

# Tid og frekvens

Dag Kristian Dysthe og Anja Røyne (Datert: 16. Januar, 2012)

Nina Jeppesen Edin (Revidert: Januar, 2020)

Fysisk institutt, UiO

Målet i denne oppgaven er å forstå viktigheten av statistikk i eksperimentalfysikk. Vi skal lære å beregne usikkerheter og å forstå forskjellen på systematiske og tilfeldige usikkerheter. Dette skal vi gjøre gjennom eksperimenter, hvor vi bruker forskjellige metoder for å måle tid, fra helt grunnleggende til mer avanserte.

## I. BAKGRUNN

Måling av tid baserer seg på periodiske hendelser. Årssyklusen og soluret er de eldste og best kjente tidsmålerne. Hvor nøyaktig man kan måle tid kommer an på hvor regulære periodene er (f.eks. jordrotasjonen) og hvor fint man kan dele opp perioden i underenheter (f.eks. antall streker på sirkelen i et solur). Det vi kaller en klokke i dag er et instrument med noe som svinger (f.eks. pendelen i et pendelur, en elektronisk svingekrets, eller lysbølgen fra en veldefinert kvantemekanisk overgang) og noe som teller antall svingninger. Dagens beste tidsstandard har en nøyaktighet på under ett sekund på 30 millioner år. Det er den mest nøyaktige standarden for noen fysisk enhet vi kan måle på. Se f.eks. <http://tf.nist.gov/general/museum/847history.htm>. Vi skal i denne øvelsen bare bruke "helt vanlige" oscillatorer.

Det viktigste i denne øvelsen er å bli kjent med hvordan man utfører, analyserer og dokumenter et eksperiment. I kompendiet beskrives begrepene "riktighet", "presisjon" og "nøyaktighet". I denne øvelsen skal vi

lære å forstå forskjellen på systematiske og tilfeldige feil i et eksperiment. Alt man måler har en usikkerhet, ofte sammensatt fra flere elementer og det er viktig å vite hvordan de skal kvantifiseres. Et eksempel på hvordan man setter opp et usikkerhetsbudsjett er gitt i kompendiet.

I denne øvelsen skal vi behandle data med en enkelt variabel. Vi plotter data i et histogram som forklart i avsnitt 3.3 i Squires og forsøker å finne en fordelingsfunksjon som en tilpasning. Ofte er normalfordelingen (=Gauss-fordelingen) en god tilnærming til fordelingen av måleresultater med tilfeldig spredning, når vi har mange nok målinger.

Når vi utfører et forsøk vil vi gjøre mange like målinger og beregne gjennomsnittet. Presisjonen i våre målinger finner vi som standardavviket av gjennomsnittet. Husk å skjelne mellom standardavvik i enkelt observasjoner (standard deviation of the sample) og standardfeilen i gjennomsnittet (standard error of the mean). Side 24 i Squires og kompendiet gir en oversikt over hvordan de beregnes.

## II. LABORATORIEØVING

Vi skal måle tid på fire ulike måter: Timeglass, pendel, pendel med fotodiode og stoppeklokke (se datablad for bruksanvisning).

### 1. Forsøksoppsett

#### 1. Pendel

Hver gruppe har en aluminiumssylinder og en snor som de kan henge fast i aluminiumsklossen på bordet for å lage en pendel. Heng opp pendelen så den har en foretrukket svingeretning. Nå kan man bruke antall svingninger som et mål på tid.

## 2. Pendel med fotodiode og 20MHz klokke

I stedet for manuelt å telle pendelens svingninger kan man bruke en fotodiode til å måle når pendelen passerer et visst punkt i banen sin.

Fotodioden består av en lysdiode som sender ut IR-lys og en lysfølsom diode som gir ut 0 Volt når den mottar reflektert lys fra lysdioden og 5 Volt når den ikke mottar lys. Fotodioden krever 15 Volt drivspenning. Positiv drivspenning går til rød plugg på fotodiodeboksen; UTsignalet er på hvit plugg, og jord er på svart.

Bruk loddet som reflektor eller klistre en bit aluminiumstape så det stikker litt nedenfor loddet som reflektor. Koble et multimeter til utgangen og jord/COM fra fotodiodeboksen for å teste hvor det er best å plassere fotodioden i forhold til reflektoren på pendelen. Koble så måleledningene fra akvisisjonsboksen til fotodioden: ledningen fra AI0 (inngang 15) til UTsignalet, og AI GND (inngang 28) til jord.

Last ned *svingeperiode.m*, *initDaqSession.m*, og *initADchannel.m* til lab-PC-en, start Matlab og åpne "*svingeperiode.m*" i editoren. Akvisisjonsboksen, NI USB-6211, er styrt av PC-en via en USB-port. Den har en intern svingekrets (20 MHz) som holder takten på når den foretar seg noe. Boksen kan gjøre en rekke ting, men i dag skal dere bare bruke en analoginngang, det vil si to kontaktpunkter der boksen måler spenningen og omformer det til et digitalt tall som er proporsjonalt med spenningen. Den kan måle spenninger opp til 250.000 ganger i sekundet. Det uttrykkes som at samplingraten er maksimalt 250 kHz. Siden taktholderen er på 20 MHz skal variasjonen i perioden mellom to samplinger være mindre enn  $5 \cdot 10^{-8}$  s. Nå kan dere sette igang pendelen og kjøre scriptet "*svingeperiode.m*" for å måle svingetiden til pendelen.

## 2. Målinger

### Vi kan nå gjøre forsøk for å sammenlikne presisjon og riktighet for de fire måter å måle tid.

#### *Forslag til forsøk:*

- Mål perioden til timeglasset i antall pendelsvingninger og med stoppeklokke.
- Mål perioden til pendelen med en stoppeklokke. Bruk mellomtidfunksjonen til å få fortløpende, gjentatte målinger.
- Mål perioden til pendelen med fotodioden
- For alle målinger angis usikkerhet. Hva er hovedfeilkildene? Hvilke er tilfeldige og hvilke er systematiske feil og hvordan påvirker det riktighet og presisjon? Hvorfor er det bra å bruke mellomtidfunksjonen på stoppeklokken?
- Mål avstanden fra opphengspunktet til massesenteret til pendelen og beregn den teoretiske svingetiden for pendelen i sekunder. Sammenlign målingene av pendelperioden med den teoretisk beregnede svingetiden til pendelen. Hva er begrensningene i den teoretiske beregningen?
- Vurder hvorvidt mellomtidene er normalfordelt for de to målingene av pendelperioden vha QQ-plott (se kompendiet, seksjon 12).
- Bruk datasettet som finnes på Canvas, *pendeldata.dat*. Dette inneholder data fra 12 repeterte forsøk utført med samme pendel og utslagsvinkel. I første kolonne er gjennomsnittlig halv periodetid, og andre kolonne har tilhørende standard error. Undersøk på samme vis som i forrige punkt fordelingen til gjennomsnittene. Hvordan kunne vi ha brukt data fra de forskjellige studentgruppene i stedet og hva er utfordringene/begrensningene?
- Prøv underveis i øvelsen å finne måter å forbedre presisjon og riktighet i våre 4 målemetoder. Skriv ideer i labjournalen og test dem ut. Eksempler: utslaget av pendelen (vinkel), samplingsfrekvens, plassering av diode, er det forskjell på hvilken vei sanden i timeglasset løper?

### 3. Labjournalen

Labjournalen må inneholde all informasjon, som dere skal bruke til å skrive labrapport. Hva ble gjort? Tegn forsøksoppstillinger eller ta bilder. Svar på alle spørsmål under punkt 2. Inkluder tabeller/grafer av målingene dere har utført.

Hva er fordeler og ulemper med de ulike metodene? Stemmer resultatene overens med teorien? Hvorfor/hvorfor ikke?

### III. UTSTYRSLISTE

- Timeglass
- Pendel (lodd, tråd, festeanordning)
- Stoppeklokke
- Fotodiode (svart liten boks)
- Måleledninger
- Meterstokk
- Spenningsforsyning
- Akvisisjonsboks NI USB-6211
- PC
- Umbrakonøkkel
- Sett med små skrutrekkere
- Håndholdt multimeter (FLUKE 75)
- Blank tape (fellesutstyr)