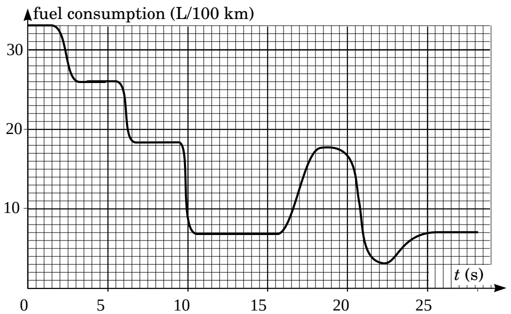
Estonian-Finnish Olympiad / Wallenbergs Fysikpris 2016

1. BRÄNSLEFÖRBRUKNING (5 points) — *Jaan Kalda.* I grafen nedan (en uppförstorad version finns på ett bifogat blad) visas bränsleförbrukningen hos en viss bil som funktion av tid. Bilen startade på en horisontell vägsträcka och accelerationen vid starten var $a_0 = 5\,\mathrm{m/s^2}$. Vid tiden $t_1 = 11\,\mathrm{s}$, då vägen var horisontell, aktiverade föraren farthållaren för att bilen skulle hålla den konstanta hastigheten $v_0 = 90\,\mathrm{km/h}$. Kort därefter kom bilen till en uppförsbacke och ett krön. Hur högt ovanför den punkt där bilen befann sig vid tiden t_1 låg högsta punkten på detta backkrön? Antag att bilens verkningsgrad var konstant. Observera: Från $t = 2\,\mathrm{s}$ till $t = 10\,\mathrm{s}$ kan bilen ha kört i såväl nedförslut som uppförsbackar.



2. GLASPLATTA (10 points) — *Rasmus Kisel, Mihkel Heidelberg.* En laserstråle med våglängden λ och effekten P skjuts in vinkelrätt mot en tunn glasplatta med tjockleken $a = (100{,}25\lambda)/n$ där n är glasets brytningsindex. Reflexionskoefficienten hos glasytan är r. Denna koefficient beskriver hur stor sannolikheten är för en foton att reflekteras från en enskild glasyta.

i) *(2 points)* Beräkna hur stor kraft F_a som laserstrålen påverkar glaset med om den glasyta som är vänd mot laserstrålen färgats helt svart.

ii) *(3 points)* Beräkna hur stor kraft F_b som laserstrålen påverkar glaset med om glasets bakre yta målats helt svart.

iii) *(5 points)* Beräkna hur stor kraft F_c som laserstrålen påverkar glaset med om ingen glasyta målats.

3. MUSIK (8 points) — *Lasse Frantti.* Ett band bestående av tre fysiker är ute på turné. Bandet spelar progressiv världsmusik och har med sig en elgitarr, en piporgel och rörklockor av stål. Första spelningen äger rum på Club Tavastia i Helsingfors, där bandet stämmer instrumenten före konserten. Luften i lokalen är behagligt torr och temperaturen ligger på 25 °C.

i) *(6,5 points)* Bandets andra konsert äger rum i Libyen, där temperaturen ligger på 45 °C. Instrumenten är nu ostämda på grund av den brännande hettan, men tyvärr har bandet glömt ta med den utrustning de använder för att stämma instrumenten. Hur ostämda är instrumenten? Uppskatta vilken hörbar förändring det blivit för vart och ett av instrumenten för den ton som ursprungligen låg på 330 Hz.

ii) *(1,5 points)* Turnén avslutas med en privat spelning på en lungklinik. Temperaturen i behandlingsrummet ligger på 25 °C, men luften i rummet är utbytt mot en blandning av helium och luft (heliox). Hur påverkar detta det hörbara ljudet från de tre instrumenten?

Ljudhastighet i luft

$v_a = 331{,}3\,\mathrm{m/s}\sqrt{1 + \frac{t(^\circ\mathrm{C})}{273{,}15}}$

Ljudhastighet i heliox $v_t = 1{,}7 v_a$

Värmekapacitet för stål 450 J/kg · K

Densitet för stål 7900 kg/m^3

Smältpunkt för stål 1540 °C

Värmeledningsförmåga för stål 50 W/mK

Elasticitetsmodul för stål 200 GPa

Koefficient för termisk expansion, stål $12{,}0 \times 10^{-6}\,\mathrm{K^{-1}}$

Effekt hos elgitarrens förstärkare 500 W

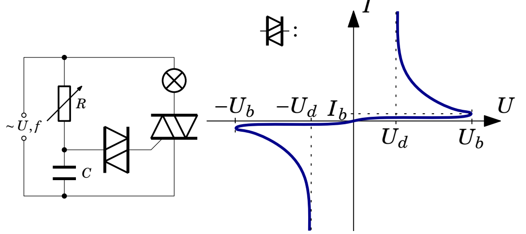
Diameter hos E-strängen på elgitarren 0,30 mm

Fri längd för E-strängen på elgitarren 65 cm

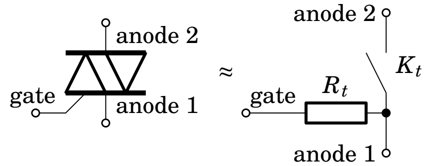
Frekvens för E-strängen på elgitarren 330 Hz

Du kan bortse från den effekt som hettan har på själva gitarrkroppen. Vilken ton som hörs bestäms av frekvensen för den transversella stående våg som uppstår i strängen. Vilken ton som hörs från piporgeln bestäms av frekvensen för den longitudinella stående våg som uppstår i pipan. Vilken ton som hörs från rörklockan bestäms av frekvensen för den transversella stående våg som uppstår i stålröret. Du kan använda dimensionsanalys när så är möjligt. Antag att elasticitetsmodulen för stål inte beror av temperaturen.

4. DIMMER (9 points) — *Siim Ainsaar.* En dimmer som reglerar ljusstyrkan för en lampa består av en rheostat (reglerbar resistor), en kondensator, en "diac" och en "triac" som satts ihop enligt kopplingen nedan.



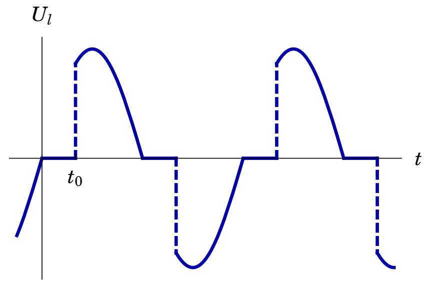
En diac är en komponent vars strömspänning-karakteristik anges i grafen ovan. En triac å andra sidan, kan ses som en strömbrytare som kontrolleras med en styrström — se ekvivalent koppling nedan.



Strömbrytaren K_t är öppen så länge som styrströmmen genom triac:ens grind ligger under gränsströmmen I_t. Den stänger när denna gränsström uppnås (oavsett riktning) och kvarstår stängd så länge det går en ström genom *brytaren* K_t (det spelar ingen roll hur stor ström som går genom grinden förrän strömbrytaren ånyo öppnar).

i) *(3 points)* Antag att resistansen R_t är tillräckligt stor för att den laddning som passerar genom diac:en ska kunna försummas. Låt den sinusformade matningsspänningen ha maxvärdet U och frekvensen f, låt rheostaten vara satt på resistansen R, och låt kondensatorns kapacitans ha värdet C. Bestäm maximala värdet på spänningen över kondensatorn, U_C. Bestäm också vilket fasskift, φ, denna spänning har i förhållande till matningsspänningen.

ii) *(2 points)* Vilken olikhet ska gälla mellan diac:ens karakteristiska spänningar U_b och U_d, triac:ens gränsström I_t och grindens resistans R_t för att tillse att triac:en omedelbart öppnas när diac:en börjar leda (när spänningen över kondensatorn ökar). Du kan anta att $I_b < I_t$ och att spänningen över diac:en vid strömmen I_t är U_d.



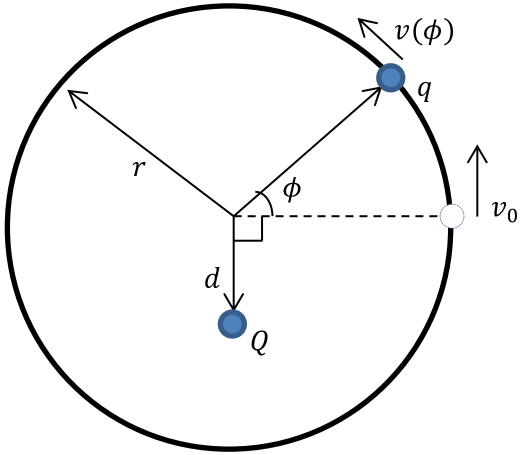
iii) *(2 points)* Spänningen U_l över lampan varierar enligt diagrammet ovan. Antag att de antaganden som gjorts i del i) gäller och att den olikhet som beskrevs i ii) också gäller. Bestäm under hur lång tid t_0 som spänningen över lampan är noll.

iv) *(2 points)* Använd t_0 och f för att ge ett uttryck för hur många gånger lägre lampans medeleffekt är än medeleffekten för motsvarande lampa utan dimmer. Antag att lampornas resistans är konstant.

5. GODISPAPPER (6 points) — *Eero Uustalu.* Mät godispapperets tjocklek d, och uppskatta hur stor onoggrannheten i din mätning är. *Materiel:* Godis, två pennor med sexkantigt tvärsnitt, gummiband, grön laser med våglängd $\lambda = 532\,\mathrm{nm}$, måttband, skärm, stativ. **Varning! Titta aldrig in i laserstrålen och rikta den aldrig mot andra!**

1. LADDNING PÅ EN RING **(7 points)** — *Andreas Isacsson.*

En punktformig partikel med massan m och laddning q glider fritt utan friktion längs en cirkulär ring med radie r. I ringens plan fixeras en laddning Q på avstånd d från ringens centrum, med $d < r$ (se figur).

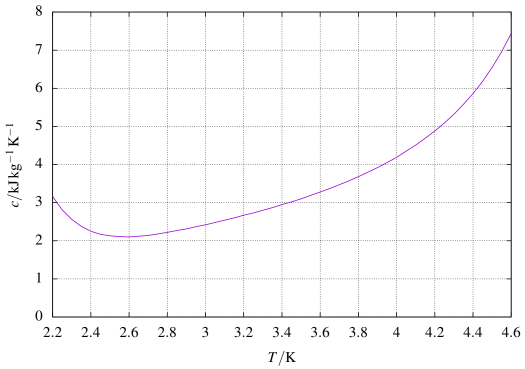


i) *(3 points)* Partikeln på ringen ges en starthastighet v_0. Beräkna dess hastighet v som funktion av vinkeln ϕ, $v(\phi)$.

ii) *(2 points)* Med hur stor kraft påverkar ringen partikeln, som funktion av vinkeln ϕ?

iii) *(2 points)* Viskös friktion kan modelleras med en kraft motriktad hastigheten, och med ett belopp proportionellt mot hastigheten, dvs. $|F_f| = m\gamma v$, där γ är en positiv konstant. Antag att partikeln på ringen påverkas av en sådan kraft. Givet en initial hastighet v_0, var stannar partikeln?

2. HELIUM **(6 points)** — *Jaan Toots.* Helium i vätskefas kyls ned under lågt tryck genom att vätskan då förångas och gasen pumpas bort. Den specifika ångbildningssentalpin för helium kan antas vara konstant, $\lambda = 22\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$. Vätskans specifika värmekapacitet $c(T)$ anges i grafen nedan (en uppförstorad graf finns på ett bifogat blad). Hur stor del av heliet måste förångas för att den kvarstående vätskan ska kylas ner från $T_0 = 4{,}1\,\mathrm{K}$ till $T_1 = 2{,}3\,\mathrm{K}$?



3. OSCILLATIONER **(7 points)** — *Lasse Franti.*

i) *(2 points)* En stålkula (massan $m = 1\,\mathrm{kg}$) har satts fast i en vertikal ideal fjäder. Detta har fått fjädern att förlängas med $x = 5\,\mathrm{cm}$. Kulan dras sedan nedåt en sträcka $s = 10\,\mathrm{cm}$ från jämviktsläget och släpps därefter. Den börjar då oscillera. Vilken längd skulle en matematisk pendel ha för att svänga med samma frekvens som detta system?

ii) *(2 points)* Genom en sfärisk asteroid borras ett hål längs en diameter. En astronaut släpper en sten i hålet för att undersöka vad som då händer. Visa att stenen kommer att svänga harmoniskt fram och tillbaka i hålet.

iii) *(2 points)* Astronauten vill sedan skicka ett paket till en vän som befinner sig i andra änden av hålet. Han kan antingen kasta iväg paketet horisontellt (runt asteroiden) eller släppa ner det genom det borrade hålet. Vilken väg kommer paketet snabbast fram?

iv) *(1 point)* En helt elastisk boll släpps från höjden $h = 50\,\mathrm{cm}$ ned mot ett horisontellt bord. Uppskatta perioden mellan studsarna. Är detta ett exempel på en enkel harmonisk oscillation? Varför/varför inte?

4. AVVIKELSE FRÅN LODLINJEN **(8 points)** — *Mihkel Kree.* Vid ekvatorn finns ett vertikalt gruvschakt med djupet $h = 100\,\mathrm{m}$. Anta att en stålkula får falla fritt, från schaktets topp, ner i schaktet och att luftmotståndet kan försummas. Föga förvånande kommer kulan inte att följa lodlinjen, eftersom jorden roterar. Beteckna avståndet mellan lodlinjen och nedslagspunkten med Δx. (Historisk not: Det korrekta uttrycket för Δx beräknades oberoende av varandra av Laplace and Gauss 1803.)

i) *(1 point)* Beräkna skillnaden i kulans hastighet Δv mellan schaktets topp och botten i ett absolut, icke-roterande referenssystem.

ii) *(1 point)* Försumma jordrotationen, men antag att kulan ges en horisontell hastighet Δv, sett från schaktets botten, när den släpps. Beräkna det horisontella avståndet Δx_0 när kulan når botten.

Uppenbarligen är det beräknade avståndet ii) inte helt korrekt, eftersom jordrotationen försummats och därmed corioliskraften. Turligt nog kan det korrekta uttrycket beräknas, utan att integrera corioliskraften (även om Laplace och Gauss gjorde det)

iii) *(6 points)* Antag att den fallande stålkulan följer en Keplerbana och ta också hänsyn till jordytans krökning. Beräkna det korrekta uttrycket för avståndet Δx mellan lodlinjen och nedslagspunkten. *Tips: Använd lämpliga approximationer för små tal och antag att det korta segment av ellipsen, som svarar mot kulans bana i gruvschaktet, kan approximeras med en parabel.*

5. SVART LÅDA **(10 points)** — *Mihkel Heidelberg, Jaan Kalda.* Den svarta lådan har tre anslutningssladdar: “blå”, “svart” och “vit”, och den innehåller två resistorer med resistanserna $R_1 < R_2 < 1\,\mathrm{k\Omega}$, samt en styck Zenerdiod. I det spänningsområde som vi kommer att använda beter sig Zenerdioden som en vanlig diod — den leder ström bra när det ligger en spänning över den i framriktningen, och dåligt när det istället ligger en spänning över den i backriktningen. Vi använder oss av en Zenerdiod för att den, när den är backspänd, ger en högre läckström än en vanlig diod, upp till 1 mA. Du kan i dina mätningar försumma den inre resistansen hos multimetern när det gäller alla spänningsmätningar, och när det gäller strömmätningar inom mätområdena 40 mA och 400 mA. Multimeterns inre resistans är $R_A = 100\,\Omega$ för mätområdena 400 μA och 4000 μA.

i) *(2 points)* Rita den krets som finns inuti den svarta lådan. Motivera din lösning med mätdata.

ii) *(4 points)* Mät resistanserna R_1 och R_2 och gör en feluppskattning.

iii) *(4 points)* Mät upp och rita Zenerdiodens ström-spänning-karakteristik. Använd så många mätpunkter som möjligt.

Materiel: Svart låda, spänningskälla (likspänning), multimeter.

Reta inte upp Eero genom att kortsluta spänningskällan med amperemetern (som finns i multimetern). Då går säkringen!