((15))

# 3 Physik

## 3.1 Mechanik

### Newton'sche Gesetze und Kräfteaddition

#### 1. Newton'sches Gesetz (Trägheitsprinzip, Trägheitsgesetz)

Unter der Bedingung

äußere Kräfte, die auf einen Körper (ein System) wirken  
 Geschwindigkeit

#### 2. Newton'sches Gesetz (Grundgleichung der Mechanik)

Kraft  
m: Masse  
 Beschleunigung  
t: Zeit  
v: Geschwindigkeit

#### 3. Newton'sches Gesetz (Reaktionsprinzip, Wechselwirkungsgesetz)

Kraft

#### Betrag der Gesamtkraft bei der Addition zweier Kräfte

Betrag der Gesamtkraft  
 Beträge der Einzelkräfte  
 Winkel zwischen den Kräften

### Kräfte der Mechanik

#### Gewichtskraft

Gewichtskraft  
m: Masse  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers

#### Radialkraft, Zentripetalkraft

Radialkraft, Zentripetalkraft  
m: Masse  
v: Bahngeschwindigkeit  
r: Radius  
 Winkelgeschwindigkeit

#### Federspannkraft (Hooke'sches Gesetz)

Federspannkraft  
D: Federhärte, Richtgröße  
s: Dehnung der Feder

#### Reibungskraft

Reibungskraft  
 Reibungszahl  
 Normalkraft

((16))

#### Newton'scher Strömungswiderstand

Widerstandskraft  
 Widerstandsbeiwert  
A: Querschnittsfläche des Körpers senkrecht zur Strömung  
 Dichte des umströmenden Mediums  
v: Relativgeschwindigkeit zwischen Körper und Medium

#### Stokes'scher Strömungswiderstand

Widerstandskraft  
 Viskosität des umströmenden Mediums  
r: Radius  
v: Geschwindigkeit

#### Auftriebskraft

Auftriebskraft  
 Dichte der Flüssigkeit/des Gases  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers  
V: vom Körper verdrängtes Volumen

### Bewegungen

#### eindimensionale Bewegungen

- mittlere Geschwindigkeit

mittlere Geschwindigkeit  
s: Ort  
t: Zeit

- momentane Geschwindigkeit

v: Geschwindigkeit  
s: Ort  
t: Zeit

- mittlere Beschleunigung

mittlere Beschleunigung  
v: Geschwindigkeit  
t: Zeit

- momentane Beschleunigung

a: Beschleunigung  
v: Geschwindigkeit  
t: Zeit

- gleichförmige Bewegung

v =konstant

s: Ort  
 Anfangsort bei t =0s  
v: Geschwindigkeit  
t: Zeit  
a: Beschleunigung

- gleichmäßig beschleunigte Bewegung

a =konstant

s: Ort  
 Anfangsort bei t =0s  
a: Beschleunigung  
t: Zeit  
 Anfangsgeschwindigkeit bei t =0s  
v: Geschwindigkeit

((17))

- beliebig beschleunigte Bewegung

s: Ort  
 Anfangsort bei   
v: Geschwindigkeit  
t: Zeit  
 Anfangsgeschwindigkeit bei   
a: Beschleunigung

#### gleichförmige Kreisbewegung

Winkelgeschwindigkeit  
 überstrichener Winkel  
 benötigte Zeit  
T: Umlaufdauer  
f: Frequenz  
v: Bahngeschwindigkeit  
r: Radius  
 Radialbeschleunigung

#### Wurfbewegungen

- senkrechter Wurf

y: Ort  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers  
t: Zeit  
 Anfangsgeschwindigkeit bei t =0s  
 Anfangsort bei t =0s  
 vertikale Geschwindigkeit  
 vertikale Beschleunigung

- waagerechter Wurf

x: x-Koordinate des Ortes  
 horizontale Anfangsgeschwindigkeit bei t =0s  
t: Zeit  
y: y-Koordinate des Ortes  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers  
 y-Koordinate des Ortes bei t =0s  
 Geschwindigkeitskomponente  
 Beschleunigungskomponente

- schräger Wurf

x: x-Koordinate des Ortes  
 Anfangsgeschwindigkeit bei t =0s  
t: Zeit  
 Abwurfwinkel  
y: y-Koordinate des Ortes  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers  
 y-Koordinate des Ortes bei t =0s  
 Geschwindigkeitskomponente  
 Beschleunigungskomponente

((18))

### Dichte und Druck

#### Dichte

m: Masse  
V: Volumen

#### Druck

p: Druck  
 Kraftkomponente senkrecht auf A  
A: Flächeninhalt

#### Schweredruck in Flüssigkeiten

p: Druck  
 Dichte der Flüssigkeit  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers  
h: Höhe der Flüssigkeitssäule

### Kraftumformende Einrichtungen

#### schiefe Ebene

Hangabtriebskraft  
 Gewichtskraft  
 Neigungswinkel der Ebene gegenüber der Horizontalen  
 Normalkraft  
h: Höhe der schiefen Ebene  
l: Länge der schiefen Ebene

#### Hebelgesetz

M: Drehmoment  
F: Kraft auf Hebelarm  
l: Länge des Hebelarms

#### Rollen, (lineare) Flaschenzüge

Zug- bzw. Lastkraft  
 Zug- bzw. Lastweg  
n: Anzahl der tragenden Seile/Seilstücke

### Mechanische Energie

#### kinetische Energie der Translation (Bewegungsenergie)

E: Energie  
m: Masse  
v: Geschwindigkeit

#### kinetische Energie der Rotation (Rotationsenergie)

E: Energie  
J: Trägheitsmoment  
 Winkelgeschwindigkeit

#### potenzielle Energie im homogenen Gravitationsfeld (Lageenergie)

E: Energie  
 Gewichtskraft  
h: Höhe des Körpers über dem Bezugspunkt  
m: Masse  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor)

((19))

#### Energie einer idealen (Hooke'schen) Feder (Spannenergie)

E: Energie  
D: Federhärte, Richtgröße  
s: Dehnung der Feder

### Mechanische Arbeit

#### mechanische Arbeit

W: Arbeit  
 Energiedifferenz

#### Zusammenhang zwischen Arbeit, Kraft und zurückgelegtem Weg

- Für F =konstant und

W: Arbeit  
 Energiedifferenz  
F: Kraft  
s: Ort

- Wenn die Kraft- und Wegvektoren den Winkel einschließen, gilt für F =konstant:

W: Arbeit  
 Energiedifferenz  
F: Kraft  
s: Ort  
 Winkel zwischen und

- Für eine vom Ort s abhängige Kraft gilt unter der Bedingung :

W: Arbeit  
 Energiedifferenz  
F: Kraft  
s: Ort

### Leistung und Wirkungsgrad

#### mittlere Leistung (Energiestromstärke)

mittlere Leistung (Energiestromstärke)  
E: Energie  
t: Zeit

#### momentane Leistung (Energiestromstärke)

P(t) =F \*v(t)

P: Leistung (Energiestromstärke)  
E: Energie  
t: Zeit  
F: Kraft  
v: Geschwindigkeit

#### Wirkungsgrad

Wirkungsgrad  
 Betrag der abgegebenen, genutzten Leistung  
 Betrag der aufgewandten, zugeführten Leistung  
 Betrag der abgegebenen, genutzten Energie  
 Betrag der aufgewandten, zugeführten Energie

((20))

### Energieerhaltungssatz

Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems  
 Einzelenergien innerhalb des Systems

### Gravitation

#### Newton'sches Gravitationsgesetz

Gravitationskraft  
G: Gravitationskonstante  
 Massen  
r: Abstand der Massen

#### potenzielle Energie im Gravitationsfeld

E: Energie  
G: Gravitationskonstante  
 Massen  
r: Abstand der Massen

#### Gravitationsfeldstärke

g: Gravitationsfeldstärke  
 Gravitationskraft  
m: Masse des Probekörpers

### Impuls

#### Impuls eines Körpers

Impuls  
m: Masse  
 Geschwindigkeit  
 Kraft  
t: Zeit

#### Impulserhaltungssatz

Gesamtimpuls eines abgeschlossenen Systems  
 Einzelimpulse des Systems

#### Drehimpuls eines Körpers

L: Drehimpuls  
J: Trägheitsmoment  
 Winkelgeschwindigkeit

#### Drehimpulserhaltungssatz

Gesamtdrehimpuls eines abgeschlossenen Systems  
 Einzeldrehimpulse des Systems

((21))

### Rotation starrer Körper

#### Drehmoment

Unter der Bedingung gilt:

M =r \*F

M: Drehmoment  
r: Radius  
F: Kraft

#### Trägheitsmoment

J: Trägheitsmoment  
 Masse des i-ten Massenpunkts  
 Abstand des i-ten Massenpunkts von der Drehachse

### Zentrale gerade Stöße

#### vollkommen unelastischer Stoß

Geschwindigkeit nach dem Stoß:

u: gemeinsame Geschwindigkeit nach dem Stoß  
 Massen der Stoßpartner  
 Geschwindigkeiten der Stoßpartner vor dem Stoß

#### vollkommen elastischer Stoß

Geschwindigkeit nach dem Stoß:

Geschwindigkeiten der Stoßpartner nach dem Stoß  
 Massen der Stoßpartner  
 Geschwindigkeiten der Stoßpartner vor dem Stoß

### Schwingungen

#### beschreibende Größen der Schwingung

T: Periodendauer  
f: Frequenz  
n: Anzahl der Perioden  
t: Zeit  
 Kreisfrequenz

#### mechanische harmonische Schwingungen

- Kraftgesetz der harmonischen Schwingung

Kraft  
D: Richtgröße, z. B. Federhärte  
 Auslenkung

- Bewegungsgleichungen der ungedämpften harmonischen Schwingung

Bei Vorliegen eines Nullphasenwinkels gilt:

s: Auslenkung, Elongation  
 Amplitude  
 Kreisfrequenz  
t: Zeit  
 Nullphasenwinkel  
v: Geschwindigkeit  
a: Beschleunigung

((22))

- Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen Schwingung

s: Auslenkung  
D: Richtgröße, z. B. Federhärte  
m: Masse

- gedämpfte harmonische Schwingung (geschwindigkeitsproportionale, schwache Dämpfung)

Für einen bei t =0s ausgelenkten Schwinger gilt:

mit:

s: Auslenkung  
 Anfangsamplitude  
 : Abklingkoeffizient  
t: Zeit  
 Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung  
 Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung

- Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen Schwingung

s: Auslenkung  
 Abklingkoeffizient  
D: Richtgröße, z. B. Federhärte  
m: Masse

#### Periodendauer von Pendeln

- Federpendel

T: Periodendauer  
m: Masse  
D: Federhärte, Richtgröße

- Fadenpendel (in Kleinwinkelnäherung)

T: Periodendauer  
l: Pendellänge  
g: Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort der Schwingung

### Wellen

#### Ausbreitungsgeschwindigkeit

c: Ausbreitungsgeschwindigkeit  
 Wellenlänge  
f: Frequenz

#### harmonische Welle

- Wellenfunktion der harmonischen Welle

)

y: Auslenkung  
 Amplitude  
t: Zeit  
T: Periodendauer  
x: Ort  
 Wellenlänge

((23))

- Differenzialgleichung der harmonischen Welle

y: Auslenkung  
x: Ort  
t: Zeit  
c: Ausbreitungsgeschwindigkeit

- Wellenfunktion einer stehenden harmonischen Welle

y: Auslenkung  
x: Ort  
t: Zeit  
 Amplitude der einander entgegenlaufenden Wellen  
 Wellenlänge  
T: Periodendauer

- stehende Wellen bei zwei festen (zwei losen) Enden

Grundschwingung: k =0

Oberschwingungen: k =1, 2, 3, ...

Wellenlänge  
l: Länge des Wellenträgers

- stehende Wellen bei einem festen und einem losen Ende

Grundschwingung: k =0

Oberschwingungen: k =1, 2, 3, ...

Wellenlänge;  
l: Länge des Wellenträgers

### Akustik

#### akustischer Dopplereffekt bei bewegtem Sender und bewegtem Empfänger

für Annäherung:

für Entfernungszunahme:

vom Empfänger gemessene Frequenz  
 vom Sender abgestrahlte Frequenz  
c: Schallgeschwindigkeit  
 Geschwindigkeit des Empfängers  
 Geschwindigkeit der Schallquelle

#### Schalldruck

Gesamtdruck  
 Normaldruck im Medium (konstant)  
p: Schalldruckamplitude  
 Kreisfrequenz  
t: Zeit

#### Intensität einer Schallwelle in einem verlustfreien akustischen Medium

I: Schallintensität  
P: Schallleistung  
A: Flächeninhalt  
p: Schalldruck  
 Dichte des Mediums  
c: Schallgeschwindigkeit im Medium

((24))

#### Schallintensitätspegel

mit:

Schallintensitätspegel  
I: Schallintensität  
 Bezugswert der Schallintensität

#### Schalldruckpegel

mit:

Schalldruckpegel  
 Bezugswert des Schalldrucks  
 Effektivwert des Schalldrucks

## 3.2 Elektrizitätslehre und Magnetismus

### Stromstärke, Spannung, Widerstand, Ladung

#### mittlere elektrische Stromstärke

mittlere elektrische Stromstärke  
Q: elektrische Ladung  
t: Zeit

#### momentane elektrische Stromstärke und elektrische Ladung

I: elektrische Stromstärke  
Q: elektrische Ladung  
t: Zeit

#### elektrischer Widerstand

R: elektrischer Widerstand  
U: elektrische Spannung  
I: elektrische Stromstärke

#### Widerstand eines elektrischen Leiters

R: elektrischer Widerstand  
 spezifischer Widerstand  
l: Länge des Leiters  
A: Querschnittsfläche des Leiters

### Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

#### Reihenschaltung

Gesamtstromstärke  
 Einzelstromstärken  
 Gesamtspannung  
 Einzelspannungen  
 Gesamtwiderstand  
 Einzelwiderstände

((25))

#### Parallelschaltung

Gesamtstromstärke  
 Einzelstromstärken  
 Gesamtspannung  
 Einzelspannungen  
 Gesamtwiderstand  
 Einzelwiderstände

### Kirchhoff'sche Gesetze

#### 1. Kirchhoff'sches Gesetz (Knotenregel)

I\_{zu}: Stärken der in den Knoten zufließenden Ströme  
I\_{ab}: Stärken der aus dem Knoten abfließenden Ströme

#### 2. Kirchhoff'sches Gesetz (Maschenregel)

Einzelspannungen in einer Masche

### Elektrische Leistung und Energie

#### elektrische Leistung

P =U \*I

P: elektrische Leistung  
U: elektrische Spannung  
I: elektrische Stromstärke

#### elektrisch übertragene Energie

E: Energie  
P: elektrische Leistung  
t: Zeit

#### Energiedifferenz eines geladenen Teilchens beim Durchlaufen einer elektrischen Spannung

E: Energie  
q: Ladung des Teilchens  
U: elektrische Spannung

### Elektrisches Feld

#### Kraft zwischen Punktladungen (Coulomb'sches Gesetz)

Coulomb-Kraft  
: elektrische Feldkonstante  
 Dielektrizitätszahl  
 Ladungen  
r: Abstand der Ladungen voneinander

((26))

#### elektrische Feldstärke

- allgemein:

- Im homogenen Feld eines Plattenkondensators gilt:

- Im Radialfeld einer Punktladung gilt:

E: elektrische Feldstärke  
 elektrische Kraft  
q: Probeladung  
U: elektrische Spannung  
d: Abstand der Kondensatorplatten  
 elektrische Feldkonstante  
 Dielektrizitätszahl  
Q: felderzeugende Ladung  
r: Abstand von der Ladung Q

#### elektrische Flussdichte

D: elektrische Flussdichte  
 elektrische Feldkonstante  
 Dielektrizitätszahl  
E: elektrische Feldstärke im Vakuum

#### Flächenladungsdichte

Flächenladungsdichte  
Q: Ladung  
A: Fläche  
 elektrische Feldkonstante  
 Dielektrizitätszahl  
E: elektrische Feldstärke im Vakuum

#### Potenzial im elektrischen Feld

- allgemein:

- Im homogenen Feld eines Plattenkondensators gilt:

- Im Radialfeld einer punktförmigen Ladung gilt:

elektrisches Potenzial  
E: Energie  
q: Probeladung  
 elektrische Feldkonstante  
 Dielektrizitätszahl  
U: elektrische Spannung  
d: Abstand der Kondensatorplatten  
s: Abstand von der negativen Platte  
Q: felderzeugende Ladung  
r: Abstand von der Ladung Q

#### elektrische Spannung als Potenzialdifferenz

U: elektrische Spannung zwischen den Orten und   
 elektrisches Potenzial am Ort 1 bzw. 2

### Wechselstromkreis

#### Spannung im Wechselstromkreis

- Für eine sinusförmige Wechselspannung gilt:

U: Momentanwert der elektrischen Spannung  
 Scheitelwert der elektrischen Spannung  
 Kreisfrequenz  
t: Zeit  
 Effektivwert der elektrischen Spannung

((27))

#### Stromstärke im Wechselstromkreis

- Für einen sinusförmigen Wechselstrom bei der Wechselspannung

U: Momentanwert der elektrischen Spannung  
7 Scheitelwert der elektrischen Spannung  
I: Momentanwert der elektrischen Stromstärke  
 Scheitelwert der elektrischen Stromstärke  
 Kreisfrequenz  
t: Zeit  
 Phasenverschiebung zwischen U und I  
 Effektivwert der elektrischen Stromstärke

#### Widerstände im Wechselstromkreis

- kapazitiver und induktiver Widerstand im Wechselstromkreis

Für eine sinusförmige Wechselspannung gilt:

mit:

Am Kondensator eilt der Strom der Spannung voraus.

An der Spule läuft der Strom der Spannung nach.

kapazitiver Widerstand  
 Kreisfrequenz  
C: Kapazität  
 induktiver Widerstand  
L: Induktivität  
 Phasenverschiebung zwischen U und I

- Reihenschaltung aus kapazitivem, induktiven und Ohm'schen Widerstand

Z: Impedanz (Scheinwiderstand)  
R: Ohm'scher Widerstand  
 induktiver Widerstand  
 kapazitiver Widerstand

#### Leistung im Wechselstromkreis

Scheinleistung  
 Effektivwert der elektrischen Spannung  
 Effektivwert der elektrischen Stromstärke  
 Wirkleistung  
 Phasenverschiebung zwischen U und I  
 Blindleistung

((28))

### Kondensator

#### Kapazität eines Kondensators

Für den Plattenkondensator gilt:

C: Kapazität des Kondensators  
Q: Ladung des Kondensators  
U: elektrische Spannung  
 elektrische Feldkonstante  
 Dielektrizitätszahl  
A: Flächeninhalt einer Platte  
d: Abstand der Kondensatorplatten

#### Energie des geladenen Kondensators (elektrische Feldenergie)

E: Energie  
C: Kapazität des Kondensators  
U: elektrische Spannung

#### Aufladen und Entladen eines Kondensators über einen Ohm'schen Widerstand

- Aufladen eines Kondensators:

- Entladen eines Kondensators:

elektrische Spannung am Kondensator  
 Quellenspannung beim Aufladen bzw. elektrische Spannung am Kondensator zu Beginn des Entladevorgangs  
t: Zeit  
R: Ohm'scher Widerstand  
C: Kapazität des Kondensators  
I: elektrische Stromstärke  
 elektrische Stromstärke zu Beginn des Auf- bzw. Entladevorgangs  
Q: Ladung des Kondensators  
 Ladung des Kondensators am Ende des Aufladevorgangs bzw. zu Beginn des Entladevorgangs

#### Differenzialgleichung zur Beschreibung des Aufladevorgangs

Q: Ladung des Kondensators  
R: Ohm'scher Widerstand  
C: Kapazität des Kondensators  
 Quellenspannung beim Aufladen  
t: Zeit

#### Differenzialgleichung zur Beschreibung des Entladevorgangs

Q: Ladung des Kondensators  
R: Ohm'scher Widerstand  
C: Kapazität des Kondensators  
t: Zeit

((29))

#### Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren

- Reihenschaltung:

- Parallelschaltung:

Gesamtladung  
 Einzelladungen  
 Gesamtspannung  
 Einzelspannungen  
 Gesamtkapazität  
 Einzelkapazitäten

### Magnetisches Feld

#### magnetische Flussdichte

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

B: magnetische Flussdichte  
F: Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter  
I: elektrische Stromstärke  
s: wirksame Länge des Leiters im Magnetfeld  
 magnetische Feldkonstante  
 Permeabilitätszahl des Mediums  
r: Abstand vom Leiter  
N: Windungszahl der Spule  
l: Länge der Spule

#### magnetische Feldstärke

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

H: magnetische Feldstärke  
N: Windungszahl der Spule  
l: Länge der Spule  
I: elektrische Stromstärke  
r: Abstand vom Leiter

#### Lorentz-Kraft auf bewegte Ladungsträger

allgemein:

Unter der Bedingung gilt:

Lorentz-Kraft  
q: Ladung  
v: Geschwindigkeit  
B: magnetische Flussdichte  
 Winkel zwischen Geschwindigkeit und magnetischer Flussdichte

((30))

#### Hall-Spannung

<Bild>Ein elektrischer Strom fließt von links nach rechts durch ein quaderförmiges Plättchen mit Breite b und Dicke d. Das Plättchen wird von vorne nach hinten senkrecht zur Stromrichtung und parallel zur Oberseite von einem Magnetfeld mit magnetischer Flussdichte B durchdrungen. Zwischen der Oberseite und der Unterseite des Plättchens wird eine Spannung gemessen.  
</Bild>

Hall-Spannung  
 Hall-Konstante  
I: elektrische Stromstärke durch das Plättchen  
B: magnetische Flussdichte  
d: Dicke des Plättchens  
b: Breite des Plättchens  
v: Geschwindigkeit der Ladungsträger durch das Plättchen  
n: Ladungsträgerdichte  
q: Ladung des Ladungsträgers

### Induktion

#### magnetischer Fluss

<Bild>Eine Fläche A steht im Winkel zu einer wirksamen Fläche   
Ein senkrecht zu stehendes Magnetfeld mit Flussdichte B durchdringt beide Flächen.  
</Bild>

magnetischer Fluss  
B: magnetische Flussdichte  
 wirksamer Flächeninhalt  
A: Flächeninhalt  
 Winkel zwischen Fläche und wirksamer Fläche

#### Induktionsgesetz

- Für eine Leiterschleife gilt:

- Für eine Spule gilt:

- Induktion durch Änderung der magnetischen Flussdichte bei :

- Induktion durch Änderung des wirksamen Flächeninhalts bei B =konstant:

- Induktionsspannung am bewegten Leiter im homogenen Magnetfeld:

Unter der Bedingung gilt:

induzierte Spannung  
 magnetischer Fluss  
t: Zeit  
N: Windungszahl der Spule  
 wirksamer Flächeninhalt  
B: magnetische Flussdichte  
l: wirksame Länge des Leiters  
v: Geschwindigkeit des Leiters

((31))

### Transformator

#### Verhältnis der Spannungen eines unbelasteten idealen Transformators

elektrische Spannung an der felderzeugenden Spule (Primärspule)  
 elektrische Spannung an der Induktionsspule (Sekundärspule)  
 Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule)  
 Windungszahl der Induktionsspule (Sekundärspule)

#### Verhältnis der Ströme eines stark belasteten idealen Transformators (Kurzschlussfall)

elektrische Stromstärke durch die felderzeugende Spule (Primärspule)  
 elektrische Stromstärke durch die Induktionsspule (Sekundärspule)  
 Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule)  
 Windungszahl der Induktionsspule (Sekundärspule)

### Spule

#### Induktivität einer langgestreckten Spule

L: Induktivität  
 magnetische Feldkonstante  
 Permeabilitätszahl des Mediums  
N: Windungszahl der Spule  
A: Querschnittsfläche der Spule  
l: Länge der Spule

#### Selbstinduktionsspannung einer Spule

allgemein:

induzierte Spannung  
L: Induktivität  
I: elektrische Stromstärke  
t: Zeit

#### Energie der stromdurchflossenen Spule (magnetische Feldenergie)

E: Energie  
L: Induktivität  
I: elektrische Stromstärke

((32))

#### Schaltvorgänge an einer Spule

Einschaltvorgang:

Ausschaltvorgang:

I: elektrische Stromstärke  
 elektrische Stromstärke durch die Spule am Ende bzw. zu Beginn des Schaltvorgangs  
R: Ohm'scher Widerstand  
L: Induktivität der Spule  
t: Zeit

#### Differenzialgleichung zur Beschreibung des Ausschaltvorgangs

I: Stromstärke  
t: Zeit  
R: Ohm'scher Widerstand  
L: Induktivität der Spule

#### Differenzialgleichung zur Beschreibung des Einschaltvorgangs

I: Stromstärke  
t: Zeit  
R: Ohm'scher Widerstand  
L: Induktivität der Spule  
 Quellenspannung beim Einschalten

### Elektromagnetische Schwingungen

#### Periodendauer einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung im Schwingkreis (Thomson'sche Schwingungsgleichung)

T: Periodendauer  
L: Induktivität  
C: Kapazität

#### Schwingungsgleichungen der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

Für einen bei t =0s geladenen Kondensator gilt:

U: elektrische Spannung;  
 maximale auftretende elektrische Spannung  
 Kreisfrequenz  
t: Zeit  
I: elektrische Stromstärke  
 maximale auftretende elektrische Stromstärke  
Q: Ladung des Kondensators  
 maximale Ladung des Kondensators

#### Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

Q: Ladung des Kondensators  
t: Zeit  
L: Induktivität  
C: Kapazität

((33))

#### gedämpfte harmonische elektromagnetische Schwingung (Schwingfall)

Für einen bei t =0 s geladenen Kondensator gilt:

Q: Ladung des Kondensators  
 maximale Ladung des Kondensators  
 Abklingkoeffizient  
t: Zeit  
 Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung  
 Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung

#### Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

Q: Ladung des Kondensators  
t: Zeit  
 Abklingkoeffizient  
L: Induktivität  
C: Kapazität  
R: Ohm'scher Widerstand

#### Grundfrequenz eines Dipols

f: Frequenz  
c: Ausbreitungsgeschwindigkeit  
l: Länge des Dipols

### Elektromagnetische Wellen

#### Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum

c: Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum  
 magnetische Feldkonstante  
 elektrische Feldkonstante

#### Intensität ungedämpfter elektromagnetischer Wellen

I: Intensität  
P: Leistung  
A: Flächeninhalt  
c: Ausbreitungsgeschwindigkeit  
 elektrische Feldkonstante  
 maximale elektrische Feldstärke des elektrischen Felds der Welle  
 magnetische Feldkonstante  
 maximale magnetische Flussdichte des magnetischen Felds der Welle

((34))

## 3.3 Optik

### Geometrische Optik

#### Reflexionsgesetz

Einfallswinkel  
 Reflexionswinkel

#### Brechung

- Brechungsgesetz

<Bild>Ein einfallender Strahl trifft im optischen Medium mit Brechzahl unter dem Winkel zum Lot (Einfallswinkel) auf eine Grenzfläche, an die sich ein optisches Medium mit Brechzahl anschließt. Beim Übergang in das optische Medium mit Brechzahl ändert der Strahl seine Richtung. Der gebrochene Strahl geht im optischen Medium im Winkel zum Lot (Brechungswinkel) weiter, wobei gilt.  
</Bild>

Einfallswinkel  
 Brechungswinkel  
 Brechzahlen der optischen Medien  
 Lichtgeschwindigkeiten in den optischen Medien

- Brechzahl

n: Brechzahl des optischen Mediums  
 Vakuumlichtgeschwindigkeit  
 Lichtgeschwindigkeit im optischen Medium

- Grenzwinkel der Totalreflexion

Grenzwinkel der Totalreflexion  
 Brechzahlen der optischen Medien

#### Abbildungsgleichung für dünne Linsen und für Spiegel

f: Brennweite  
g: Gegenstandsweite  
b: Bildweite

#### Abbildungsmaßstab für dünne Linsen und für Spiegel

A: Abbildungsmaßstab  
B: Bildgröße  
G: Gegenstandsgröße  
b: Bildweite  
g: Gegenstandsweite

((35))

### Wellenoptik

#### Interferenz

- Doppelspalt

Für Maxima gilt:

k =0, 1, 2, ...

Für Minima gilt:

k =1, 2, 3, ...

Wellenlänge  
g: Spaltmittenabstand  
 Winkel, unter dem das Maximum bzw. Minimum k-ter Ordnung erscheint

- Gitter

Für Hauptmaxima gilt:

k =0, 1, 2, ...

Wellenlänge  
g: Spaltmittenabstand  
 Winkel, unter dem das Hauptmaximum k-ter Ordnung erscheint

- Einzelspalt

Für Minima gilt:

k =1, 2, 3, ...

Für Maxima ab der ersten Ordnung gilt (Näherung):

k =1, 2, 3, ...

Wellenlänge  
d: Spaltbreite  
 Winkel, unter dem das Maximum bzw. Minimum k-ter Ordnung erscheint

#### Bragg-Beziehung

k =1, 2, 3, ...

d: Netzebenenabstand  
 Glanzwinkel (zur Netzebene)  
 Wellenlänge

#### Rayleigh'sches Kriterium der Auflösung

Wellenlänge  
d: Durchmesser der Öffnung  
 kritischer Winkel, bei dem die beiden Quellen gerade noch getrennt wahrgenommen werden

((36))

#### Durchlässigkeit beim linearen Polarisationsfilter

I: Intensität der durchgelassenen Welle  
 Intensität der einlaufenden Welle  
 Winkel zwischen der Schwingungsrichtung des einfallenden Lichts und der Polarisationsachse des Filters

#### Brewster-Gesetz zur Polarisation des Lichts, senkrecht zur Zeichenebene

<Bild>Ein einfallender Strahl trifft im optischen Medium mit Brechzahl im Winkel zum Lot (Polarisations-/Einfallswinkel) auf eine Grenzfläche, an die sich ein optisches Medium mit Brechzahl anschließt.  
Von der Stelle, an der der einfallende Strahl die Grenzfläche trifft, gehen zwei Strahlen aus:  
Der reflektierte Strahl bleibt im optischen Medium und verlässt die Grenzfläche unter dem Winkel zum Lot.  
Der gebrochene Strahl im Medium mit der Brechzahl verläuft unter einem kleineren Winkel zum Lot.  
Dabei stehen der reflektierte Strahl und der gebrochene Strahl im rechten Winkel zueinander.  
</Bild>

Polarisationswinkel (Einfallswinkel)  
 Lichtgeschwindigkeit im optischen Medium  
 Brechzahlen der optischen Medien

## 3.4 Quantenphysik und Materie

### Quantenobjekte

#### Energie eines Photons

E =h \*f

E: Energie  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
f: Frequenz des Photons

#### Energiebilanz beim Fotoeffekt

maximale kinetische Energie der Fotoelektronen  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
f: Frequenz des Photons  
 Auslösearbeit

#### Impuls eines Photons

p: Impuls  
E: Energie  
c: Lichtgeschwindigkeit

#### Wellenlänge eines Quantenobjekts (de-Broglie-Wellenlänge)

Wellenlänge  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
p: Impuls des Quantenobjekts

((37))

#### Compton-Effekt

Änderung der Wellenlänge  
 Compton-Wellenlänge  
 Streuwinkel (Winkel zwischen der Richtung des eingestrahlten und der Richtung des gestreuten Photons)  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
m: Masse des Quantenobjekts  
c: Lichtgeschwindigkeit

#### Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation

Ortsunbestimmtheit  
 Impulsunbestimmtheit  
h: Planck'sches Wirkungsquantum

#### Energie-Zeit-Unbestimmtheitsrelation

Energieunbestimmtheit  
 Zeitunbestimmtheit  
h: Planck'sches Wirkungsquantum

#### zeitunabhängige Schrödingergleichung

n =1, 2, 3, ...

Lösung für den Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden:

für 0 <x <L,

sonst:

Wellenfunktion  
m: Masse  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
x: Ort  
 potenzielle Energie  
 Energiewerte  
 Normierungsfaktor  
L: Länge des Potenzialtopfes

### Atomhülle

#### Frequenzbedingung für Übergänge zwischen den diskreten Energieniveaus

n, m =1, 2, 3, ...

h: Planck'sches Wirkungsquantum  
f: Frequenz  
 Energieniveaus  
 Energiedifferenz

#### Spektrallinien des Wasserstoffatoms

n, m =1, 2, 3, ...

m >n

f: Frequenz  
c: Vakuumlichtgeschwindigkeit  
 Rydberg-Konstante des Wasserstoffatoms

((38))

#### Energieniveaus des Wasserstoffatoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)

n =1, 2, 3, ...

Energieniveau des Wasserstoffatoms  
 Elektronenmasse  
e: Elementarladung  
 elektrische Feldkonstante  
h: Planck'sches Wirkungsquantum

#### Energieniveaus eines Ein-Elektronen-Atoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)

n =1, 2, 3, ...

Energieniveau eines Ein-Elektronen-Atoms  
 Elektronenmasse  
e: Elementarladung  
 elektrische Feldkonstante  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
Z: Ordnungszahl

#### Moseley-Gesetz für die -Linie eines Röntgenspektrums

Energie des beim Übergang emittierten Photons  
Z: Ordnungszahl

#### Energie im eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden

n =1, 2, 3, ...

Im Inneren gilt:

Energieniveau  
h: Planck'sches Wirkungsquantum  
m: Masse des Quantenobjekts  
L: Länge des Potenzialtopfes

#### Materiewellenlänge bei stationären Zuständen im eindimensionalen Potenzialtopf

n =1, 2, 3, ...

Materiewellenlänge  
L: Länge des Potenzialtopfs

## 3.5 Wärmelehre

### Grundgleichung der Wärmelehre

Q: aufgenommene bzw. abgegebene Wärme  
E: Energie  
c: spezifische Wärmekapazität  
m: Masse  
T: Temperatur

### Entropieänderung

S: Entropie  
 reversibel aufgenommene bzw. abgegebene Wärme  
T: Temperatur

((39))

### Hauptsätze der Wärmelehre

#### 1. Hauptsatz

U: innere Energie  
Q: Wärme  
W: Arbeit

#### 2. Hauptsatz

S: Entropie

### Zustandsgleichung für ideale Gase

p: Druck  
V: Volumen  
T: Temperatur

### Thermisches Verhalten von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen

#### Aggregatzustandsänderungen

- Verdampfungswärme

Verdampfungswärme  
 spezifische Verdampfungswärme  
m: Masse

- Schmelzwärme

Schmelzwärme  
 spezifische Schmelzwärme  
m: Masse

#### Wärmeleitung

Q: Wärme  
E: Energie  
 Wärmeleitfähigkeitskoeffizient  
A: Flächeninhalt  
T: Temperatur  
d: Dicke/Länge des Körpers  
t: Zeit

#### Thermische Längenänderung

l: Länge  
 Längenausdehnungskoeffizient  
 Ausgangslänge  
T: Temperatur

#### Thermische Volumenänderung

V: Volumen  
 Volumenausdehnungskoeffizient  
 Ausgangsvolumen  
T: Temperatur

((40))

## 3.6 Spezielle Relativitätstheorie

### Galilei-Transformation

x' =x -v \*t

y' =y

z' =z

t' =t

x =x' +v \*t

y =y'

z =z'

t =t'

x, y, z: Koordinaten im Inertialsystem S  
x', y', z': Koordinaten im Inertialsystem S'  
t, t': Zeiten in den jeweiligen Systemen  
v: Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S'

### Lorentz-Faktor

Lorentz-Faktor  
v: Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S'  
c: Lichtgeschwindigkeit

### Lorentz-Transformation

x' = \*(x -v \*t)

y' =y

z' =z

t' =

x = \*(x' +v \*t')

y =y'

z =z'

t =

x, y, z: Koordinaten im Inertialsystem S  
x', y', z': Koordinaten im Inertialsystem S'  
t, t': Zeiten in den jeweiligen Systemen  
v: Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S' zueinander  
 Lorentz-Faktor  
c: Lichtgeschwindigkeit

### Zeitdilatation

Zeitdauer, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S für einen Vorgang misst  
 Lorentz-Faktor  
 Zeitdauer, in der im dazu mit der Relativgeschwindigkeit v bewegten Bezugssystem S' ein Vorgang abläuft

### Längenkontraktion

l: Länge eines im bewegten Bezugssystem S' ruhenden Stabes, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S misst;  
 Länge eines im bewegten Bezugssystem S' ruhenden Stabes, im bewegten Bezugssystem S' gemessen  
 Lorentz-Faktor

((41))

### Impuls

p: Impuls  
 Lorentz-Faktor  
m: Masse  
v: Geschwindigkeit

### Energie

E: Energie  
 Lorentz-Faktor  
m: Masse  
c: Lichtgeschwindigkeit  
 Ruheenergie  
 kinetische Energie

### Energie-Impuls-Beziehung

E: Energie  
c: Lichtgeschwindigkeit  
p: Impuls  
 Ruheenergie

## 3.7 Kernphysik

### Nukleonen

A =Z +N

A: Nukleonenzahl, Massenzahl  
N: Neutronenzahl  
Z: Protonenzahl, Kernladungszahl

### Freisetzung von

A: Massenzahl  
Z: Protonenzahl, Kernladungszahl  
X, Y: Elementsymbol  
X\*: angeregtes Nuklid  
 Elektron-Antineutrino  
 Elektron-Neutrino

### Aktivität einer radioaktiven Substanz

A: Aktivität  
N: Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne  
 Zerfallskonstante

((42))

### Zerfallsgesetz

mit:

N: Anzahl der zur Zeit t noch nicht zerfallenen Kerne  
 Anzahl der ursprünglich vorhandenen Kerne  
 Zerfallskonstante  
t: Zeit  
 Halbwertszeit

### Absorptionsgesetz

z: Zählrate (hinter einem Absorber der Dicke d)  
 Zählrate (ohne Absorber, gleicher Ort)  
 Schwächungskoeffizient  
 Halbwertsdicke

### Energiedosis

D: Energiedosis  
E: aufgenommene Energie  
m: Masse

### Äquivalentdosis

H =D \*q

H: Äquivalentdosis  
D: Energiedosis  
q: Qualitätsfaktor

### Effektive Dosis

E: Effektive Dosis  
 Gewebe-Wichtungsfaktoren  
 Organ-Äquivalentdosen

### Bindungsenergie des Kerns

mit:

Bindungsenergie  
 Massendefekt  
c: Lichtgeschwindigkeit  
Z: Protonenzahl, Kernladungszahl  
 Protonenmasse  
N: Neutronenzahl  
 Neutronenmasse  
 Kernmasse

### Freiwerdende Energie bei Kernreaktionen (Q-Wert)

Q: Q-Wert der Kernreaktion  
E: Energie  
 Masse vor der Kernreaktion  
 Masse nach der Kernreaktion  
c: Lichtgeschwindigkeit  
 Kernradius  
A: Massenzahl

((43))

## 3.8 Astrophysik

### Kepler'sche Gesetze

#### 1. Kepler'sches Gesetz

Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

<Bild>Die Planeten P bewegen sich auf Ellipsenbahnen um die Sonne, die in einem ihrer Brennpunkte bzw. steht.  
Der Abstand eines Brennpunkts zum Schnittpunkt der beiden Symmetrieachsen der Ellipse mit großer Halbachse a und kleiner Halbachse b wird als lineare Exzentrizität e bezeichnet.  
Ein Planet P bildet bei seinem Lauf auf der Ellipsenbahn mit den Brennpunkten und gedachte Dreiecke.  
</Bild>

mit

a, b: große bzw. kleine Halbachse  
e: lineare Exzentrizität  
 Brennpunkte  
P: Planet  
 numerische Exzentrizität

#### 2. Kepler'sches Gesetz

<Bild>Die Verbindungsstrecke zwischen Sonne und einem Planeten überstreicht in einer gewissen Zeit eine bestimmte Fläche mit Flächeninhalt A.  
</Bild>

A: Flächeninhalt der vom Leitstrahl überstrichene Fläche  
t: Zeit

#### 3. Kepler'sches Gesetz

Umlaufzeiten der Objekte beim Umlauf um den Zentralkörper  
 große Halbachsen der Objekte beim Umlauf um den Zentralkörper

### Bewegung im Gravitationsfeld

#### Bahngeschwindigkeit eines Körpers auf einer Keplerellipse

v: Bahngeschwindigkeit  
G: Gravitationskonstante  
M: Masse des Zentralkörpers  
r: Abstand vom Zentralkörper  
a: große Halbachse der Bahnellipse

((44))

#### Zweikörperproblem

mit:

T: Umlaufzeit  
 große Halbachsen der Himmelskörper (gemeinsamer Schwerpunkt)  
G: Gravitationskonstante  
 Massen

#### Schwerpunktsatz

Massen  
 große Halbachsen der Himmelskörper (gemeinsamer Schwerpunkt)

#### Umlaufzeiten

siderische Umlaufzeit  
 Umlaufzeit der Erde  
 synodische Umlaufzeit

#### Kreisbahngeschwindigkeit

v: Geschwindigkeit  
G: Gravitationskonstante  
M: Masse des Zentralkörpers  
r: Abstand vom Mittelpunkt des Zentralkörpers

#### Fluchtgeschwindigkeit

v: Geschwindigkeit  
G: Gravitationskonstante  
M: Masse des Zentralkörpers  
r: Abstand vom Mittelpunkt des Zentralkörpers

### Schwarzschild-Radius eines schwarzen Lochs

Radius des Ereignishorizonts des schwarzen Lochs  
G: Gravitationskonstante  
M: Masse des schwarzen Lochs  
c: Lichtgeschwindigkeit

### Strahlungsgesetze

#### Bestrahlungsstärke

E: Bestrahlungsstärke  
 Strahlungsleistung, Leuchtkraft  
r: Abstand vom Körper

#### Empirische Masse-Leuchtkraft-Beziehung (Näherung)

L: Leuchtkraft eines Hauptreihensterns;  
M: Masse des Sterns

#### Stefan-Boltzmann-Gesetz für schwarze Strahler

Strahlungsleistung, Leuchtkraft  
 Stefan-Boltzmann-Konstante  
A: Flächeninhalt der abstrahlenden Fläche  
T: Temperatur

((45))

#### Wien'sches Verschiebungsgesetz

Wellenlänge des Maximums der spektralen Verteilung der Strahlungsintensität  
T: Temperatur  
b: Wien'sche Verschiebungskonstante

### Entfernung und Helligkeit

#### Trigonometrische Parallaxe p in Bogensekunden

r: Entfernung des Sterns  
p: trigonometrische Parallaxe

#### Eigenbewegung

Tangentialgeschwindigkeit;  
 Winkelgeschwindigkeit des Sterns (Eigenbewegung)  
r: Entfernung des Sterns

#### Beziehung zwischen den scheinbaren Helligkeiten und zweier Sterne

scheinbare Helligkeiten   
 Bestrahlungsstärken

#### Beziehung zwischen den absoluten Helligkeiten und zweier Sterne

absolute Helligkeiten  
 Leuchtkräfte

#### Entfernungsmodul eines Sternes

m: scheinbare Helligkeit  
M: absolute Helligkeit  
r: Abstand zwischen Stern und Beobachter in pc

#### Empirische Perioden-Helligkeits-Beziehung bei Cepheiden

M: mittlere absolute Helligkeit  
p: Periodendauer des -Cephei-Sternes in d

#### Hubble-Beziehung

v: Radialgeschwindigkeit einer weit entfernten Galaxie  
 Hubble-Parameter  
r: Entfernung

((46))

#### Nichtrelativistische Näherung des optischen Doppler-Effekts

f: Frequenz  
v: Relativgeschwindigkeit von Sender und Empfänger  
c: Lichtgeschwindigkeit  
 Wellenlänge