

# Ækvivalensprincippets Konsekvenser i Den Newtonske Mekanik

!!!Kladde!!!

En Revision af Den Newtonske Mekanik

John E. Niclasen

December 19. 2007

## Contents:

---

1. Indledning
2. Ækvivalensprincippet
3. Definition og Postulat
  - 3.1 En Mekanisk Kraft
  - 3.2 Fysikkens Ensartethed
4. Tre Situationer
5. Den Newtonske Mekanik
  - 5.1 Et Inertialsystem
  - 5.2 Konstant Kraft i et Inertialsystem
  - 5.3 Cirkulær Bevægelse i et Inertialsystem
  - 5.4 Tyngdekraften
6. Der er noget galt!
7. En Ny Forklaring
  - 7.1 Loven om Gravitationel Acceleration
  - 7.2 Gravitation er ikke en Mekanisk Kraft
  - 7.3 Den Krumme Rumtid
  - 7.4 Impuls
  - 7.5 Tyngdepotentiale
8. Eksempler
  - 8.1 Snorkraft
  - 8.2 Konisk Pendul
  - 8.3 Harmonisk Oscillator
  - 8.4 Friktion
  - 8.5 Ballon i Accelereret System
  - 8.6 Jord/Måne Systemet
9. Konklusion

## 1. Indledning

---

Det er i dette år, 2007, 100 år siden, Albert Einstein formulerede Ækvivalensprincippet. Dette princip gjorde Einstein istand til at udvikle den Generelle Relativitetsteori, som blev publiceret i 1915/1916. De to fremtrædende teorier for tyngde, der bliver undervist i på universiteter verden over, er Newtons Mekanik og Einsteins Generelle Relativitetsteori. I Newtons Mekanik opererer man med fiktive kræfter, når man skal forklare diverse situationer med accelererede koordinatsystemer, og dette fører til megen forvirring blandt elever og undervisere. Det er mit mål her at komme frem til en mere enkel forklaring på tyngde, så man kan forklare de nævnte situationer uden brug af fiktive kræfter. Jeg vil gøre dette ved at indføre Ækvivalensprincippet i den Newtonske Mekanik, og ud af dette skabe en ny mekanik, som dog ikke går så langt som den Generelle Relativitetsteori, men skal ses som en revision af Newtons Mekanik.

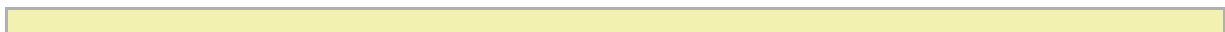
## 2. Ækvivalensprincippet

---

Dette princip blev formuleret af Einstein i 1907. Senere beskrev han selv øjeblikket som "*happiest thought of my life*", da det gik op for ham, at en observatør, der falder fra toppen af et hus, ikke kan mærke tyngdefeltet. Som en konsekvens formulerede han *Ækvivalensprincippet*:

*... we shall therefore assume the complete physical equivalence of a gravitational field and the corresponding acceleration of the reference frame.*

En dansk oversættelse lyder:



### Ækvivalensprincippet

Et referencesystem, der bevæger sig med konstant acceleration i forhold til et inertialsystem, er lokalt set identisk med et referencesystem i hvile under påvirkning af et gravitationsfelt.

Som eksempel kan man forestille sig et rumskib langt fra alle store masser, der måtte skabe tyngde. Hvis dette rumskib har motoren tændt, vil rumkabinen accelerere. Vi skal altså forestille os, at rumkabinen øger sin hastighed med konstant acceleration. Ækvivalensprincippet siger så, at denne situation er ækvivalent med en situation, hvor man er i hvile under påvirkning af tyngde, f.eks. når man står stille på Jordens overflade. At de to situationer er ækvivalente betyder, at man ikke kan foretage noget fysisk eksperiment, som afgør, om man befinder sig i den ene situation eller den anden.

En konsekvens af ækvivalensprincippet er:

### Frit fald

Et referencesystem, der bevæger sig med konstant hastighed i forhold til et inertialsystem, er lokalt set identisk med et referencesystem i frit fald under påvirkning af et gravitationsfelt.

Igen kan man forestille sig et rumskib, hvor man nu slukker for motoren. Accelerationen vil nu være nul, og rumskibet vil så ligge stille (hastighed nul) eller bevæge sig med konstant hastighed i forhold til et inertialsystem. Denne situation er som en følge af ækvivalensprincippet det samme som at falde frit under påvirkning af tyngde. Man kan altså ikke foretage noget fysisk eksperiment, som afgør, om man befinder sig i den ene eller anden situation.

## 3. Definition og Postulat

---

Ækvivalensprincippet er givet af Einstein. Det første jeg vil gøre, inden jeg indfører dette princip i den Newtonske Mekanik, er at opstille en definition og et postulat samt kigge på tre situationer.

### 3.1 En Mekanisk Kraft

#### Definition

En mekanisk kraft er en kraft, man kan måle med et Newtonmeter.

De fleste har første gang stillet bekendtskab med et Newtonmeter i fysiklokalet i grundskolen. Det er kort fortalt en fjeder med en krog i hver ende. I den ene ende hænger man f.eks. et lod, eller man sætter den fast til en klods på et bord, og ved at trække i den anden ende og dermed strække fjederen, kan man aflæse hvor mange  $N$  (måleenheden Newton), man trækker med.

### 3.2 Fysikkens Ensartethed

#### Postulat

Hvis to fysike eksperimenter giver samme resultat, kan den bagvedlæggende fysik beskrives ensartet for de to eksperimenter.

Inden for mekanikken betyder dette, at hvis vi i et eksperiment måler mekaniske kræfter med et Newtonmeter og opstiller en teori og et sæt forklaringer for dette eksperiment, så skal samme teori og samme forklaringer gælde i et andet eksperiment, hvor man måler samme mekaniske kræfter.

## 4. Tre Situationer

---

For at studere årsag og virkning af mekaniske kræfter, og dermed den bagvedlæggende fysik, vil jeg kigge på tre situationer, hvor en mekanisk kraft resulterer i acceleration af en masse:

- Konstant Kraft i et Inertialsystem. Jeg vil undersøge, hvordan en konstant kraft virker på en masse i et inertialsystem.
- Cirkulær Bevægelse i et Inertialsystem. Jeg vil undersøge, hvordan en kraft virker på en masse for at tvinge den ind i en cirkulær bevægelse i et inertialsystem.
- Tyngdekraften. Jeg vil undersøge, hvordan tyngdekraften er årsag til bevægelse nær et tungt objekt.

De to første situationer undersøger jeg, fordi det er grundlaget for forståelse af bevægelser i den Newtonske Mekanik, og enhver bevægelse kan ses som kombinationer af retlinede og cirkulære bevægelser, hvis man kigger på tilstrækkelig små tidsrum og afstande. Den 3. situation vil jeg undersøge, fordi det er her, forklaringerne går galt i den Newtonske Mekanik, så vi får brug for Einsteins Ækvivalensprincip.

## 5. Den Newtonske Mekanik

---

De ovenfor beskrevet tre situationer vil jeg først undersøge inden for rammerne af den Newtonske Mekanik. Allererst vil jeg se på, hvad et inertialsystem er.

### 5.1 Et Inertialsystem

Et inertialsystem er defineret som et system, hvor Newtons 1. lov gælder, også kaldet *inertiens lov*.

#### Newtons 1. lov

Et legeme, som ikke er påvirket af en resulterende kraft, vil enten være i hvile eller foretage en jævn retlinet bevægelse.

Sat på formel siger den første lov noget om forholdet mellem impuls og hastighed:

$$\vec{p} \equiv m\vec{v}$$

Hvis et legeme i et inertialsystem ikke bliver påvirket af en resulterende kraft, vil impulsen være konstant (den kan godt være nul). Hvis omvendt en resulterende kraft virker på sådan et legeme i et inertialsystem, så vil det ændre sin bevægelse, og Newtons 2. lov beskriver dette:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

Hvis man antager, at massen af legemet er konstant, kan Newtons 2. lov skrives som:

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

Lighedstegnet i denne sidste formel skal **ikke** forstås som, at acceleration og kraft er to sider af samme sag. Dette er vigtigt!

Newtons 3. lov siger, at enhver kraft har en lige så stor og modsat rettet kraft.

Nu har jeg, hvad jeg skal bruge til at gå igang med de tre situationer.

### 5.2 Konstant Kraft i et Inertialsystem

### 5.3 Cirkulær Bevægelse i et Inertialsystem

### 5.4 Tyngdekraften

## 6. Der er noget galt!

---

## 7. En Ny Forklaring

---

### 7.1 Loven om Gravitationel Acceleration

#### Loven om gravitationel acceleration

Et legeme, der ikke er påvirket af nogen resulterende kraft, vil accelerere mod centret af det gravitationelle potentiale.

### 7.2 Gravitation er ikke en Mekanisk Kraft

### 7.3 Den Krumme Rumtid

### 7.4 Impuls

### 7.5 Tyngdepotentiale

## 8. Eksempler

---

### 8.1 Snorkraft

### 8.2 Konisk Pendul

### 8.3 Harmonisk Oscillator

### 8.4 Friktion

### 8.5 Ballon i Accelereret System

### 8.6 Jord/Måne Systemet

## 9. Konklusion

---

Det er vanskeligt at ændre ved en populær og veletableret viden, uanset graden af rigtighed den måtte indeholde. Sådan er det med den newtonske mekanik. Men hvis vi nogensinde skal gøre os håb om at forstå tyngde fuldt ud, er vi nødt til at behandle den som det, den er. Og omvendt ikke behandle tyngden som noget, den ikke er. Einsteins *ækvivalensprincip* er gældende, og det har den konsekvens, at tyngde ikke er en mekanisk kraft, som den bliver behandlet som i den newtonske mekanik. Dette leder til en masse misforståelse og unødvendigt kompliserede forklaringer, når problemer af mekanisk art skal løses.

Ved at forkaste tyngden som en mekanisk kraft og i stedet tale udelukkende om begreber som *gravitationelt potentiale* og *tyngdeacceleration* bliver problemerne mere enkle, og det giver en bedre forståelse for, hvad tyngde egentlig er.

Einstein giver en god forklaring af tyngde som en krumning af *rumtiden* i den *generelle relativitetsteori*. I praksis har vi ofte behov for en matematisk simplere forklaring. I den nye mekanik beskrevet i dette papir, og som har taget udgangspunkt i den newtonske mekanik, kan vi beskrive det *gravitationelle potentiale* som en funktion af to variable, nemlig massen af det legeme, der er årsag til potentialet, og afstanden fra centrum af dette legeme:

$$\Phi(M, r) \equiv -G \frac{M}{r}$$

Ligeledes kan vi beskrive *tyngdeacceleration* som en funktion af samme to variable:

$$g(M, r) \equiv -G \frac{M}{r^2}$$

Dette er det samme resultat, man kommer til i den newtonske mekanik. Det nye er, at vi ikke længere beskriver tyngden som en kraft. Konsekvensen af dette kan beskrives på to måder:

*Et legeme i hvile under påvirkning af tyngde er påvirket af en resulterende kraft væk fra centrum af tyngdepotentialet.*

Dette skyldes, at situationen er *ækvivalent* med et referencesystem, der bevæger sig med konstant acceleration i forhold til et inertialsystem.

*Et legeme i frit fald under påvirkning af tyngde er ikke påvirket af nogen resulterende kraft, selvom legemet accelererer i forhold til centrum af tyngdepotentialet.*

Dette skyldes, at situationen er *ækvivalent* med et referencesystem, der ikke bliver accelereret i forhold til et inertialsystem.

Denne konsekvens gjorde, at jeg kunne formulere loven om gravitationel acceleration.