

INSTITUTIONEN FÖR FYSIK OCH ASTRONOMI

Laboration: **Gyroskop**

1 Syfte och mål

Laborationen görs innan genomgång av teoriavsnittet och är tänkt att öka intuitionen kring stela kroppar. Målet är att bekanta sig med stel kropps allmänna rörelse genom att

- kvalitativt observera ett gyroskops rörelse i olika situationer.
- kvantitativt mäta på en enkel rörelse hos ett gyroskop.

2 Introduktion

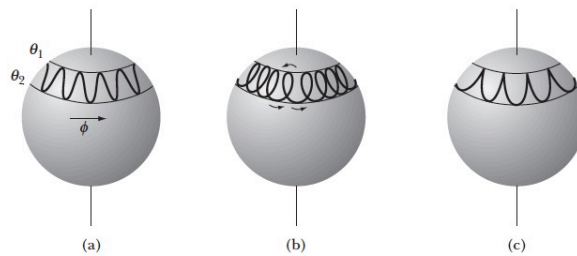
Ett gyroskop består av en roterande kropp som roterar snabbt kring sin symmetriaxel. Symmetriaxeln kan vridas fritt i en eller flera riktningar. Gyroskopet behåller sin orientering oberoende av hur upphängningspunkterna vrids. Gyroskop används bland annat för att upprätthålla stabiliteten i olika fordon som flygplan, rymdfarkoster och ubåtar och som sensorer för tröghetsnavigering (inertial guidance systems).



Figur 1: Olika exempel på snurror. *David Earle/CC BY-SA 3.0*

Ett enkelt exempel på ett gyroskop är en snurra. Så länge snurran snurrar tillräckligt snabbt så förblir den stadigt på den nedre delen av axeln och

välter inte. Om axeln lutar kommer symmetriaxeln att *precessera*, dvs röra sig i en cirkelrörelse kring vertikalen. Under vissa förutsättningar kan man observera att gyroskopet inte precesserar med en fix vinkel mot vertikalen utan att vinkeln istället varierar mellan två värden. Detta kallas för *nutationsrörelse*.



Figur 2: Exempel på nutations och precessionsrörelse. Figuren visar hur axeln på en roterande snurra rör sig. Vinkeln ϕ anger precessionen och snurran utför en nutationsrörelse mellan de två vinklarna θ_1 och θ_2 . Marion och Thornton, *Classical dynamics*, fig. 11-17

3 Försök med det lilla gyroskopet

Utrustning:

Högprecisionsgyroskop tillverkat av mässing med en lätt aluminiumram. Gyroskopet kommer med ett antal extra komponenter som möjliggör olika experiment. Gyroskopet startas med en elektrisk motor som kan driva gyroskopet till mycket höga hastigheter (12000 rpm).

Gyroskoperna är omtåliga! Var försiktig med dem!

Försök 1: Rotationsaxelns riktning

Montera gyroskopet enligt figur 3. Låt gyroskopet stå i den blå lådan medan ni utför Försök 1 (men inte under senare försök). Det kan lätt hända att gyroskopet ramlar ur sin upphängning.

Bekanta dig med gyroskopet, flytta runt det när skivan inte snurrar. Vilka frihetsgrader har systemet?

Snurra skivan med hjälp av den elektriska motorn. Flytta runt gyroskopet på samma sätt som tidigare och notera vad som händer. Rikta gyroskopets

axeln i en horisontell riktning (t.ex. norr). Gå runt i rummet i en cirkel. I vilken riktning pekar gyroskopets rotationsaxel?



Figur 3: Gyroskop med kardansk upphängning.

Försök 2: Yttre kraft

Använd samma uppställning som i försök 1 men skruva fast två pinnar på gyroskopet, enligt figur 4.

Sätt fart på gyroskopet med hjälp av motorn. Lyft upp pinnen och släpp. Vad händer?

Gör nu om försöket men ersätt den ena pinnen med en vikt, figur 5. Vad händer? Vad blir skillnaden mellan de två delförsöken?



Figur 4: Gyroskop med två fastskruvade pinnar. Pinnarna skruvas i varandra. (t.v.) Gyroskop där den ena pinnen ersatts med en massa. (t.h.)

Försök 3: Nutation

Montera gyroskopet enligt figur, med och utan motvikt. Avståndet mellan mittbalken och gyroskopet kan varieras under försöket men se till att alltid ha skruvat fast axeln i mittbalken innan systemet släpps. Sätt fart på gyroskopet, lyft upp det och släpp sedan taget. Variera avståndet mellan mittbalken och gyroskopet och observera vad som händer när du släpper. Kan du observera nutationsrörelsen (innan den dämpas bort)?



Figur 5: Gyroskop med balansupphängning, med och utan motvikt.

Försök 4: Två sammankopplade gyroskop

Gå ihop med en annan grupp och sätt ihop era gyroskop. Använd den lilla skruven "grub screw" för att fästa den ena änden av pinnen.

Sätt fart på gyroskoperna. Hur beter sig de sammankopplade gyroskoperna om båda har samma rotationshastighet?



Figur 6: Två sammankopplade gyroskop.

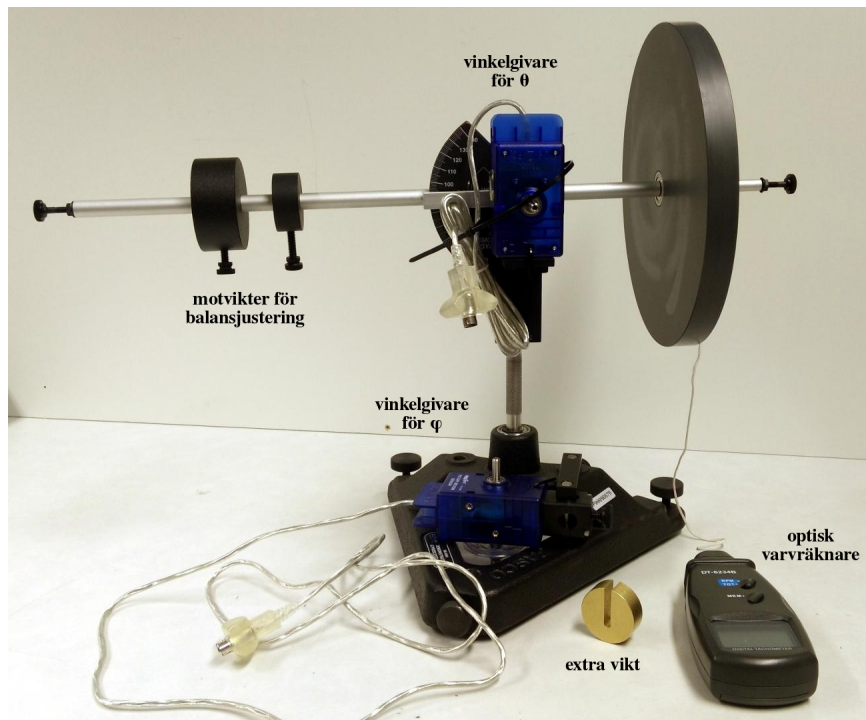
4 Försök med det stora gyroskopet

Utrustning:

3-axlat gyroskop som består av ett balanserat hjul på en axel som är upphängd så att den fritt kan röra sig åt alla håll. Två motvikter tillåter grov och fin balansjustering. Till utrustningen hör också extra vikter att hänga på gyroskopet. De två digitala vinkelgivarna kan samtidigt mäta vinklarna $\phi(t)$ och $\theta(t)$ (eller respektive vinkelhastigheter), se figur 7. Givarna läses av med dator med hjälp av program Capstone. Vinkelgivarna ska kopplas via trådlösa blåtandsändarna (PASCO AirLink 2).

Gyroskopets skiva startas bäst med hjälp av ett snöre. Skivans rotationsfrekvens kan bestämmas genom mätning med en optisk varvräknare som

riktas mot en reflektiv tejp som klistrats på skivan.



Figur 7: Uppställning med gyroskopet med två motvikter. Två vinkelgivare kan kopplas till en dator. En optisk varvmätare används för att bestämma skivans rotationshastighet.

Försök 5: Precessionshastighet och rotationsfrekvens

Använd det stora gyroskopet och undersök sambandet mellan precessions- och rotationshastigheten hos skivan samt mellan precessionshastigheten och kraftmomentet med avseende på upphängningspunkt.

För att göra detta ska ni mäta precessionshastigheten och rotationshastigheten i olika delförsök, med minst fem olika datapunkter per delförsök. För att effektivisera utförandet av delförsöken ska ni utföra era mätningarna i tät följd efter varandra, under en och samma datainsamlingskörning, enligt följande procedur:

1. Håll fast gyroskopet och sätt fart på skivan så den får en rotationshastighet på minst 700 RPM.
2. Mät rotationshastigheten, starta datainsamlingen och släpp gyroskopet.
3. Mät precessionsvinkeln under ca 5 - 10 sekunder.
4. Ta tag i gyroskopet, **ändra delförsökets variabel**, mät och skriv ner den nya rotationshastigheten, och släpp snabbt igen.

5. Upprepa punkt 3 och 4 fem eller fler gånger, så ni får minst 5 olika mätintervall i samma graf.

Efter körningen, anpassa en rät linje till precessionsvinkeln som funktion av tiden under era olika mätintervall. Om skivan hinner stanna innan ni får fem mätpunkter, upprepa hela mätproceduren igen och lägg ihop era resultat. Anteckna er värden i tabellen i protokollet!

Delförsök:

1. Undersök hur gyroskopets precessionshastighet Ω beror på skivans rotationshastighet ω . Börja med att flytta en av motvikterna så att gyroskopet inte är balanserat. Utför sedan mätproceduren ovan genom att bromsa skivans rotationshastighet under punkt 4.
2. Undersök hur gyroskopets medelprecessionshastighet beror på den stora motviktens förskjutning från jämviktsläget. Börja med att balansera gyroskopet och markera motviktens position på gyroskopets axel med en blyertspenna. Mät upp och markera fyra olika avstånd från jämviktsläget. Utför mätproceduren ovan genom att flytta motvikten till era olika avståndsmarkeringar.
3. Undersök hur gyroskopets precessionshastighet beror på massan på motvikterna. Börja med att hänga på en krok på vilken ni kommer haka på era extravikter (minst 5 st). Balansera gyroskopet inklusive kroken. Utför mätproceduren ovan genom att haka på en extravikt (20 g) mellan mätintervallen. Ta av kroken när ni är klara med försöket.
4. Undersök hur rotationsfrekvensen/nutationsfrekvensen beror på skivans rotationshastighet. Justera motvikterna så att gyroskopet är balanserat med axeln horisontell. Upprepa det första försöket, men istället för att bara släppa gyroskopet efter att rotationshastigheten mäts, ge även motvikten en lagom knuff så att gyroskopets axel börjar rotera. Anpassa en sinuskurva till nutationsvinkeln under era mätintervall. Anteckna skivans rotationshastighet och den anpassade nutationsfrekvensen i tabellen i protokollet.

I slutet av labben ska ni rita upp och redovisa, baserat på era mätningar, grafer som visar sambandet mellan följande storheter:

1. precessionshastigheten och rotationshastigheten.

2. precessionshastigheten och avståndet från jämviktsläget. Hur ska ni kompensera för förändringen av rotationshastigheten?
3. precessionshastigheten och motvikternas massa. Kompensera även här för förändringen av rotationshastigheten.
4. nutationsfrekvensen och rotationshastigheten.

Börja med att kvalitativt resonera kring hur era olika delförsök påverkade rörelsemängdsmomentet och kraftmomentet på gyroskopet. Hur är förändringen av precessionsvinkeln kopplad till kraftmomentet och rörelsemängdsmomentet?

Försök 6: Nutationsrörelse

Flytta den stora motvikten så att gyroskopet inte är balanserat. Undersök kvalitativt vilken typ av rörelse som beskrivs av gyroskopets axel genom att mäta nutationsvinkeln som en funktion av precessionsvinkeln (θ respektive ϕ i figur 2).

Vilka olika rörelsemönster kan observeras när ni

- Startar skivans rotation och sedan släpp sedan gyroskopet med en vinkel mot horisontalen.
- Ger motvikten en lagom knuff i vertikal riktning.
- Ger motvikten en lätt knuff i horisontell riktning.

Hur påverkar begynnelsevillkoren rörelsen? Spara de grafer som genereras vid försöken eller rita av rörelserna i ert protokoll. Undersök även om nutationsrörelsen påverkar medelprecessionshastigheten.

- Ge olika starka knuffar och observera om medelprecessionshastigheten förändras för de olika rörelsemönstren.

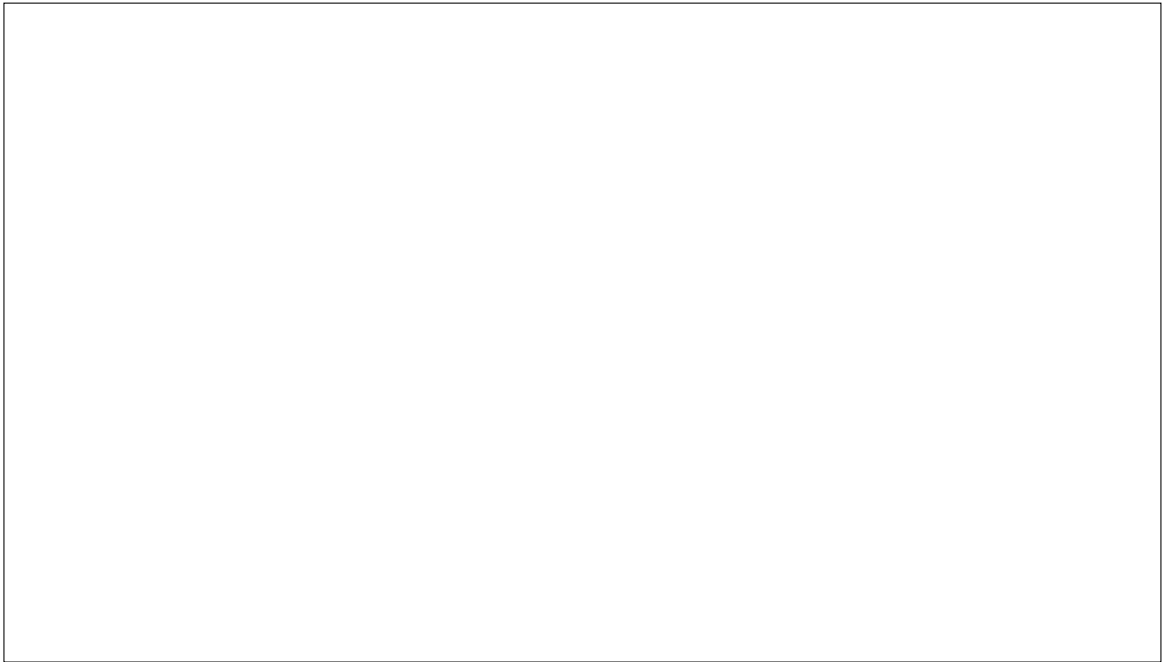
5 Protokoll

Protokollet redovisas för labbassistent vid laborationens slut. Besvara frågorna i laborationsinstruktionen för varje försök samt beskriv de observationer som görs i ord.

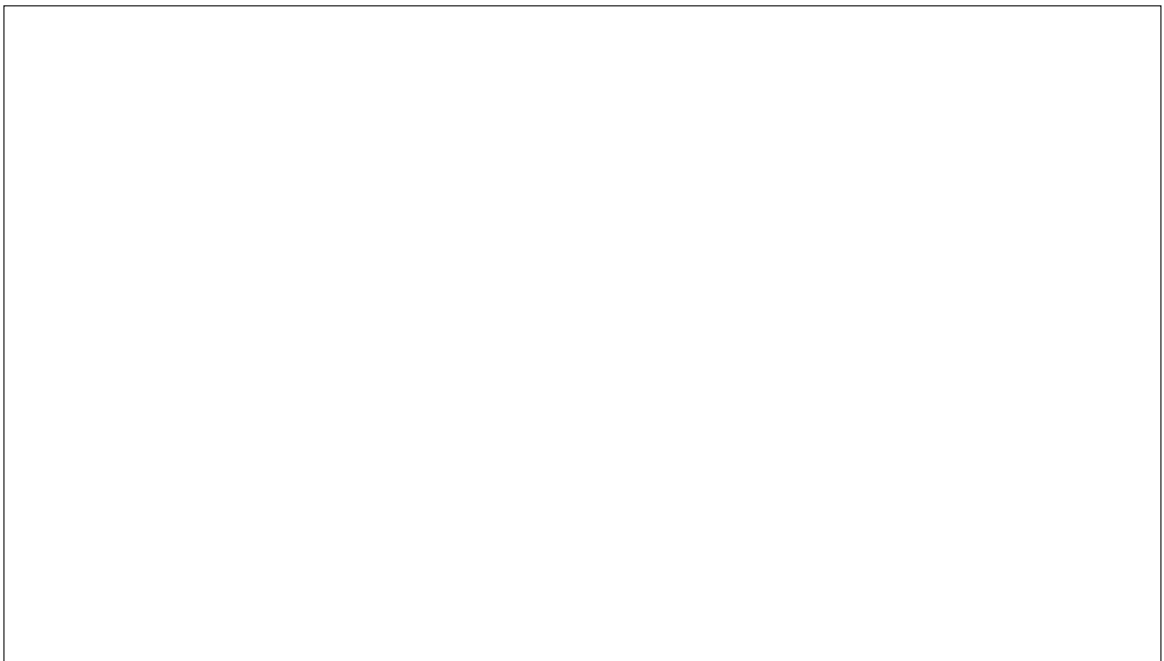
Försök 1: Rotationsaxelns riktning

Försök 2: Yttre kraft

Försök 3: Nutation



Försök 4: Två sammankopplade gyroskop



Försök 5: Precessionshastighet Ω

ω	Ω

r_{vikt}	ω	Ω

m	ω	Ω

ω	Ω_{rot}

Skiss av grafer:

Försök 6: Nutationsrörelse



Rita av de olika rörelsemönster som noterats vid försöket samt notera begynnelsevillkoren som hör ihop med vardera graf.

Spara protokollet och ha det tillgängligt vid labblektionen (lektion 11). Samla på förklaringar till de observationer du gjort under laborationen vid de undervisningstillfällen som behandlar stel kropps allmänna rörelse och var beredd att diskutera dina resultat vid labblektionen.