna nedan i svarsformuläret.

1. Vi undersöker en kollision mellan två identiska biljardbollar där en av bollarna var i vila före kollisionen. Vi antar att kollisionen är elastisk. Gör en graf över bollarnas position, hastighet och acceleration som funktion av tiden före och efter kollisionen.
2. Varför tar det mera ont att falla på ett stengolv än att falla på en madrass fastän ändringen i rörelsemängd är lika stor i båda fallen?

## 5 Mätningar

### 5.1 Förberedning av apparaturen

**Varning: Vagnarna innehåller magneter, som kan störa till exempel pacemakers eller mekaniska armbandsurs funktion.**

1. Kontrollera att skenan inte lutar genom att lägga en av vagnarna på den och ge vagnen lite fart i båda riktningarna. Vagnen borde sakta in likadant i båda riktningarna. Skenans fötter kan justeras vid behov.
2. Kontrollera att ultraljudssensorernas brytare är i "vagn" position. Koppla sensorernas ledningar till *LabQuest Mini* –datainsamlarens "DIG 1" och "DIG 2" portar. Starta datorn och koppla datainsamlaren till datorns USB-port. Öppna sedan filen *Tormaykset.cmbl* (filen finns i *Mittauspohjat*-mappen på datorns skrivbord). *Logger Pro* borde nu starta och tre grafer borde synas på skärmen: position, hastighet och acceleration som funktion av tiden.
3. Sedan riktas sensorerna. Sensorerna borde vara något snett uppåt riktade så att ultraljudskonerna inte ska reflekteras från skenornas ändor (ultraljudskonerna breder ut sig ca. 15–20° från sin mittaxel). Ta bort möjliga hinder från skenans omgivning. Lagg en av vagnarna på skenan, starta datainsamling genom att trycka på *Collect*-knappen eller mellanslagstangenten, och skuffa vagnen i rörelse. Datat som syns på skärmen borde motsvara vagnens rörelse. Om detta inte är fallet, justera sensorernas riktningar.

### 5.2 Logger Pro –programmets inställningar

Till näst ställs *Logger Pro* -mättningsprogrammet in så att det direkt räknar ut vagnarnas rörelsemängd och rörelseenergi (se mättningsbottens sidor 2 och 3). Först måste dock vagnarnas massa matas in i programmet, och dessutom måste det kontrolleras att programmet har rätt formler för att räkna ut rörelsemängd och rörelseenergi. Vagnarnas hastighets- och accelerationsdata fås direkt ur programmet under mätningen. Märk att "m1" motsvarar massan av vagnen på samma sida av skenan som sensorn som är kopplad till "DIG 1"-porten och likaså motsvarar "m2" massan av vagnen på "DIG2"-sensorns sida.

1. Väg vagnarna med en våg och skriv ner deras massor i svarsformuläret, med feluppskattning

Tips: Det lönar sig att placera vagnarna uppochnar i mitten av vågen. Den viktörsedda vagnens vikt kan lösgöras och placeras på den uppochnervända vagnen.

2. Vagnarnas massor matas in i programmet genom *Data* → *User Parameters*-menyn.
3. Rörelsemängdens och -energins formler kontrolleras genom att välja: *Data* → *Column Options* och turvíst välja rörelseenergi och rörelsemängd ur listan. Kontrollera att *Calculated Column Options*-fönstrets *Equation*-fält har en passlig ekvation i sig (se *Logger Pro*-instruktioner). Gör detta för alla rörelseenergi- och rörelsemängdskolumner.

4. Till sist justeras ännu sensorernas nollpunkt. Reflektorerna borde vara på samma sida av vagnarna som magneterna. Lägg vagnarna så att de rör vid varandra vid mitten av skenan och välj *Zero* i *experiment*-menyn, eller mata in tangentkombinationen *Ctrl+0*.

### 5.3 Elastisk kollision

I följande experiment kollideras vagnarna med varandra så att deras magnetiska buffertar stöter ifrån varandra, och kollisionen blir nästan helt elastisk.

1. **Gör en hypotes och skriv ner den i svarsformuläret:** Vad händer åt systemets totala rörelsemängd och rörelseenergi i kollisionen? Motivera ditt svar.
2. Lägg vagnarna på motsatta ändor av skenan så att deras magnetiska buffertar är mittemot varandra och så att vagnarna är på rätt sidor med avseende på sensorerna. Starta mätningen och skuffa lätt vagnarna i rörelse mot varandra så att de kolliderar. Om starthastigheten du ger vagnarna är tillräckligt liten rör inte vagnarna vid något skede vid varandra. Repetera vid behov experimentet tills du får en prydlig kollision: Hastighets- och accelerationsgraferna borde vara rätt så jämna över flera datapunkter (ca. 5–10 punkter, alltså 0,25–0,5 s) direkt före och efter kollisionen, och kollisionen borde täcka ca. 5–10 datapunkter.
3. Nr du fått en lämplig kollision, kontrollera datan med assistenten. Spara sedan datan med ett deskriptivt namn. Du kan använda t.ex. tangentkombinationen *Ctrl+L* för att spara.
4. **Testa din tidigare hypotes:** Kontrollera den totala rörelsemängden och –energin före och efter kollisionen och skriv ner dina observationer i svarsblanketten. Om dina observationer inte stämmer överens med din hypotes, tänk igenom varför.
5. Göm nu den elastiska kollisionens data genom att öppna *Data-rullgardinsmenyn* och välj *Hide Data Set*.

### 5.4 Oelastisk kollision

Till näst görs en helt oelastisk kollision genom att använda kardborrebandsbuffertar så att vagnarna fastnar i varandra under kollisionen.

1. **Gör en hypotes och skriv ner den i svarsformuläret:** Hur beter sig vagnarnas position, hastighet och acceleration som funktioner av tiden? Skissera tidsberoendena i svarsformuläret. Motivera ditt svar.
2. Flytta reflektorerna till vagnarnas motsatta sidor (för att göra detta måste den ena vagnens vikt temporärt tas loss). Lägg vagnarna vid skenornas ändor så att deras kardborrebandsbuffertar är mittemot varandra och skuffa dem i rörelse mot varandra så att de kolliderar.
3. När du fått en lämplig kollision, kontrollera datan med assistenten och spara den, som tidigare.
4. **Testa din tidigare hypotes:** Skissera tidsberoendena baserat på dina observationer. Motsvarar de din hypotes? Om inte, tänk igenom varför.
5. Spara till slut *Logger Pro* –filen och, om du vill, även datan i t.ex. textform. Använd *Opiskelijat* -nättdisken då du sparar.

## 6 Behandling av resultaten

Vi undersöker exaktare den oelastiska kollisionen.

1. Rita upp vagnarnas rörelsemängd och systemets totala rörelsemängd som funktioner av tiden på samma graf och skriv ut den som bilaga till svarsblanketten.
2. Bestäm systemets totala rörelsemängd, med feluppskattning, före kollisionen (genomsnittliga värdet  $p$  och dess feluppskattning  $\Delta p$ ) samt efter kollisionen (genomsnittliga värdet  $p'$  och dess feluppskattning  $\Delta p'$ ) och skriv ner dem i svarsblanketten. Värdena och deras feluppskattningar kan bestämmas med ögonmått som medelvärde i ett litet område före och efter kollisionen. Markera tidsintervallen värdena är bestämda med samt kollisionstidpunkten på den utskrivna grafen.
3. Gör samma undersökning för rörelseenergin: Rita ut vagnarnas rörelseenergi samt systemets totala rörelseenergi som funktioner av tiden på samma graf och skriv ut den som bilaga till svarsformuläret. Bestäm den totala rörelseenergin värden före kollisionen ( $E$  och  $\Delta E$ ) och efter den ( $E'$  och  $\Delta E'$ ) och skriv ner dem i svarsblanketten. Markera även värdenas bestämningsintervall och kollisionstidpunkten på grafen.

## 7 Att tänka på

1. Gäller lagen om rörelsemängdens bevarande (1) baserat på mätningarna i den a) elastiska, b) helt oelastiska kollisionen?
2. Beskriv, baserat på resultaten, de enskilda vagnarnas rörelsemängds och rörelseenergis beteende i den oelastiska kollisionens fall.
3. Bevaras rörelseenergin (1) i den a) elastiska, b) helt oelastiska kollisionen? Vad händer åt rörelseenergin i kollisionerna?

## Källor

- [1] D.C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4<sup>th</sup> edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [2] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. upplagan. Pearson Education, 2011.
- [3] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9<sup>th</sup> edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.