



## PROVET I FYSIK 26.3.2020

## BESKRIVNINGAR AV GODA SVAR

Provet hölls undantagsvis den 19 mars 2020

Den här filen är inte nödvändigtvis fullkomligt tillgänglig för till exempel användare av skärm-läsningssystem.

Slutgiltiga beskrivningar av goda svar 12.5.2020

Grunderna enligt vilka bedömningen gjorts framkommer i de slutgiltiga beskrivningarna av goda svar. Uppgiften om hur bedömningsgrunderna tillämpats på examinandens provprestation utgörs av de poäng som examinandens fått för sin provprestation, de slutgiltiga beskrivningarna av goda svar och de föreskrifter gällande bedömningen som nämnden gett i sina föreskrifter och anvisningar. De slutgiltiga beskrivningarna av goda svar innehåller och beskriver inte nödvändigtvis alla godkända svarsalternativ eller alla godkända detaljer i ett godkänt svar. Eventuella bedömningsmarkeringar i provprestationerna anses vara jämförbara med anteckningar och sålunda ger de, eller avsaknaden av markeringar, inte direkta uppgifter om hur bedömningsgrunderna tillämpats på provprestationen.

Fysikens mål är att förstå naturens grundstruktur och de grundläggande mekanismer som driver naturfenomenen, samt lagbundenheterna bakom dessa mekanismer. Inom fysiken strävar man efter att uttrycka begreppslig kunskap och kunskapsstrukturer så uttömmande och allmängiltigt som möjligt. Den experimentella metoden är fysikens viktigaste kunskapskälla, och den kunskap som inhämtats presenteras ofta i form av matematiska teorikonstruktioner och modeller. Dessa modeller spelar också en väsentlig roll då det gäller att utveckla, tillämpa och utnyttja den inhämtade kunskapen. Den nära kopplingen mellan teori och empiriska experiment är typisk för inhämtningen, presentationen och tillämpningen av kunskap på fysikens område.

I provet i fysik bedöms såväl förmågan att förstå fysikaliska fakta som förmågan att tillämpa denna kunskap, i enlighet med grunderna för gymnasiet läroplan. I provet bedöms vidare examinandens förmåga att experimentellt inhämta och bearbeta kunskap. Exempel på

denna förmåga är bland annat att planera experiment, att behärska användningen av de vanligaste mätinstrumenten, att presentera och tolka resultat samt att dra slutsatser. Problemet på naturvetenskapernas och teknologins område löses genom att använda och tillämpa fysikens begrepp och begreppsstrukturer. Problemlösning som uppvisar kreativitet och uppfinningsrikedom ses som särskilt förtjänstfull. På bedömningen inverkar även hur klara examinandens svar är samt hur konsekvent och väldisponerat faktainnehållet i svaren är.

Svaret på en uppgift i fysik inkluderar motiveringar för svaret, om inget annat nämns i uppgiften. Examinanden kan kombinera fakta och tillämpa det inlärd. Svaret visar att examinanden har identifierat det fysikaliska fenomenet korrekt och granskar situationen på ett fysikaliskt meningsfullt sätt. Examinanden kan beskriva den tillämpade fysikaliska modellen och motivera varför modellen kan användas i uppgiften. Ofta kräver svaret situationsbilder, kraftfigurer, kopplingscheman eller grafiska presentationer. Figurerna, diagrammen och de grafiska presentationerna är tydliga och i enlighet med de allmänna principerna för läroämnet. I kraftfigurer särskiljs de verkliga krafterna tydligt från deras vektorkomponenter.

I de uppgifter som kräver matematisk behandling ska storhetsekvationerna och formlerna motiveras på ett sätt som visar att examinanden tolkat situationen rätt, exempelvis utifrån en fundamental fysikalisk lag eller grundprincip. I svaret ingår även behövliga uträkningar och andra tillräckliga motiveringar samt ett slutresultat. Storheternas värden behöver i fysikprovet inte skrivas in synligt i formeln, om det av svaret tydligt framgår vilket talvärde och vilken enhet som används för respektive storhetssymbol. I provet i fysik är alla funktionsräknare, grafiska räknare och symbolräknare tillåtna. Lösningar som gjorts med hjälp av symbolräknare godkänns, så länge det av svaret framgår på vilken situation och vilka symboler i situationen svaret bygger samt att storhetsekvationen, löst för storheten som söks i uppgiften, presenteras i samband med svaret. Räknare kan användas för att lösa ekvationer och dra slutsatser av grafer på det sätt som förutsätts i uppgiften.

## **Del I**

### **1. Flervalsuppgifter från olika delområden i fysiken (20 p.)**

Rätt svar 2 p., fel svar 0 p., inget svar 0 p.

**1.1.** likformigt accelererande rörelse

**1.2.** stående vågrörelse

**1.3.** likformig rörelse

**1.4.** likformigt accelererande rörelse

**1.5.** dämpad oscillationsrörelse

**1.6.** aktivitet

**1.7.** kraft

**1.8.** resistans

**1.9.** specifik värmekapacitet

**1.10.** laddning

## Del II

### 2. Låda och vikt (15 p.)

#### 2.1. (6 p.)

Lådan

Vikten

$\vec{G}_a$  lådans tyngd  
 $\vec{G}_b$  viktens tyngd  
 $\vec{N}$  normalkraft  
 $\vec{F}_{\mu_0}$  vilofriktion  
 $\vec{T}_a$  spännkraften med vilken tråden påverkar lådan  
 $\vec{T}_b$  spännkraften med vilken tråden påverkar vikten

#### Poängsättning:

Lådans (4 p.) och viktens (2 p.) kraftfigurer är förevisade.

Om kraftfiguren har överlopskrafter eller om någon kraft saknas eller är felriktad dras poängen av i sin helhet från den kraftfiguren.

Om påverkningspunkten för kraften är fel dras 1 p./kraftfigur av.

Om summan av kraftvektorerna som påverkar en kropp avviker från noll dras 1 p. av.

Om namnet för en kraft är felaktigt eller helt saknas leder det till att en poäng dras av.

#### 2.2 (9 p.)

Vilofriktionens största värde  $|F_{\mu_0}| = \mu_0 N$  uppnås i en situation precis innan lådan börjar röra på sig.

Jämviktsvillkoren för kropparna:

$$\text{För lådan} \quad \sum \vec{F}_a = m_a \vec{a}_a = \vec{0}$$

$$\text{x-riktningen: } \sum F_{ax} = F_{\mu_0} - T_a = 0$$

$$\text{y-riktningen: } \sum F_{ay} = G_a - N = 0$$

Vikten påverkas endast av krafter i y-riktningen:

$$\text{y-riktningen: } \sum F_{by} = G_b - T_b = 0$$

För att tråden är lätt blir  $T_a = T_b$ , alltså är

$$|F_{\mu_0}| = T_a = T_b = |G_b| = m_b g$$

Vilofrikationskoefficienten är

$$\mu_0 = \frac{|F_{\mu_0}|}{N} = \frac{m_b g}{m_a g} = \frac{m_b}{m_a}$$

Med hjälp av simuleringen söker vi det här gränsvärdet som motsvarar den största vilofriktionen genom att variera viktens massa. De valda massorna anges.

Till exempel med värdena  $m_a = 1,000 \text{ kg}$  och  $m_b = 0,340 \text{ kg}$  hålls lådan på sin plats, men då  $m_b = 0,341 \text{ kg}$  börjar lådan röra sig.

Vilofrikationskoefficienten är

$$\mu_0 = \frac{m_b}{m_a} = \frac{0,340 \text{ kg}}{1,000 \text{ kg}} = 0,34$$

### Poängsättning:

Newtons andra lag eller jämviktstillstånd har omnämnts som motivering och tre jämviktsvillkor för krafterna har presenterats som utgångsekvationer (4 p.).

Ett par av massor som motsvarar gränsfallet har hittats med hjälp av simulering (2 p.).

Storhetsekvationen för vilofrikationskoefficienten har härletts ur jämviktsvillkoren (1 p.) och med hjälp av den har värdet för vilofriktionen bestämts (2 p.).

Typiskt fel: En situation där lådan och vikten är i rörelse har undersökts. (Deluppgiften ger högst 4 p.)

### 3. Havsnivåhöjning (15 p.)

Ur oceanernas area och djup får vi volymen av havsvattnet  $V = Ad$ . Med hjälp av volymen och den genomsnittliga densiteten kan vi bestämma havsvattnets massa  $m = \rho V$  och värmekapacitet  $C = cm$ .

Då den årligen ackumulerade värmemängden är  $Q$ , får vi temperaturförändringen  $\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{Q}{c\rho Ad}$ .

Vi substituerar  $Q = 1,3 \cdot 10^{22}$  J,  $c = 3,96 \cdot 10^3$  J/(kg K),  $\rho = 1030$  kg/m<sup>3</sup>,  $A = 3,6 \cdot 10^8$  km<sup>2</sup> =  $3,6 \cdot 10^{14}$  m<sup>2</sup> och  $d = 3700$  m, varpå temperaturförändringen är

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}}{3,96 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{(\text{kg K})} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 \cdot 3700 \text{ m}} \\ &= 2,3928013 \cdot 10^{-3} \text{ K} \approx 0,0024 \text{ K}.\end{aligned}$$

Det här förorsakar värmeutvidgningen  $\Delta V = \gamma V \Delta T$ , där  $\gamma$  är volymutvidgningskoefficienten för vatten.

Volymförändringen ändrar inte väsentligt på arean men däremot på djupet. Med andra ord  $\Delta h = \frac{\Delta V}{A}$ , ur vilket vi får ett uttryck för havsnivåhöjningen

$$\Delta h = \frac{\gamma V \Delta T}{A} = \frac{\gamma V Q}{Ac\rho V} = \frac{\gamma Q}{Ac\rho}.$$

Vi substituerar följande värden för storheterna i uttrycket:  $\gamma = 1,37 \cdot 10^{-4}$  1/K,  $Q = 1,3 \cdot 10^{22}$  J,  $A = 3,6 \cdot 10^8$  km<sup>2</sup> =  $3,6 \cdot 10^{14}$  m<sup>2</sup>,  $c = 3,96 \cdot 10^3$  J/(kg K) och  $\rho = 1030$  kg/m<sup>3</sup>

Havsnivåhöjningen är  $\Delta h = 1,212911205$  mm  $\approx 1,2$  mm.

Det är värt att notera att slutresultatet inte är beroende av oceanernas djup – oceanerna behöver alltså inte värmas upp alltigenom, utan det räcker om uppvärmningen sker till exempel endast i de första 500 metrarna.

#### Poängsättning:

Ett uttryck för värmemängden har givits som utgångsekvation (2 p.) och ur det har en

storhetsekvation för temperaturförändringen härletts (2 p.). Temperaturförändringens värde har bestämts (2 p.).

Ett uttryck för volymens värmeutvidgning har givits (2 p.). Havsnivåhöjningen har härletts med hjälp av volymförändringen utgående från antagandet att oceanernas area hålls konstant (2 p.). En storhetsekvation för havsnivåhöjningen har härletts (2 p.) och utgående från den har ökningen i höjden bestämts (3 p.).

Typiska fel:

Fel i storleksordning har gjorts vid enhetsomvandlingen varvid ofysikaliska värden för både temperaturförändringen och ökningen i höjden har uppnåtts (poängförlust 5 p.).

Längdens värmeutvidgning har undersökts istället för volymens värmeutvidgning (poängförlust 5 p.).

Om slutresultatet givits med större noggrannhet än  $100 \mu\text{K}$  eller  $100 \mu\text{m}$  har poängen för ifrågavarande slutresultat inte givits.

#### **4. I ett mörkt rum (15 p.)**

**4.1.** Fenomenet i fråga är ljusets avlänkning eller diffraktion. Ljusa områden uppstår på skärmen vid sådana punkter där ljusstrålar från olika spalter interfererar konstruktivt med varandra. (3 p.)

**4.2.** De röda prickarna flyttar längre bort från varandra. (2 p.)

**4.3.** De röda prickarna hålls kvar på samma ställen. (2 p.)

**4.4.** Ett liknande mönster som i deluppgift 4.1 syns på skärmen. (2 p.)

**4.5.** De röda prickarna flyttar längre bort från varandra. (3 p.)

**4.6.** De röda prickarna flyttar närmare varandra. (3 p.)

**Poängsättning:**

I deluppgift 4.1 har diffraktion, ljusets böjning och interferens godkänts som svar.

## 5. Vridspoleinstrument (15 p.)

### 5.1. (8 p.)

Största mätbara elektriska ström  $I = 100 \text{ mA}$ , största strömmen i spolen  $I_c = 0,10 \text{ mA}$ , spolens resistans  $R_c = 360 \Omega$ , strömmen i motståndet  $R_I$   $I_R$

Kirchhoffs lag om strömmar  $I = I_c + I_R$ ,

$$I_R = I - I_c.$$

Spolens polspänning får man ur Ohms lag

$$U_c = R_c I_c.$$

Eftersom motstånd  $R_I$  och spolen är parallellkopplade är motståndets polspänning och spolens polspänning lika stora.

Motståndets resistans är alltså

$$R_I = \frac{U_c}{I_R} = \frac{R_c I_c}{I - I_c} = \frac{360 \Omega \cdot 0,10 \text{ mA}}{(100 - 0,10) \text{ mA}} = 0,36036036 \dots \Omega \approx 0,36 \Omega$$

#### Poängsättning:

Principen om den elektriska strömmens delning i enlighet med Kirchhoffs lag om strömmar har använts (2 p.). Det har konstaterats att samma spänning går över både spolen och motståndet (2 p.). En storhetsekvation har härletts för resistansen hos motståndet (2 p.) och ett värde för resistansen har givits (2 p.).

#### Alternativ lösning:

Den totala resistansen hos vridspoleinstrumentet bildas ur resistansen hos det parallellkopplade motståndet och spolen. För den totala resistansen  $R$  gäller uttrycket  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_I}$ .

Hela vridspoleinstrumentets polspänning då den elektriska strömmen är  $I$  är lika stor som spolens spänningsförlust då den elektriska strömmen är  $I_c$ .

I enlighet med Ohms lag är  $R = \frac{U}{I}$  och  $U = R_c I_c$ .



Vi får ekvationen  $\frac{I}{U} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_l}$  ur vilken vi kan lösa för motståndets resistans:

$$R_l = \frac{1}{\frac{I}{R_c I_c} - \frac{1}{R_c}} = 0,360360... \Omega \approx 0,36 \Omega.$$

### Poängsättning:

Det har konstaterats att vridspoleinstrumentets totala resistans  $R$  kan fås ur resistansen hos det parallellkopplade motståndet och spolen (2 p.). Ohms lag har utnyttjats för att presentera  $R$  med hjälp av spolens resistans och den elektriska strömmen (2 p.). En storhetsekvation har givits för motståndets resistans (2 p.) och ett värde för resistansen har givits (2 p.).

### 5.2. (7 p.)

Största mätbara spänning  $U = 1,0 \text{ V}$ , polspänningen hos motståndet  $U_R$ .

Kirchhoffs lag om spänningar:  $U = U_c + U_R$ ,

$$U_R = U - U_c.$$

Då instrumentet indikerar på sitt maximivärde flödar det en lika stor ström genom spolen som i deluppgift 5.1. Spolens polspänning är alltså

$$U_c = R_c I_c.$$

Eftersom spolen och motståndet  $R_U$  är seriekopplade är den elektriska strömmen som flödar genom motståndet och den elektriska strömmen som flödar genom spolen lika stora.

Motståndets resistans får man med hjälp av Ohms lag.

$$R_U = \frac{U_R}{I_c} = \frac{U - U_c}{I_c} = \frac{U - R_c I_c}{I_c} = \frac{1,0 \text{ V}}{0,10 \text{ mA}} - 360 \Omega = 9640 \Omega \approx 9,6 \text{ k}\Omega.$$

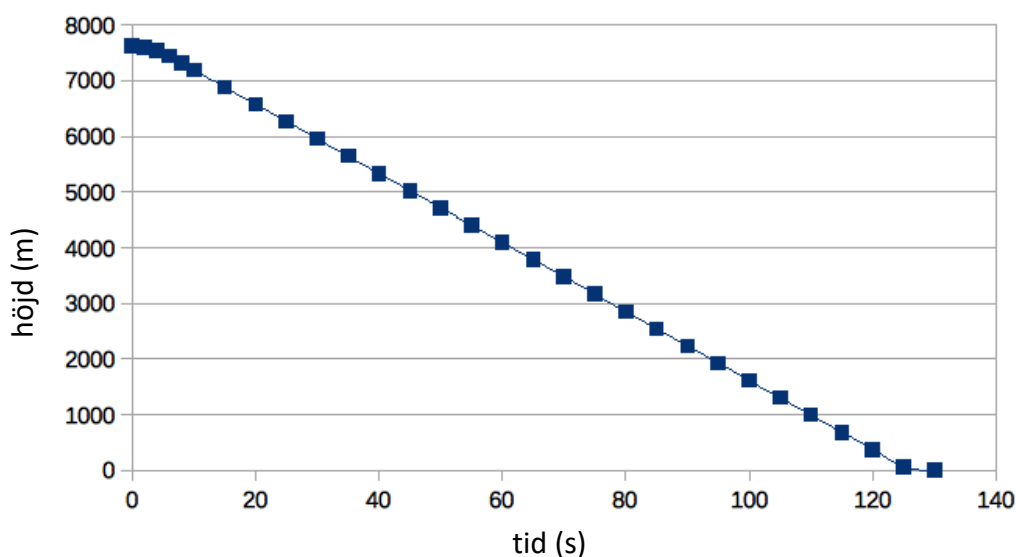
### Poängsättning:

Det har konstaterats att motståndets och spolens spänningar summeras i enlighet med Kirchhoffs lag om spänningar. (Eller det har konstaterats att resistanserna summeras på

grund av att motståndet och spolen är seriekopplade.) (2 p.) Ohms lag har tillämpats för att bestämma spänningen över spolen (eller strömkretsens totala resistans) med hjälp av den elektriska strömmen (1 p.) En storhetsekvation för motståndets resistans har härletts (2 p.) och ett värde för resistansen har givits (2 p.).

## 6. Hopp utan fallskärm (15 p.)

### 6.1. (8 p.)



Ur grafen ser man att Aikins hastighet var konstant under nästan hela hoppet.

Enligt Newtons andra lag  $mg - F_l = 0 \rightarrow F_l = 95 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 930 \text{ N}$ .

### Poängsättning:

En graf i vilken mätresultaten syns som skilda punkter eller en kurva som sammankopplar mätpunkterna har presenterats. Eftersom ett polygontåg (bruten linje) i det här fallet ser ut som en anpassning till punkterna duger den väl för att beskriva höjden som funktion av tiden (4 p.). För fel i den vågräta eller lodräta axeln dras 2 p. av. Om storhetens beteckning eller enhet saknas dras en poäng av.

Utgående från bilden har det konstaterats att hopparens hastighet är (ungefär) konstant under hoppets mellanskede (2 p.). En storhetsekvation för luftmotståndet som grundar sig på Newtons andra lag har presenterats (1 p.) och ur den har ett värde för luftmotståndet beräknats (1 p.).

Typiska fel: Hopparens acceleration är inte noll. (Deluppgiften kan ge högst 4 p.)

## 6.2. (7 p.)

a) Påståendet "Det uppstår mycket rörelseenergi vid ett fritt fall" är felaktigt.

Hopparen har till en början potentialenergi i jordens gravitationsfält.

Den här potentialenergin omvandlas till rörelseenergi under fallet.

Då den fallande hopparen uppnår gränshastigheten ökar inte längre hans rörelseenergi, utan potentialenergin omvandlas till luftens inre energi (luftmolekylernas rörelseenergi) som följd av växelverkan mellan hopparen och den omgivande luften (luftmotståndet).

b) Påståendet "Om man träffar marken reflekteras den kinetiska energin tillbaka till kroppen och krossar den" är felaktigt. Den kinetiska energin reflekteras inte från marken.

Om hopparen träffar marken istället för nätet så påverkar markytan honom med en enormt stor kraft som motverkar rörelsen. Storleken hos denna retarderande kraft skulle överskrida det som kroppen uthärdar och kroppens olika delar skulle gå sönder.

c) Påståendet "Dess täta vävnad töjdes på ett lämpligt vis och sög åt sig av störtdukarens rörelseenergi." är felaktigt. Rörelseenergin "sugs" inte upp av nätet, den omvandlas till rörelse- och inre energi hos nätet och cylindrarna.

Oberoende av om hopparen träffar säkerhetsnätet eller marken så minskar hans hastighet från fallets gränshastighet till noll. Det här förorsakas av normalkraften som påverkar hopparen antingen från markytan eller från säkerhetsnätet. I båda fallen förändras hopparens rörelsemängd lika mycket, vilket betyder att även normalkrafternas impulser är lika stora. Impulsen är  $I = \int F dt$ . Om hopparen kolliderar med markytan är tiden under vilken normalkraften påverkar mycket kort. Ur detta följer att normalkraften är mycket stor och kroppen inte klarar av den. Säkerhetsnätet förlänger märkbart tiden som kollisionen pågår, alltså är normalkraften mycket mindre och överskrider inte det som kroppen uthärdar.

### Poängsättning:

Påvisande av varje felaktiga påstående. (1 p.)

Påstående a: Identifiering att energi omvandlas från en form till en annan (1 p.) och en beskrivning av hur potentialenergin omvandlas till rörelseenergi och arbete utfört av luftmotståndets krafter (1 p.).

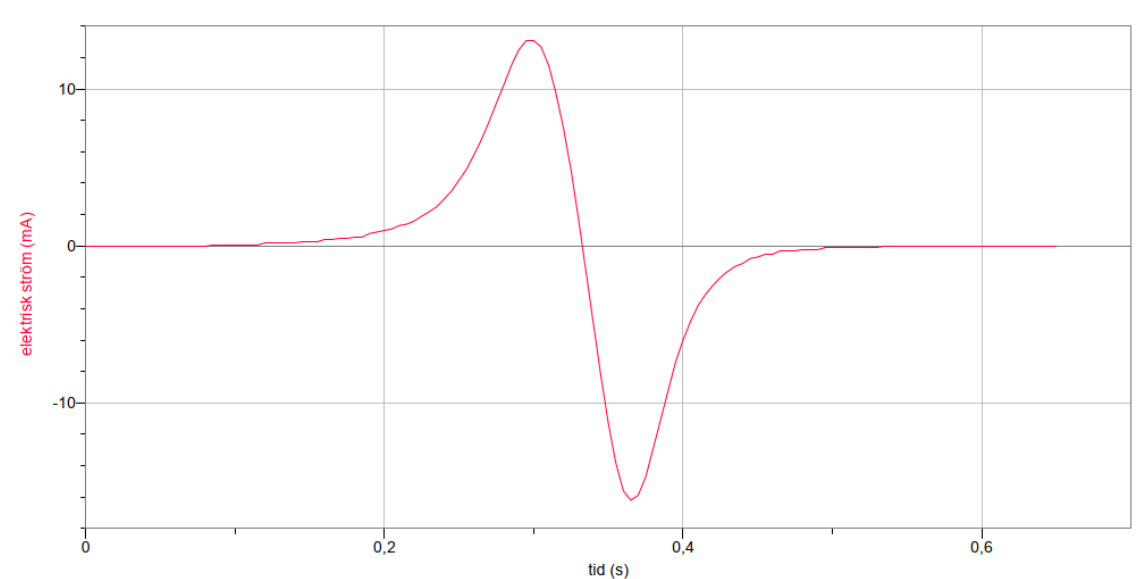
Påstående b: En beskrivning av kraft- och motkraftspar i enlighet med Newtons tredje lag vid en kollision med marken (1 p.)

Påstående c: En beskrivning av rörelseenergens omvandling vid kollision med nätet ELLER en beskrivning med hjälp av impulsen om hur kollisionstiden påverkar krafterna (1 p.)

Typiskt fel: Påstående a: Potentialenergin omvandlas i sin helhet till rörelseenergi utgående från lagen om bevarande av mekanisk energi.

## 7. En stavmagnet som faller (15 p.)

### 7.1. (7 p.)



Då stavmagneten kommer in i spolen ökar det magnetiska flödet inuti spolen. Ett föränderligt magnetiskt flöde inducerar en källspänning över spolen i enlighet med induktionslagen  $e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ . Spolen är kopplad till en strömmätare, alltså är den sluten. Låt spolens resistans vara  $R$ . Induktionsspänningen  $e$  skapar enligt Ohms lag strömmen  $I = e/R$ .

**Poängsättning:**

En graf i vilken mätresultaten syns som skilda punkter eller en kurva som sammankopplar mätpunkterna har presenterats. Eftersom ett polygontåg (bruten linje) i det här fallet ser ut som en anpassning till punkterna duger den väl för att beskriva höjden som funktion av tiden (4 p.). För fel i den vågräta eller lodräta axeln dras 2 p. av. Om storhetens beteckning eller enhet saknas dras en poäng av.

Uppkomsten av en elektrisk ström i spolen som är en del av en sluten strömkrets har förklarats med hjälp av det föränderliga magnetiska flödet (eller induktionslagen) och den inducerade källspänningen (3 p.).

Typiska fel: Istället för ett föränderligt magnetiskt flöde beskrivs förändringar i magnetfältet. Inducering av en spänning omnämns inte.

**7.2. (8 p.)**

Den elektriska laddningen  $\Delta Q$  och strömmen  $I$  är kopplade till varandra genom lagen  $I = \Delta Q / \Delta t$ .

Ur detta följer att  $\Delta Q = I \Delta t$ . Alltså får vi den elektriska laddningen genom att beräkna den fysikaliska ytan mellan kurvan och tidsaxeln i den elektriska strömmens  $I(t)$ -graf.

Vi delar tidsintegralen i två delar: Först integrerar vi fram till dess att strömmen byter förtecken och får förändringen i laddningen  $\Delta Q_1$ . Sedan integrerar vi efter att strömmen bytt förtecken och får förändringen i laddningen  $\Delta Q_2$ . Värdena för laddningarnas förändringar är

$$\Delta Q_1 = 0,8665 \text{ mC}$$

$$\Delta Q_2 = -0,8655 \text{ mC}$$

Vi kan observera att  $|\Delta Q_1| \approx |\Delta Q_2|$ .

ELLER

Låt spolens resistans vara  $R$ . Induktionsspänningen  $e$  skapar enligt Ohms lag strömmen  $I = e/R$ . Då induktionsspänningen  $e = -N\Delta\Phi/\Delta t$  substitueras in i detta uttryck får vi

$$I = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Den totala laddningen som går genom spolen under tiden  $\Delta t$  är  $\Delta Q = I\Delta t$ .

Vi kombinerar de föregående uttrycken och får då den elektriska laddningen som går genom spolen

$$\Delta Q = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot \Delta t = -\frac{\Delta\Phi}{R}.$$

Under den första strömtoppen växer det magnetiska flödet från noll till maximivärdet. Under den andra strömtoppen med motsatt förtecken minskar det magnetiska flödet från maximivärdet till noll. Förändringarna i det magnetiska flödet är därmed till absolutbeloppet lika stora. De elektriska laddningarna som går genom spolen är därför också lika stora.

ELLER

Spolen ingår i en sluten krets, därför förorsakar induktionsspänningen en ström i den.

Enligt Ohms lag är strömmen direkt proportionell mot induktionsspänningen  $e$ . Därmed är även strömmen direkt proportionell mot det magnetiska flödets förändringshastighet:

$I \sim \frac{d\Phi}{dt}$ . Å andra sidan, då laddningen som strömmen förflyttar är  $dq = I dt$ , får vi att  $dQ \sim d\Phi$ .

Under den första strömtoppen växer det magnetiska flödet från noll till maximivärdet. Under den andra strömtoppen med motsatt förtecken minskar det magnetiska flödet från maximivärdet till noll. Förändringarna i det magnetiska flödet är därmed till absolutbeloppet lika stora. De elektriska laddningarna som går genom spolen är därför också lika stora.

### Poängsättning:

Den elektriska strömmen har presenterats som förhållandet mellan förändringen i den elektriska laddningen och tiden som har förflutit (2 p.) Det har konstaterats att den elektriska laddningen kan bestämmas genom att integrera den elektriska strömmen i grafen (2 p.). Värdet för de elektriska laddningarna som har bestämts genom grafisk integrering har givits skilt för vardera strömtopp eller för båda strömtoppar tillsammans (2 p.) och det har konstaterats att laddningarnas summa är (ungefärligt) lika med noll (2 p.).

Typiskt fel: Ett försök har gjorts att bestämma laddningarnas storlek med hjälp av strömtopparnas momentana maximivärde. (Inga poäng.)

## 8. Röntgenstrålning (15 p.)

### 8.1. (8 p.)

I ett röntgenrör accelereras elektroner med högspänning i vakuum. Elektronerna som rör sig snabbt kolliderar med en anod.

Den kontinuerliga delen av spektrumet förorsakas av elektronernas retardation (bromsstrålning).

Topparna som syns i spektrumet uppkommer då Mo-anodens atomer exciteras och därefter deexciteras. Dessa toppar är karakteristiska för anodmaterialet.

#### Poängsättning:

I svaret har det omnämnts att elektroner accelereras med hjälp av en spänning eller ett elektriskt fält inne i ett röntgenrör (2 p.), att elektronerna kolliderar med anoden (1 p.) och att elektronerna bromsas in och i samband med det förorsakar uppkomsten av bromsstrålning (spektrumets kontinuerliga del) (2 p.). Det har förklarats att topparna uppstår då en excitering av elektroner från de inre skalerna återgår och konstaterats att topparna är karakteristiska för varje specifikt anodmaterial (3 p.).

Typiskt fel: Det har inte omnämnts att de accelererade partiklarna är elektroner (poängavdrag 5 p.).

### 8.2. (7 p.)

Vid röntgendiffraktion sprids röntgenstrålning från atomerna i materian som studeras (närmare bestämt från atomernas elektroner). Atomerna i materian fungerar som ett tredimensionellt gitter. I de punkter där maximumen från de spridda vågorna möts (interfererar konstruktivt) kan man observera intensitetmaximum.

Utgående från diffraktionsmönstret kan man till exempel beräkna avståndet mellan gitterplanen i materien genom att tillämpa Braggs lag  $n\lambda = 2d \sin \theta$ .

Med röntgendiffraktion kan man alltså undersöka materia som har en periodisk struktur (kristallin materia).

**Poängsättning:**

Det har omnämnts att röntgenstrålning sprids från atomerna i den undersökta materian och att vågor som spridits från olika atomer interfererar sinsemellan (3 p.). Braggs lag har omnämnts eller givits som ekvation och även sambandet till avstånden mellan materians beståndsdelar (gitterplan) har omnämnts (3 p.). Det har konstaterats att metoden lämpar sig för att undersöka kristallin materia (materia med periodisk struktur) (1 p.).

**Del III**

**9. Bestämning av den specifika laddningen hos en jon (20 p.)**

Ett instrument med vilket man kan bestämma den specifika laddningen hos en jon kallas för en masspektrometer. Det finns olika typer av masspektrometrar.

Jonens specifika laddning kan bestämmas bland annat med följande slag av masspektrometrar:

- kvadrupol-analysator
- en analysator som baserar sig på jonernas cyklotronfrekvens
- en analysator för jonernas flygtid
- en magnetisk sektoranalysator
- elektrostatiske analysatorer.

Gymnasiets undervisningsmaterial beskriver ofta en masspektrometer som kombinerar en elektrostatiske och en magnetiske analysator. Sådane masspektrometrar består av tre delar: ett accelererande elektriske fält, en elektrostatiske hastighetsväljare för jonerna och ett magnetiske fält för analys. Även sådane instrument som endast har en hastighetsväljare eller ett magnetiske fält för analys efter det accelererande elektriske fältet lämpar sig för bestämning av den specifika laddningen hos en jon.



Till en början kommer jonerna in i det homogena elektriska fältet där de accelereras till en lämplig hastighet. Hastigheten regleras med det elektriska fältets accelerationsspänning  $U$ :

$$\frac{1}{2}mv^2 = qU \rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

Vi kan observera att joner med olika specifika laddningar  $q/m$  uppnår olika hastigheter i det elektriska fältet.

Jonernas hastighet kan bestämmas med hastighetsväljaren i vilken det finns ett homogent elektriskt fält och ett homogent magnetiskt fält vinkelrätt mot varandra. Då jonerna färdas vinkelrätt mot både det elektriska och det magnetiska fältet kan endast joner som har en viss hastighet anlända direkt till öppningen mot det magnetiska fältet för analys. För dessa joner som färdas rakt är den elektriska och den magnetiska kraften som påverkar dem i balans, alltså

$$qE = qvB \rightarrow v = \frac{E}{B}.$$

Vi behöver alltså information om både den elektriska fältstyrkan  $E$  hos det elektriska fältet och den magnetiska flödestätheten  $B$  hos magnetfältet. Trots att jonernas hastigheter är lika behöver deras massor och laddningar inte vara lika.

Efter det här färdas de joner som passerat hastighetsväljaren i en bana som går vinkelrätt mot det homogena magnetiska fältet för analys. Den magnetiska kraften böjer jonernas banor till en cirkelbana. Banans radie kan bestämmas med hjälp av Newtons II lag:

$$qvB' = \frac{mv^2}{r}$$
$$\rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{rB'} = \frac{E}{rBB'}$$

I masspektrometern mäter man vilken position på detektorn jonen träffar, ur vilket man kan bestämma flygbanans radie  $r$ . Man måste även känna till fältstyrkan  $E$  hos hastighetsväljarens elektriska fält, den magnetiska flödestätheten  $B$  hos hastighetsväljarens magnetiska fält och den magnetiska flödestätheten  $B'$  hos det magnetiska fältet för analys. Då kan man beräkna jonernas specifika laddning  $q/m$ .

Faktorer som påverkar resultatets tillförlitlighet är till exempel en ändamålsenlig funktionalitet hos mätinstrumentets olika delar och användarens skicklighet i att använda instrumenten.

Faktorer som påverkar resultatets noggrannhet är bland annat:

- Upplösningen hos masspektrometerns detektor, vilken påverkar hur joner som färdas i olika banor kan urskiljas från varandra.
- Storleken av öppningen mot det magnetiska fältet för analys. Ju mindre öppning, desto mer exakt har de utvalda jonerna samma hastighet och färdriktning. Skillnader i hastigheterna påverkar banans radie och på det sättet bredden av intensitetstoppen som detektorn registrerar för en särskild specifik laddning.
- Homogeniteten hos de elektriska och magnetiska fälten.
- Noggrannheten hos mätarna som använts för att bestämma de elektriska fältstyrkorna och de magnetiska flödestätheterna.
- Tiden som mätdata samlas in. Ju längre tid man mäter, desto bättre urskiljer sig intensitetstopparna för särskilda specifika laddningar ur bakgrundsbruset då fler joner hinner ta sig fram till detektorn.

### **Poängsättning:**

I svaret beskrivs en experimentell anordning som lämpar sig för ändamålet. Ett fungerande koncept har presenterats (3 p.), instrumenten som används har listats (3 p.), anordningens funktion har beskrivits och vilka storheter som bör bestämmas har angetts (5 p.), en storhetsekvation för bestämmandet av den specifika laddningen har härletts (5 p.) och faktorer som påverkar noggrannheten och tillförlitligheten hos den beskrivna mätmetoden har beskrivits (4 p.).

## **10. Gravitationsvågor och LIGO (20 p.)**

### **10.1. (5 p.)**

LIGO mäter ett fenomen som direkt förorsakas av gravitationsvågor (den relativa töjningen i sträckan som ljusstrålarna färdas i den experimentella anordningen).

I observationen från år 1974 kunde man märka att pulsarerna avgav energi, men observationen kunde inte utesluta möjligheten att energin förlorades på något annat sätt än genom gravitationsvågor.

**Poängsättning:**

Förklaring om en direkt observation (3 p.), förklaring om en indirekt observation (2 p.).

**10.2. (8 p.)**

Under tiden 15 millisekunder försvann energin  $3M_{\odot}c^2 = 6 \cdot 10^{30} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$ ,

därmed var gravitationsvågornas effekt  $P = \frac{3M_{\odot}c^2}{0,015 \text{ s}} = 200M_{\odot}c^2/\text{s} = 3,6 \cdot 10^{49} \text{ W}$ . Det här motsvarar effekten hos ungefär  $10^{23}$  solar.

**Poängsättning:**

Den avgivna energin har beräknats med hjälp av Einsteins formel (2 p.). En storhetsekvation för effekten har presenterats och med hjälp av den har gravitationsvågornas effekt beräknats (3 p.). Effekten har jämförts med effekten hos solen genom att presentera en skälig storhetsekvation (förhållandet mellan effekterna) och beräkna dess värde (3 p.).

Typiska fel: Ljusets hastighet har inte beaktats eller ljusets hastighet är i först potensen i energiberäkningen. Värdet för effekten har inte presenterats med korrekt avrundning.

**10.3. (7 p.)**

Ur bild 10.B (nedre panelen) kan vi se att avståndet mellan kropparna är ungefär fyra gånger Schwarzschildradien när signalen börjar vid tidpunkten 0,35 s. Då roterar kropparna runt varandra (signalen oscillerar med en konstant frekvens). En kropp vars massa är ungefär massan hos 62 solar har en Schwarzschildradie som är ungefär 180 km. Avståndet mellan kropparna är alltså endast ungefär 700 km. Det här utesluter vanliga stjärnor och vita dvärgar på grund av att deras radier är mycket större än det här avståndet. Avståndet kan vara korrekt om kropparna är neutronstjärnor, men deras massor kan inte vara 30 gånger solens massa liksom LIGO observerade. Kropparna måste alltså vara svarta hål.

**Poängsättning:**

Avståndet mellan de kolliderande kropparna i början har omnämnts (3 p.) Stjärnor är uteslutna utgående från omloppsavståndet (de kan inte kretsa runt varandra på ett avstånd i enlighet med mätresultaten på grund av deras stora radier) (2 p.). Neutronstjärnor är uteslutna på grund av att deras massa är för liten eller på grund av att de ännu skulle vara för långt ifrån varandra vid stunden för kollisionen (2 p.).

Typiska fel:

De kolliderande kropparnas radier har jämförts med Schwarzschildradien hos kroppen som uppstår.

Endast kroppen som uppstår har undersökts, inte kropparna som kolliderar.

**11. Ångtvätt (20 p.)****11.1. (8 p.)**

Vid jämviktsläge finns det flytande vatten och vattenånga i ångtvättens kärl. Systemet befinner sig alltså i ett tillstånd som ligger på gränskurvan mellan gas och vätska i vattnets fasdiagram.

Enligt apparatens typskylt är driftstrycket 3,5 bar. Vattnets temperatur är då ungefär 140 °C enligt fasdiagrammet.

**Poängsättning:**

Det har konstaterats att behållaren innehåller vatten i både vätske- och gasform (2 p.). Det har konstaterats att driftstrycket är 3,5 bar (2 p.). Det har visats som bild eller beskrivits med ord att temperaturen bestäms från gränskurvan i fasdiagrammet (2 p.) och resultatet har givits (värden mellan 140 °C – 145 °C godkänns) (2 p.).

Typiska fel: Fasdiagrammets log-skala har avlästs fel. Temperaturen är inte avläst ur bilden tillräckligt noggrant.

**11.2. (8 p.)**

Enligt typskylten är effekten hos värmemotståndet  $P = 1800 \text{ W}$ .

Då tryckkärlet är fullt av vatten krävs det endast en mycket liten mängd vattenånga för att uppnå trycket hos en saturerad ånga. Detta behöver inte tas i beaktande då man undersöker energierna.

För att värma vattnet behövs energin  $\Delta E = Q = cm\Delta T = P\Delta t$ , ur vilket vi får uppvärmningstiden

$$\Delta t = \frac{cm\Delta T}{P} = 311,9222 \text{ s} \approx 310 \text{ s} \approx 5,2 \text{ min},$$

då  $m = 1,0 \text{ kg}$ ,  $c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$  och  $\Delta T = (140 - 6)^\circ\text{C} = 134^\circ\text{C} = 134 \text{ K}$ .

(Enligt tillverkarens utsago räcker det 6–6,5 min att värma upp för bruk.)

### Poängsättning:

Effekten hos värmemotståndet har avlästs från typskylten (2 p.). En storhetsekvation har givits för effekten (2 p.) ur vilken en storhetsekvation för uppvärmningstiden har härletts (2 p.) och uppvärmningstiden beräknats (2 p.) (värden mellan 5,2 min – 5,4 min har godkänts).

Typiskt fel: Tiden som krävs för att förångna vattnet har ingått i beräkningarna.

### 11.3. (4 p.)

Ett elektriskt motstånd är rent resistivt. Dess uppvärmningseffekt är då produkten av den effektiva spänningen och strömmen. Den effektiva spänningen är  $U = 230 \text{ V}$ , alltså är motsvarande effektiva ström

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1800 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 7,826 \text{ A} \approx 7,8 \text{ A}.$$

### Poängsättning:

Det har konstaterats att den effektiva spänningen är 230 V (2 p.). Den elektriska strömmen har beräknats med hjälp av Ohms lag (värden mellan 7,5 A – 8,2 A godkänns) (2 p.).

Typiskt fel: Det har blandats mellan koncepten effektivt värde och toppvärde för spänningen (strömmen).