

Zadání V. série



Termín odeslání: 10. dubna 2000

Úloha V.1 ... *porucha sluchu*

Jeden z organizátorů Fykosu si sehnal dva stejné reproduktory, které umístil na louku 4 m od sebe. Zapojil je na jeden magnetofon, ze kterého do nich pustil tón *komorní a*. Začal se procházet a co se nestalo: V některých místech louky neslyšel skoro nic. Vaším úkolem je nakreslit ve vhodném měřítku obrázek, ve kterém vyznačíte místa, kde organizátor skoro nic neslyšel. Jev vysvětlete.

Úloha V.2 ... *supertermoska*

Princip termosky je následující: Máme dvě souosé válcové stěny, které se vzájemně nedotýkají, mezi nimi je vyčerpán vzduch. Energie se zde může přenášet pouze zářením. Pro naše účely budeme stěny termosky považovat za absolutně černá tělesa (ve skutečnosti tomu tak nebývá). Teplotu vnitřní stěny označíme T_1 , teplotu vnější T_2 . Tyto teploty budeme dále považovat za konstantní. Odtok tepla (za jednotku času) v tomto jednoduchém případě nechť je Q_0 . Vlastnosti termosky však můžeme vylepšit, vložíme-li mezi stěny ještě jednu dokonale vodivou (absolutně černou) válcovou desku. Určete, jak se změní odtok tepla po ustálení teploty vložené desky. Ve vylepšování můžeme pokračovat... Spočtete, jak se odtok tepla změní, vložíme-li n vzájemně se nedotýkajících válcových desek. (Vzdálenosti krajních desek jsou malé oproti rozměrům termosky, velikosti jejich povrchů můžeme tedy považovat za stejné.)

Úloha V.3 ... *kyvadlo*

Mějme rotační těleso o hmotnosti m . Na jeho ose zvolme body A a B vzdálené d . Zavěsíme-li těleso v bodě A, kývá se se stejnou periodou, jako když jej zavěsíme v bodě B. Moment setrvačnosti vzhledem k ose procházející těžištěm a kolmé na osu rotační symetrie je J . Určete všechny možné polohy těžiště tělesa vzhledem k bodům A a B.

Úloha V.4 ... *letící tyč*

Mějme v rovině dvě na sebe kolmé přímky a a b . V přímce a letí tyč délky $l = 5 \cdot 10^7$ m rychlostí $v = 6 \cdot 10^6$ ms⁻¹ (tyč je s přímkou rovnoběžná a její střed na ní neustále leží). Vaším úkolem je určit, jaký bude průběh „viděné“ (viz dále) délky tyče v závislosti na její vzdálenosti od průsečíku přímek. Tyč pozorujeme z přímky b v takové vzdálenosti od průsečíku, která je zanedbatelná vůči vzdálenosti tyče od průsečíku.

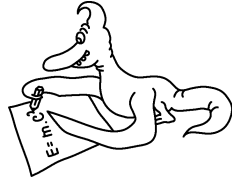
„Viděná“ délka tyče: k přímce a přiložíme pravítko a letící tyč vyfotografujeme. „Viděnou“ délkou tyče pak rozumíme rozdíl hodnot krajních bodů tyče odečtených z pravítka z fotografie.

Úloha V.P ... *zamrzání rybníku*

Odhadněte, za jak dlouho naroste led na rybníce z deseti centimetrů na dvacet. Teplota vzduchu je stále pět stupňů pod bodem mrazu. Potřebné konstanty naleznete v tabulkách.

Úloha V.Exp ... *modul pružnosti vlasu*

Změřte periodu torzních kmitů lidského vlasu. Z ní pak určete modul pružnosti vlasu ve smyku. Napovíme vám, že pro kroutící moment síly M působící na válec délky l a poloměru r , který je vyroben z materiálu o modulu pružnosti ve smyku G , platí vztah $M = \pi r^4 G \varphi / 2l$, kde φ je úhel stočení spodní podstavky vůči horní podstavě (zkuste si jej odvodit). Pokud nedisponujete dostatečně dlouhými vlasy, požádejte nějakou dlouhovlasou osobu o darování několika exemplářů a směle se pusťte do měření.



Řešení III. série

Úloha III.1 ... asfaltoví holubi (3 body, řešilo 96 studentů)

Na pokusné střílnici se nachází vrhač asfaltových holubů. Ve vzdálenosti d od něj stojí myslivec, snažící se zasáhnout letící cíl. Pod jakým úhlem α musí namířit, aby se trefil, víme-li, že na zamíření potřebuje čas τ (tj. čas od vrhu holuba do výstřelu)? Asfaltoví holubi jsou vrháni kolmo vzhůru rychlostí $v_h = 25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, náboj opouští hlaveň rychlostí $v_0 = 400 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, vzdálenost $d = 50 \text{ m}$ a čas $\tau = 2 \text{ s}$. Odpor prostředí zanedbejte.

Pozorujme celou situaci očima dalšího myslivce (dále pozorovatel), sedícího na nedalekém posedu (jak to navrhl Pavel Augustinský). Za dobu τ vylétne holub do výšky $h_0 = v_h \tau - \frac{1}{2} g \tau^2$ a bude mít rychlost $v_{h1} = v_h - g\tau$. V okamžiku výstřelu pozorovatel spadne z posedu a padá volným pádem dolů. Pozorovatel vidí, že střela i holub letí rovnoměrně přímočaře (neboť jeho soustava není inerciální a setrvačná síla kompenzuje sílu tíhovou). Označme místo, odkud jsou vrháni holubi C , místo, kde stojí myslivec A , a místo srážky holuba se střelou B . Zkušený pozorovatel pozná v trojúhelníku ABC pravoúhlý trojúhelník. Tento trojúhelník má strany

$$a = h_0 + v_{h1}t, \quad b = d, \quad c = v_0t,$$

kde t je čas od okamžiku výstřelu. S užitím Pythagorovy věty dostaneme pro čas t kvadratickou rovnici

$$t^2(v_{h1}^2 - v_0^2) + 2th_0v_{h1} + h_0^2 + d^2 = 0.$$

Řešením této rovnice dostaneme pro zadané hodnoty dva časy $t_1 \doteq 0,1473 \text{ s}$ a $t_2 \doteq -0,1453 \text{ s}$, z nichž pouze t_1 má v našem případě smysl. Pro úhel α máme

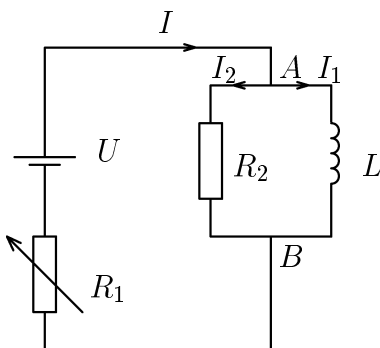
$$\cos \alpha = \frac{d}{v_0 t_1} \Rightarrow \alpha = 31^\circ 56'.$$

V řešení jsme samozřejmě předpokládali, že vrhač holubů je ve stejné výšce, jako konec hlavně pušky.

Václav Porod

Úloha III.2 ... supravodič (5 bodů, řešilo 29 studentů)

Mějme následující obvod:



Obr. 1

Část obvodu obsahující R_2 a $L(10 \text{ H})$ je ponořena do kapalného hélia. Vodiče v této části jsou supravodivé (mají nulový odpor). Vyndáme-li R_2 z hélia, má odpor 5Ω .

První experiment probíhá následovně: Proud I měníme pomocí R_1 tak, aby v časovém intervalu (t_0, t_1) byl konstantní 1 A , v (t_1, t_2) rovnoměrně klesal na nulu, v (t_2, t_3) rovnoměrně stoupal na $0,5 \text{ A}$ a dále byl konstantní. V čase t_3 rezistor R_2 vyndáme z hélia a v čase t_4 jej tam opět spustíme. V t_0 je $I_1 = I_2 = 0,5 \text{ A}$. Určete časový průběh I_1 a I_2 v časovém intervalu (t_0, t_4) .

Druhý experiment probíhá následovně: Na počátku je $R_2 = 0 \Omega$, $I_1 = 0 \text{ A}$, $R_1 = 7,5 \Omega$, $I = 0,5 \text{ A}$. R_1 se dále nemění. V čase t_1 vyndáme R_2 z hélia a v čase t_2 jej tam opět spustíme. Načrtněte do grafu průběh časové závislosti I , I_1 , I_2 .

Celá tato úloha se točila kolem Faradayova zákona elektromagnetické indukce:

$$U = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Tento zákon říká, že napětí na cívce způsobuje změnu procházejícího proudu. A naopak, že na cívce, kterou prochází proměnný elektrický proud, se indukují napětí. Při řešení úlohy je nesmírně důležité si uvědomit (všichni, kteří mají dva a méně bodů, si to neuvědomili), že pokud na cívce není napětí, je proud I_1 konstantní.

V prvním experimentu (obr. 2) je až do času t_3 odpor R_2 nulový, tedy napětí mezi uzly A a B je podle Ohmova zákona nulové, a proud I_1 zůstává konstantní. Podle Kirchhoffova zákona musí být neustále $I_1 + I_2 = I$. Proud I je zadán, I_1 je až do t_3 konstantní, tedy I_2 je v čase (t_0, t_3) jednoznačně určen vztahem $I_2(t) = I(t) - I_1(t_0)$. Protože v čase t_3 je $I_2 = 0$ A, je napětí mezi uzly A a B nulové i nadále a rezistorem R_2 nezačne protékat žádný proud. I se dle zadání nemění, je tedy dále konstantní i I_1 .

Ve druhém experimentu (obr. 3) zůstávají hodnoty až do t_1 konstantní. V t_1 vyndáme rezistor z hélia. Cívkou v tom okamžiku ještě žádný proud neprochází, proto proud I a také I_2 klesne na hodnotu

$$I = I_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 I(t_0)}{R_1 + R_2}.$$

Dále bude proud I_2 klesat k nule, I_1 se bude dle Faradayova zákona stále pomaleji zvětšovat a I bude narůstat zpět k původní hodnotě. Toto nám jako úplné řešení úlohy stačilo. Průběh proudu však můžeme s použitím integrálního počtu spočítat přesně. Matematicky řečeno budou platit rovnice:

$$R_2 I_2 = L \frac{dI_1}{dt}, \quad U = R_2 I_2 + R_1 (I_1 + I_2),$$

kde $U = R_1 I(t_0)$ je napětí zdroje. Dosazením I_2 ze druhé rovnice do první získáme separovatelnou diferenciální rovnici. Přihlédneme-li k počáteční podmínce $I_1(t_1) = 0$ A, dostaneme řešení:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} \left[1 - \exp \left(-\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)} (t - t_1) \right) \right], \\ I_2 &= \frac{U}{R_1 + R_2} \exp \left(-\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)} (t - t_1) \right), \\ I &= \frac{U}{R_1} \left[1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \exp \left(-\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)} (t - t_1) \right) \right]. \end{aligned}$$

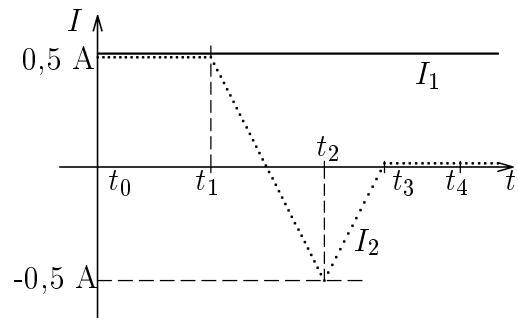
V čase t_2 po spuštění rezistoru do hélia, bude mezi A a B opět nulové napětí, proud I_1 tedy zůstane konstantní. I bude také konstantní a velký jako na začátku $I = U/R_1$, neboť odpor supravodivé části bude nulový. Dále podle Kirchhoffova zákona $I_2 = I - I_1$. Ještě nutno podotknout, že konečné velikosti proudů závisí na délce časového intervalu (t_1, t_2) , pro načrtnutí grafu jsme volili $t_2 - t_1 = 5$ s.

Lenka Zdeborová & Jiří Libra

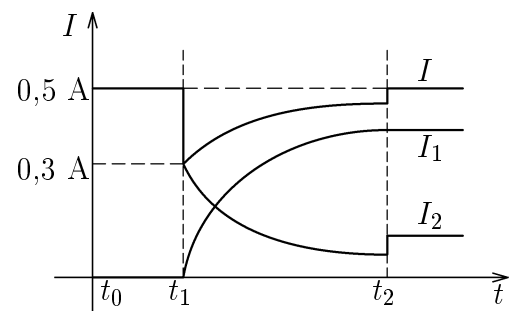
Úloha III.3 ... a přece se točí (4 body, řešilo 41 studentů)

Uvažte měděný kruhový závit o poloměru $R = 10$ cm, který leží na stole v magnetickém poli Země (vektor magnetické indukce je rovnoběžný se stolem, který se nachází na rovníku). Poloměr drátu je $r = 0,3$ mm. Závitem prochází proud I . Určete I tak, aby se závit překlopil (předpokládejte, že tření je dostatečně velké, takže závit neproklouzne).

Na element vodiče působí síla $d\mathbf{F} = I(d\mathbf{l} \times \mathbf{B})$, celková síla působící na závit bude nulová kvůli symetrii závitů. Pro nás je však rozhodující moment síly vůči ose otáčení. Nazvěme horní částí tu,



Obr. 2



Obr. 3

kteřá je blíže k severnímu zemskému pólu, a dolní tu, která je blíže k jižnímu. Vidíme, že když je směr oběhu pravotočivý, tak podle pravidla pravé ruky na horní půlce působí všechny síly směrem nahoru, a na dolní směrem dolů, takže nám vzniká dvojice sil, která se snaží převrátit kruh kolem osy kolmé k \mathbf{B} a blíže k jižnímu pólu. K této ose teď spočítáme moment sil při nakloněném závitě vůči stolu.

Nechť závit leží na stole, úhel mezi \mathbf{B} a $d\mathbf{l}$ označme φ . Síla působící na element $d\mathbf{l}$ má velikost $dF = BI dl \sin \varphi$ a směr kolmý na rovinu stolu. Na element $d\mathbf{l}'$, který je k $d\mathbf{l}$ symetrický vzhledem k ose, která prochází středem závitu a je rovnoběžná s osou otáčení, působí stejně velká síla opačného směru. Moment dvojice těchto sil je $dM = BI dl s \sin \varphi$, kde s je vzdálenost obou elementů. Plocha omezená elementy $d\mathbf{l}$ a $d\mathbf{l}'$ má velikost právě $dl s \sin \varphi$. Sečteme-li všechny dM dostaneme pro celkový moment $M = BIS$, kde S je plocha celého závitu. Je-li smyčka vzhledem ke stolu skloněna o úhel α , na celkovém momentu se podílí jen složka \mathbf{B} rovnoběžná s rovinou závitu, neboli

$$M = BIS \cos \alpha = \pi R^2 BI \cos \alpha$$

Tento výsledek lze dokonce zobecnit pro libovolnou rovinnou smyčku $\mathbf{M} = I(\mathbf{S} \times \mathbf{B})$, kde \mathbf{S} má směr normály plochy.

Na určení, kdy se postaví kroužek do svislé polohy, potřebujeme znát ještě velikost momentu tíhové síly

$$M_g = mgR \cos \alpha = V \rho g R \cos \alpha = 2\pi^2 R^2 r^2 \rho g \cos \alpha .$$

Potom podmínka pro to, aby se závit zvedl, je $M > M_g$:

$$BI\pi R^2 \cos \alpha > 2\pi^2 R^2 r^2 \rho g \cos \alpha$$

Vidíme, že když se kroužek zvedne na začátku, bude se zvedat až do svislé polohy (podmínka nezávisí na úhlu α).

$$I > \frac{2\pi r^2 \rho g}{B} = 1650 \text{ A}$$

po dosazení konkrétních hodnot $r = 0,3 \text{ mm}$, $\rho = 8930 \text{ kgm}^{-3}$ a $B = 30 \mu\text{T}$. Vidíme, že proud je příliš velký, a jak mnozí poznamenali, drát by se roztavil.

Miroslav Kladiva

Úloha III.4 ... My name is James Bond (4 body, řešilo 46 studentů)

Představme si autíčko, které jede po letišti rovnoměrně přímočaře (vzhledem k letištní hale) rychlostí \vec{v} . Kromě autíčka stojí na letišti sličná letuška (nestojí na přímce, po které se pohybuje autíčko). V okamžiku, kdy je autíčko letušce nejbližší (t.j. spojnice autíčko — letuška je kolmá na \vec{v}), se řidič rozhodne, že dojede letušku navštívit. Autíčko dokáže v libovolném směru vyvinout zrychlení o maximální velikosti a . Za jaký nejkratší čas se autíčko dostane k letušce? Čas se počítá od okamžiku fatálního rozhodnutí. Předpokládejte, že auto u letušky nebude zastavovat ani přibrzďovat. (Nápověda: Uvažujte různé vztažné soustavy.)

Jak už bylo v návodu uvedeno, je vhodné k řešení úlohy použít nějakou výhodnou inerciální soustavu. Nejvýhodnější je inerciální soustava, v níž je autíčko ve chvíli, kdy je letušce nejbližší, v klidu. Tato soustava se vůči soustavě spojené s letuškou, bude pohybovat rychlostí o velikosti v . Letuška se tedy bude v této soustavě pohybovat rychlostí také o velikosti v , ale opačného směru. Všechny následující úvahy budeme dělat v této soustavě. Nejrychleji autíčko letušku dostihne, bude-li se pohybovat po přímce s maximálním zrychlením. Že je tato dráha nejrychlejší, je zřejmé z toho, že dráha bude po přímce nejkratší a také proto, že zrychlení bude stále ve směru pohybu. Za čas t urazí dráhu $1/2at^2$. Letuška za tuto dobu urazí dráhu o délce vt . Označíme-li d vzdálenost letušky od autíčka v čase $t = 0$, bude v okamžiku, kdy auto letušku dostihne, platit:

$$d^2 + (vt)^2 = (1/2at^2)^2 .$$

To je vlastně kvadratická rovnice pro t^2 . Jejím jediným kladným řešením je:

$$t = \frac{\sqrt{2v^2 + 2\sqrt{v^4 + a^2d^2}}}{a} .$$

Závěrem můžeme podotknout, že stejné řešení lze získat i v soustavě spojené s letuškou, ale v této soustavě není zřejmá časová výhodnost řešení.

Karel Honzl

Úloha III.P ... šup sem, šup tam (5 bodů, řešilo 18 studentů)

Spočítejte frekvenci kmitů atomů v krystalu $NaCl$. Můžete si úlohu zjednodušit tak, že budete uvažovat pouze coulombovské působení sousedních atomů. Jako bonus můžete spočítat i amplitudu výchylky.

Jak jste se mohli přesvědčit, tenhle příklad byl těžký (a počet řešitelů tomu napovídá). Způsoby řešení byly obecně různé, téměř každý se pokusil řešit problém svým způsobem.

Představme si, že máme atom (zatím je nám jedno, jestli Na nebo Cl), který kmitá mezi dvěma jinými, o kterých předpokládejme, že se nepohybují. Představme si, že systém našich atomů je v rovnováze*) a my teď vychýlíme prostřední z nich o Δ směrem k sousednímu atomu. Platí:

$$F = F_B - F_A = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{(d - \Delta)^2} - \frac{1}{(d + \Delta)^2} \right) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{4\Delta d}{(d^2 - \Delta^2)^2}$$

V čitateli jsme položili efektivní náboj Na i Cl roven e , protože jeden elektron z elektronového obalu Na přejde do valenční vrstvy atomu Cl , tedy Na se změní v iont Na^+ a Cl v Cl^- . Ve jmenovateli můžeme Δ^2 zanedbat vůči d^2 a dostaneme:

$$F = \frac{-e^2}{\pi\epsilon_0 d^3} \cdot \Delta = -\kappa \cdot \Delta$$

Vidíme, že síla je přímo úměrná výchylce. Formálně (co do zápisu) je tato síla totožná se silou pružnosti při harmonických kmitech pružiny. Jestliže na soustavu působí síla úměrná výchylce (a samozřejmě proti pohybu), potom soustava kmitá s úhlovou frekvencí $\omega = \sqrt{\kappa/m}$. Můžeme tedy říct, že atom bude kmitat s úhlovou frekvencí

$$\omega = \sqrt{\frac{e^2}{\pi\epsilon_0 d^3 m_{at}}} \implies f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{\pi\epsilon_0 d^3 N m_p}}, \quad (1)$$

kde $2\pi f = \omega$, a hmotnost atomu jsme položili rovnu nukleonovému číslu N násobenému hmotností protonu m_p . Jediné, co ještě ve vztahu (1) neznáme, je vzdálenost dvou atomů v $NaCl$. Spočteme ji následovně:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{1}{2}(m_{Na} + m_{Cl})}{d^3} = \frac{m_{Na} + m_{Cl}}{2d^3} = \frac{(N_{Na} + N_{Cl}) m_p}{2d^3} \implies$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{(N_{Na} + N_{Cl}) m_p}{2\rho}} = 0,3 \text{ nm} \quad (2)$$

protože krystal je složen napůl z Na a napůl z Cl . $\rho = 2200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ je hustota kuchyňské soli.

Jestliže rovnici (2) dosadíme do (1), dostáváme konečný výsledek:

$$f = \sqrt{\frac{e^2 \rho}{2\pi^3 \epsilon_0 (N_{Na} + N_{Cl}) N_{Na(Cl)} m_p^2}} \approx 5 \cdot 10^{12} \text{ Hz} \quad (3)$$

Podobný výsledek se dá získat i jinými způsoby, např. pomocí Hookova zákona. Jiný, zajímavější způsob navrhl Peter Čendula. Povrch krystalu si představil jako povrch černého tělesa (ve

*) Systém, který popisujeme, by byl nestabilní, kdybychom uvažovali jenom coulombické síly. Důvod, proč jsou atomy v krystalech v takové vzdálenosti jak jsou, tkví v kvantové mechanice a nebudeme ho rozebírat. Nám bude stačit skutečnost, že existuje poloha, ve které jsou atomy v krystalu v rovnováze.

skutečnosti to však černé těleso není). Vyzařování fotonů je vázáno kmity mřížky krystalu, to znamená, že vyzařené fotony budou mít frekvenci blízkou frekvenci vlastních kmitů mřížky (alespoň řádově). Platí:

$$\lambda_m = \frac{b}{T} = \frac{c}{\nu_m} \approx \frac{c}{f} \implies f \approx \frac{cT}{b} = 3 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$$

Vzhledem k tomu, že jsme dělali jenom řádový odhad, tak jsme nerozlišovali mezi frekvencí kmitů N_a a C_l . Podle vztahu (3) budou tyto obecně různé, ale protože $N_{Na} \approx N_{Cl}$, nebudou se příliš lišit. Ještě si spočteme poměr těchto frekvencí: podle vztahu platí

$$\frac{f_{Na}}{f_{Cl}} = \sqrt{\frac{N_{Cl}}{N_{Na}}} = 1,25 .$$

Amplitudu kmitů odhadneme postupem, který mnozí z vás znají. Jmenuje se *ekvipartiční teorém* a říká, že na každý stupeň volnosti částice připadá energie $E = kT/2$, kde $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ je Boltzmannova konstanta. Stupněm volnosti se rozumí, kolik různých pohybů může částice vykonávat. Např. atom He v plynném stavu má tři stupně volnosti, může se pohybovat ve směru os x, y, z . Molekula plynného vodíku H_2 má stupňů volnosti 5. Tři posuvné jako hélium, a dva rotační. Třetí rotační stupeň volnosti je degenerován, osa rotace je rovnoběžná s vazbou. Kdyby se točila kolem této osy, tak vidíme stejný stav, jako by se netočila.

Podle ekvipartičního teorému a zákona zachování energie tedy platí pro jeden atom uvnitř krystalu (v krystalu připadá na jeden atom šest stupňů volnosti, neboť harmonický oscilátor má dva stupně volnosti a atom může kmitat ve všech třech osách)

$$E_{kin} = 3kT = \frac{1}{2} \kappa \Delta_{celk}^2 .$$

Výchyly v osách x, y, z se sčítají, a jsou samozřejmě stejné (jinak by existoval v krystalu význačný směr), platí tedy

$$\Delta_{celk}^2 = \Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2 = 3\Delta^2 .$$

Tedy celková amplituda bude

$$\Delta_{celk} = \sqrt{\frac{6kT}{\kappa}} = \sqrt{\frac{6kT\pi\epsilon_0 d^3}{e^2}} \approx 10^{-11} \text{ m} .$$

Amplituda mezi dvěma atomy bude zhruba poloviční ($1/\sqrt{3}$). Vidíme, že skutečně $\Delta \ll d$.

Pavol Habuda

Úloha III. Exp ... hustota lihu (8 bodů, řešilo 55 studentů)

Sežňte si stopky, dostatečné množství lihu (denaturovaného) a nekalibrovaný hustoměr (či dřevěnou tyčku zatíženou závažíčkem), u kterého si můžete zjistit rozměry a hmotnost. Navrhněte vhodnou metodu, ve které použijete zmíněné pomůcky, a změřte hustotu lihu.

V této experimentální úloze, kde se měla za pomoci měření času určit hustota lihu, jste postupovali v zásadě dvěma různými způsoby.

1. Volný pád — na těleso ponořené do kapaliny působí síla vztlaková a tíhová. Vezmeme tedy předmět, který má větší průměrnou hustotu než líh, ponoříme jej těsně pod hladinu a pustíme. Předmět začne padat, přičemž na něj bude působit ještě síla odporová, o té se většina řešitelů vůbec nezmínila nebo ji zanedbali bez většího zdůvodňování. Je třeba si uvědomit, že odporovou sílu zanedbat a pohyb považovat za rovnoměrně zrychlený můžeme jen tehdy, pohybujeme-li se v rychlostech mnohem menších než je takzvaná ustálená rychlost (tou se těleso pohybuje, vyrovná-li se síla tíhová se vztlakovou a odporovou). V případě předmětů, které jste používali, bylo zanedbání naštěstí většinou oprávněné. Pro pád tedy přibližně platí $mg - V\rho_k g = 2ms/t^2$, a tedy pro hustotu lihu

$$\rho_k = \frac{m}{V} \left(1 - \frac{2s}{gt^2} \right) ,$$

kde s je délka dráhy, po které předmět padá, t je doba pádu. Pro měření touto metodou jste vybírali tělesa, která v lihu padají pomalu, abyste si usnadnili měření času. Jejich hustoty tedy musely být hodně blízké hustotě kapaliny a tedy ve vzorci pro ρ_k působí člen $\frac{2s}{gt^2}$ pouze jako malá korekce, neboť pro malé s (desítky cm) a velké t (sekundy) je mnohem menší než jednička. Toto jste si neuvědomili zejména při určování chyb měření. Většina pouze pro různé časy spočetla ρ_k a tyto hodnoty pak statisticky vyhodnotila, aniž by si uvědomila, že největší chyba je způsobena nepřesností měření hmotnosti a objemu tělesa. Mnozí se ani nezmínili o tom, že jejich měření objemu a hmotnosti tělesa vůbec nějakou chybu mělo.

V zadání úlohy bylo napsáno, že máte při měření použít hustoměr či předmět jemu podobný, z tohoto hlediska tato metoda nebyla zcela korektní, neboť hustoměr má samozřejmě menší hustotu než líh. Pár řešitelů se tomuto problému šalamounsky vyhnulo, když místo času pádu měřili čas výstupu tělesa ze dna na hladinu.

2. Kmity a kyvy — měřili jste periody všemožných kmitů a kyvů hustoměru v lihu. Nejčastější a nejjednodušší bylo měření periody vertikálních kmitů. My jsme místo hustoměru použili zkumavku zatíženou tak, aby v lihu plavala stabilně v poloze naznačené na obrázku 4 (bude muset být poměrně hodně ponořena). Po vychýlení o y z rovnovážné polohy, je-li směr g kladný, je celková síla působící na zkumavku $F = -S\rho_k g y$ (S je průřez zkumavky v místě hladiny) a tedy dle Newtonova pohybového zákona $ma + S\rho_k g y = 0$. Tato rovnice je analogická s pohybovou rovnicí harmonického oscilátoru. Tuhost pružiny je zde zastoupena součinem $S\rho_k g$, z periody kmitů získáme po uvážení $S = \pi d^2/4$ vztah pro hustotu lihu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{S\rho_k g}} \quad \Rightarrow \quad \rho_k = \frac{16\pi m}{gT^2 d^2}.$$

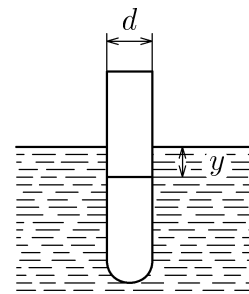
Dosud jsme se nezmínili, jakou roli v tomto případě hraje tlumení. Pokud předpokládáme, že tlumící síla je přímo úměrná rychlosti ($F = -bmv$), je pohyb popsán rovnicí

$$y = Ae^{-bt} \sin(\omega^* t + \varphi), \quad \text{kde } \omega^* = \sqrt{\omega^2 - b^2},$$

ω je úhlová frekvence netlumených kmitů. Pro koeficient b tedy platí

$$b = \frac{1}{T} \ln \frac{y_0}{y_T}.$$

Obr. 4



Z měření vyplynulo, že perioda je přibližně 0,7 s a výchylka se po jednom kmitu zmenší asi na polovinu, tedy b je přibližně 1 s^{-1} , z čehož plyne, že perioda tlumených kmitů bude asi jen o 0,5 % větší, než perioda kmitů netlumených. Tlumení můžeme tedy bez obav zanedbat.

Dostáváme se k samotné realizaci pokusu. Při měření jsme použili technický líh. Nejprve musíme změřit hmotnost zatížené zkumavky a mikrometrem její průřez v místě, kde byla hladina lihu. Uvedeme zde jen výsledky s chybami měření: $d = (15,25 \pm 0,03) \text{ mm}$, $\delta d = 0,2 \%$, $m = (18,35 \pm 0,05) \text{ g}$, $\delta m = 0,3 \%$. Dále jsme měřili čas čtyř period (pak už bylo kmitání příliš utlumené). Časy jsou uvedeny v následující tabulce.

4T(s)	2,75	2,91	2,83	2,68	2,73	3,01	2,85	2,79	2,77	2,81
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Průměrná hodnota: $\bar{T} = 0,703 \text{ s}$

Standardní odchylka: $s_{st} = 0,022 \text{ s}$

Systematická chyby: $s_{sys} = 0,02 \text{ s}$ (tento odhad souvisí s reakční dobou)

Celková chyba: $s_{celk} = 0,03 \text{ s}$

Relativní odchylka: $\delta T = 4 \%$

Z průměrných hodnot spočteme průměrnou hustotu $\bar{\rho}_k = 818 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a relativní odchylku $\delta\rho_k = \sqrt{(2\delta T)^2 + (2\delta d)^2 + (\delta m)^2} = 8 \%$. Výsledek tedy je $\rho_k = 820 \pm 70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tabulková hodnota hustoty lihu je $\rho_k = 789 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je v dobré shodě s naším výsledkem. Chybu měření způsobilo především nepřesné měření času.

Lenka Zdeborová & Jiří Libra

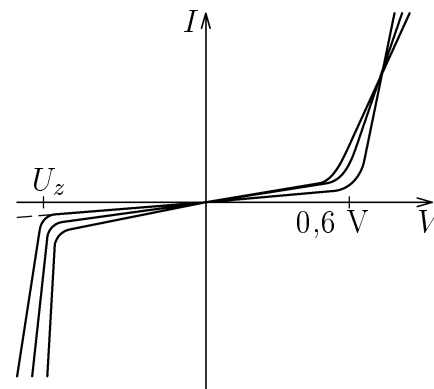
Úloha S . III ... diodová charakteristika (5 bodů, řešilo 17 studentů)

Uvažujme reálnou křemíkovou diodu s přechodovým napětím 0,6 V při pokojové teplotě (fyzici pro jednoduchost považují za pokojovou teplotu 300 K, oproti normální 20 °C = 293 K, protože se s tím lépe počítá a lépe se to pamatuje). Pokuste se z uvedených rovnic (i v minulých dílech seriálu) odhadnout, jak se bude dioda chovat při zvýšení teploty o 10 K, 20 K a 40 K. Není třeba do puntíku počítat, co se přesně stane, jde pouze o kvalitativní odhady. Ti, kdo mají možnost, mohou odhady ověřit měřením — k měření voltampérové charakteristiky je třeba pouze dioda, ochranný odpor (nikdy nezapojujte diodu v propustném směru přímo na napětí!), zdroj napětí, voltmetr a ampérmetr. Odhady by měly být pro přehlednost aspoň schematicky nakreslené v nějakém grafu. Zaměřte se zejména na velikost závěrného proudu a polohu kolena v propustném směru.

Nejprve je třeba si uvědomit, že charakteristiku musíme rozdělit na část, kde platí diodová rovnice (nebo platí přibližně pro reálnou diodu), a na část, kde se charakteristika od předpovědi diodové rovnice zásadně liší díky vlivu, který jsme nezapočítali. Snadno zjistíme, že diodová rovnice dává správnou předpověď mimo průraz diody, tedy pro napětí větší než je Zenerovo. Proto musíme vyšetřovat odděleně charakteristiku pro $U > U_Z$ a pro okolí průrazu.

V oblasti nad Zenerovým napětím platí pro ideální diodu diodová rovnice. Neideální dioda má ještě navíc přidáný odpor sériově s ideální diodou. To znamená, že změna teploty může mít vliv na velikost odporu a na vlastnosti ideální diody. Zabývejme se nejdříve odporem — ten je ekvivalentní vnitřnímu odporu polovodičových vrstev v diodě. Vrstvy nejsou čisté polovodiče, mají donorové a akceptorové příměsi, proto se budou chovat podle grafu v druhém dílu seriálu. Protože nevíme nic konkrétního o příměsi, nemůžeme jednoznačně říci, jestli se zvýšením teploty se odpor polovodiče zvětší nebo naopak. Navíc v diodě jsou dvě vrstvy s odlišnou příměsí, takže celkový vliv je kombinací jednotlivých změn odporu. Rozumné je předpokládat, že příměsi jsou při pracovní teplotě ionizovány z velké části, takže změna odporu polovodičové vrstvy nebude se změnou teploty nijak drastická — pouze nevíme, jaké bude znaménko této změny.

Zabývejme se ideální diodou. V diodové rovnici vystupují dva členy, které by se mohly měnit v závislosti na teplotě. Jednak je to vlastní termodynamická teplota T , ta se mění určitě, a pak zbytkový proud I_0 . Ponechme prozatím zbytkový proud beze změny a zabývejme se vlivem explicitního dosazení teploty. Snadno ověříte, že způsobuje pouze lineární transformaci napěťové osy, tzn. při zvýšení teploty se charakteristika pouze „roztáhne“. Tím se posouvá koleno v propustném směru k vyšším napětím a snižuje se závěrný proud. A změny zbytkového proudu? V prvním dílu byl uveden vztah pro vodivost (uvažujme jej pouze pro elektrony) $\sigma_e = en_e\mu_e = 1/\varrho_e$, kde ϱ_e je měrný odpor vzhledem k elektronům. Velikost zbytkového proudu bude jistě úměrná pohyblivosti a koncentraci nosičů, takže bude úměrný vodivosti. Změna zbytkového proudu je tedy opačná než změna odporu polovodiče a nevíme, jakým směrem se změní. Vliv zbytkového proudu je ten, že při zvýšení proudu se charakteristika roztáhne, tentokrát v proudové ose.



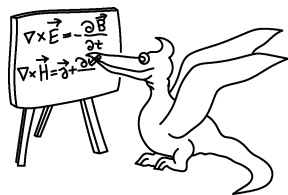
Obr. 5

Stanovit posuv Zenerova napětí není jednoduché, protože neznáme všechny jevy spojené s průrazem. Uvolnění elektronů do vodivostního pásu můžeme vytvořením odlišného prostorového náboje v oblasti přechodu Zenerovo napětí ovlivnit. Převládat bude zřejmě tepelná excitace elektronů do vyšších energetických hladin, což způsobí, že část elektronů s vysokou energií přejde v závěrném směru snadněji. Pokud bude počet takových elektronů velký, tzn. zvýší se dostatečně teplota, mohou způsobit např. lavinový průraz již při nižším napětí, než je Zenerovo napětí při teplotě 300 K. Výsledkem je posuv kolena v závěrném směru směrem k nižším napětím v absolutní hodnotě.

Jevy účastníci se na změně charakteristiky v propustném směru se míchají s různou vahou pro různé typy diod, proto není snadné určit, jak se obecně mohou diody chovat. Z hlediska užítí

v elektronice je vhodné konstruovat součástky, které se chovají „rozumně“, tzn. převažuje jeden typ deformace charakteristiky. Charakteristika obecné diody může vypadat i podle obrázku 5.

Tomáš Ostatnický

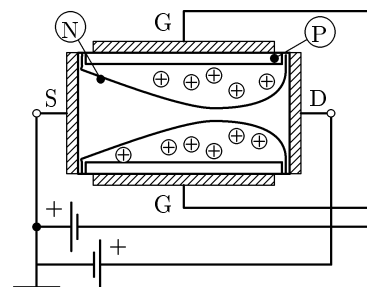


Seriál na pokračování

Unipolární tranzistory

Bipolární tranzistory se nazývají bipolární, protože jejich funkce je založena na proudu volných nosičů náboje obou polarit. Unipolární tranzistory fungují na jiném principu. Ale proč se vlastně máme zabývat jiným typem tranzistorů, když bipolární zesilují proud i napětí a lze je vyrobit tak, aby zesilovaly i velké proudy či napětí? Vysvětlení je jednoduché. Jsou totiž řízeny bázovým proudem nebo emitorovým proudem. A každý si jistě domyslí, že tento proud není zanedbatelný. Chceme-li spínat proudy větší než 1 A, musíme je spínat bázovým proudem I/β (v zapojení se společným emitorem). Není problém vhodně volit parametr α tak, aby proudové zesílení bylo dostatečné a nemuseli jsme do báze pouštět příliš velký proud, ovšem, jak bylo nastíněno v minulém dílu, zároveň se zvětšováním parametru β vzrůstá zbytkový kolektorový proud. Pokud konstruujeme nepřiliš složité obvody, nemusíme se těmito problémy vůbec zabývat, ale uvažme, jak by vypadal velmi jednoduchý procesor, který umí provádět základní aritmetické operace a má malou paměť. V takovém obvodu by bylo několik tisíc tranzistorů. Budeme-li spínat velkými proudy, pak klopný obvod, jakožto nejjednodušší prvek v paměti*), bude spotřebovávat spínací proud pro oba tranzistory, řekněme 1 mA. Vynásobíme tento proud počtem tranzistorů a hned vidíme, že pouze pro uchovávání dat potřebujeme proud řádu ampérů. Zmenšíme-li potřebný spínací proud, vzroste zbytkový proud opět do řádů miliampérů a budeme řešit obdobný problém. Proto při vzniku prvních složitějších obvodů se stovkami tranzistorů bylo třeba použít zesilovací součástku, která by se spínala polem a ne proudem. Takovou podmínku splňují tranzistory FET (Field Effect Transistor), které lze integrovat s velkou hustotou na jeden krystal křemíku, aniž by byla potřeba příliš vysoký proud pro jejich napájení. Teplo vzniklé ztrátovými výkony na PN přechodech je díky malým proudům v obvodu malé, proto nevznikají problémy s přehříváním substrátu (křemíkového krystalu). Přehřívání by byl totiž velký problém u vysoce integrovaných bipolárních tranzistorů, pokud bychom je dokázali napájet vysokými proudy. Navíc řídicí napětí FET tranzistorů se blíží 0,7 V uvnitř mikroprocesorů (pod tuto hranici lze velmi těžko jít, protože přechodové napětí u křemíkového PN přechodu je vždy 0,6 V a 0,1 V se počítá pro šum), takže ztrátový výkon přeměněný na teplo je skutečně minimalizovaný.

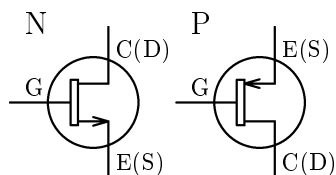
Podívejme se nyní na funkci unipolárních tranzistorů. Jako historicky první vznikl tranzistor JFET (Junction FET), proto si funkci vysvětlíme na něm. Tranzistor je tvořen křemíkovým válečkem, který je dopován jako N typ. Po obvodu válečku je vrstva křemíku dopovaného jako P typ. Podstavy a plášť jsou pokovené a tvoří tři vývody označované jako source (S) — podstava, drain (D) — druhá podstava, gate (G) — plášť. Jak názvy napovídají, na vývod S se připojuje záporný pól zdroje, z něj vtékají do objemu polovodiče elektrony a z vývodu D připojeného na kladný pól zdroje jsou odčerpávány. Tranzistor je řízen napětím na plášti válečku — G. Zapojme tranzistor podle obr. 6. Pole mezi S-G je v závěrném směru, elektrony z elektrody S nemohou proudit do



Obr. 6

*) Dva tranzistory symetricky zapojené tak, že každý spíná svým kolektorovým proudem druhý tranzistor a tím se drží nastavená logická jednička. Pokud se přeruší zvenku dodávka proudu a poté se obnoví, nastaví se logická nula — bázové proudy tranzistorů jsou nulové.

řídící elektrody (G), ani díry v opačném směru. Toto pole má za následek rozšíření přechodu a vytvoření prostorového náboje v objemu válečku, jak je znázorněno v obrázku. Pole roste přibližně lineárně směrem k elektrodě D, protože v tomto směru má spád elektrické pole mezi elektrodami S a D. Přechod má proto tendenci rozšířit se u elektrody D. V polovodiči se tedy vytvoří oblast vázaného náboje, který nevede proud (jde o atomy příměsí). Protože téměř veškeré příměsové elektrony jsou vázány příměsovými děrami z polovodiče na elektrodě G, oblast s kladným vázaným nábojem nemůže vést proud (leđa díky vlastní vodivosti použitého polovodiče, ovšem, jak jsme si ukázali na začátku seriálu, ta je velmi malá díky velké šířce zakázaného pásu energií). Poloměr polovodičového válečku se volí takový, aby byl větší než šířka PN přechodu, ale aby s touto šířkou byl srovnatelný. Pokud mezi S a G elektrodami bude dostatečně velké napětí, kanálek vedoucí proud ve směru osy válečku se úplně uzavře (v jednom místě se protější části přechodu spojí) a proud přestane tranzistorem protékat úplně.

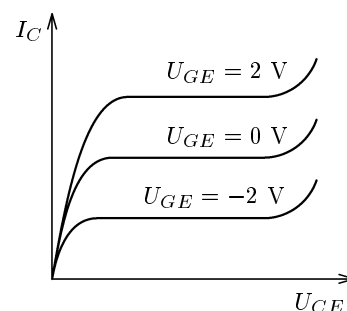


Obr. 7

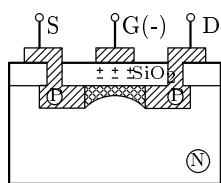
Vysvětlili jsme funkci JFET tranzistoru s kanálem typu N. Samozřejmě existují tranzistory JFET s kanálem typu P, liší se spínacím napětím. Zatímco u N typu jsme velikost proudu mezi S a G snižovali záporným napětím mezi G a S, u P typu musíme přechod mezi kanálem a řídicí elektrodou pólovat obráceně — na řídicí elektrodě je vzhledem k elektrodě S kladné napětí. Schematické značky jsou na obr. 7.

Podívejme se na charakteristiky JFET tranzistorů. Nejprve je nutné upozornit, že elektrody se značí jako u bipolárních tranzistorů E (odpovídá S) a C (odpovídá D). Pouze řídicí elektroda je stále G. V charakteristikách se toto značení používá téměř výhradně, proto i v seriálu použijeme toto značení.

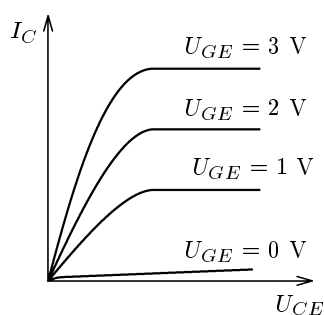
Necháme-li napětí na řídicí elektrodě nulové, bude celý kanál propustný. Při zvyšování napětí U_{CE} bude růst proud I_C až do momentu, kdy se proud nasatí a nebude dále s napětím růst. To souvisí s tím, že v polovodiči se nosiče náboje pohybují difusně, tj. vždy jsou elektrickým polem nepatrně urychleny a svou rychlost ztrácí při další srážce s jinou částicí. Po nasycení proudu ovšem pole urychlující volné nosiče náboje nepůsobí po příliš dlouhou dobu, protože střední volná dráha nosičů náboje je malá. Až po překročení jisté hranice opět proud s napětím vzrůstá. Charakteristika je graficky znázorněna na obr. 8, kde je navíc jako parametr napětí na řídicí elektrodě U_{GE} . Jak je vidět, proud tranzistorem se s růstem hodnoty řídicího napětí zmenšuje, jak se uzavírá kanálek vedoucí proud. Tato charakteristika je téměř shodná s charakteristikou elektronky, kde nahradíme katodu elektrodou S, anodu elektrodou D a mřížku elektrodou G.



Obr. 8



Obr. 9



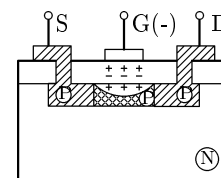
Obr. 10

Pro vysokou integraci je mnohem důležitější o něco pozdější objev tranzistoru MOSFET. Ten jde připravit litografickou metodou a navíc do hradla (G) neteče žádný závěrný proud jako u JFET tranzistorů. Hradlo (řídicí elektroda) je totiž izolováno vrstvou SiO_2 , což je vlastně křemen — typický představitel izolantů (viz obr. 9). Díky tomu je vstupní odpor téměř nekonečný — reálně $10^{12} \Omega$. Princip tranzistoru je jednoduchý. Bez napětí na hradle jsou mezi elektrodami S a D dvě diody — jedna v závěrném směru. Tranzistorem může téct pouze nenulový závěrný proud. Po přivedení záporného napětí na hradlo se ve vrstvě SiO_2 vytvoří vázané náboje — záporný náboj směřuje do substrátu typu N. V substrátu se mezi elektrodami S a D vytvoří kanálek vázaného kladného náboje. Tento kanálek může vést pouze díry, protože elektrony jsou odvedeny dále do substrátu, a jelikož majoritní nosiče náboje v polovodiči typu P (elektrody S a D) jsou díry, teče vytvořeným kanálem elektrický proud — tranzistor je otevřen. Reálná výstupní charakteristika tranzistoru MOSFET s kanálem typu P je na obr. 10. Samozřejmě substrát může být typu P, pak hovoříme o tranzistoru MOSFET s kanálem typu N.

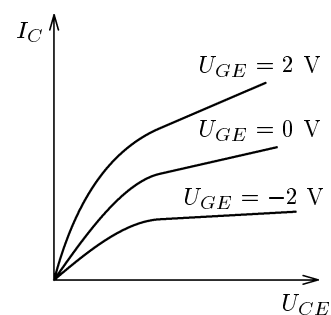
Malým vylepšením je vytvoření takzvaného technologického kanálu. Mezi elektrodami S a D se vytvoří z polovodiče opačného typu než je substrát kanál, takže při nulovém napětí na hradle tranzistor vede proud (viz obr. 11). Přiložením buďto kladného, nebo záporného náboje na hradlo se v technologickém kanálu vytvoří záporný, nebo kladný indukovaný náboj. Máme-li tranzistor s technologickým kanálem typu P, pak záporné napětí na hradle zvyšuje vodivost (polovodič kanálu je méně dopován než elektrody, proto přechod mezi elektrodami a kanálem částečně izoluje proud). Naopak kladné napětí proud tranzistorem snižuje, protože se v kanálu vytváří záporný prostorový náboj a díry z elektrod nejsou vedeny. Charakteristika tranzistoru je na obr. 12. Je nutné si dát pozor na znaménka, protože při $U_{GE} > 0$ je na hradle G záporný náboj. Podle typu kanálu a potažmo i substrátu rozlišujeme MOSFET tranzistory s technologickým kanálem typu P nebo N.

Pro lepší dynamické vlastnosti se tranzistory MOSFET vyrábějí s velmi tenkou izolační vrstvou SiO_2 . To má za následek, že po přiložení napětí i kolem desítek voltů se izolační vrstva prorazí. Proto je nutné při práci s prvky obsahujícími tranzistory MOSFET dbát pravidel pro bezpečné zacházení se součástkami, neboť k jejich úplnému zničení stačí statická elektřina — ani nemusí přeskóčit jiskra. Až budete ve svém PC vyměňovat procesor nebo paměť, pracujte na kovové uzemněné desce nebo na antistatickém pytlíku, oblečení si raději vezměte bavlněné a před každým kontaktem se součástkou se uzemněte dotknutím se kostry počítače, vodovodní trubky, ...

Na závěr malá zajímavost z technologie polovodičových pamětí. Samozřejmě lidé se snaží vyvinout paměťové médium s co největší kapacitou, aby bylo co nejrychlejší a uchovaná data byla trvanlivá, atd. V počítači najdeme několik typů pamětí: RAM — může se do ní zapisovat, je nutné ji napájet (je konstruována na bázi tranzistorů), ROM — do ní se nemůže zapisovat, je rychlá a po přerušení napájení se data neztratí, CD ROM, pevné disky, pásky, atd. Posledně jmenovaná média nejsou tak rychlá jako operační paměti (RAM), ale nemusí se jim pro uchování dat dodávat elektrická energie. Převrat znamenala paměť EPROM (Erasable Read Only Memory), která je založena na bázi MOSFET tranzistorů, ovšem v izolační vrstvě SiO_2 je ještě tenká vrstvička hliníku. Při zápisu do paměti se užije napětí na hradle zhruba 25 V, izolační vrstva se lavinově prorazí a na hliníkové vrstvě se vytvoří stálý náboj. Protože průraz izolaci nezničí, náboj se na hliníkové vrstvě uchová a vytváří tak vodivý kanál v substrátu. Mazat se paměť dá elektromagnetickým zářením — UV záření má pro tyto účely dostatečnou energii. Paměti EPROM mají proto malé okénko, kterým se při mazání ozařují. Je zřejmé, že do paměti se dá zapisovat a při napětích řádu voltů se z ní dá i číst a pokud do ní chceme uložit nová data, musíme ji celou přemazat. Přístupová doba se pohybuje kolem 200 ns *), takže pro použití jako operační paměť je příliš pomalá. Mnohem lepší je paměť EEPROM (nebo E^2PROM) nazývaná Flash EPROM, tu je možné mazat opačně pólovaným napětím než při zápisu a lze mazat jednotlivé buňky. Její přístupová doba je zhruba 90 ns, v dnešní době běžně používané RAM mají tuto dobu kolem 50 ns, což je poloviční doba. Stále tedy nemáme vhodnou a rychlou operační paměť, která nevyžaduje stálé napájení proudem, ale technologie EEPROM se využívá na paměťových kartách do přenosných počítačů jako náhrady za pevný disk, kde není žádoucí, aby motor disku spotřebovával energii z baterií. Uplatnění našly paměti EEPROM také pro distribuci BIOSu†). Pokud do počítače koupíte nové zařízení, které starý BIOS neumí ovládat, jednoduše z diskety zapíšete ovladač do této paměti. Dříve se BIOS dával do paměti ROM, protože data se



Obr. 11



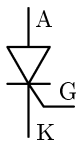
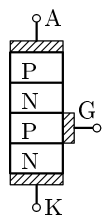
Obr. 12

*) To je doba, která uplyne od požadavku o data k jejich objevení se na výstupu. Při taktovací frekvenci procesoru 200 MHz představuje 200 ns 40 taktů, což je velmi mnoho.

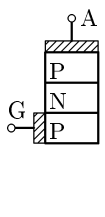
†) Program, který se po spuštění počítače zavede jako vůbec první. Jsou v něm uloženy funkce pro ovládání všech zařízení počítače — po spuštění vlastně procesor ani neví, že nějaká zařízení má, natož aby věděl, jak se s nimi má dorozumět

musí zachovávat během doby, kdy je počítač bez proudu. To způsobovalo komplikace při koupi nového zařízení do starého počítače, někdy dokonce řešitelné pouze koupí nového počítače.

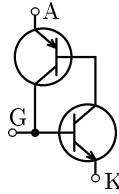
Tyristor, diak, triak



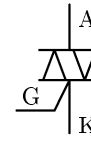
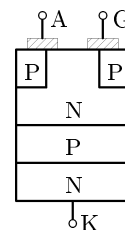
Obr. 13



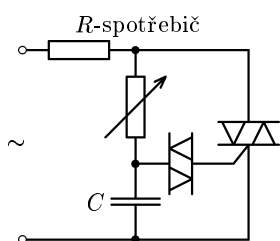
Obr. 14



Obr. 15



Aby toho nebylo dost, oproti tranzistoru se třemi vrstvami polovodiče přidáme ještě čtvrtou. Tím vytvoříme jednu ze součástí v názvu kapitoly. Asi nejjednodušší je princip tyristoru (obr. 13). Můžeme si jej představit jako dva tranzistory PNP a NPN (obr. 14) spojené tak, že po přivedení napětí na hradlo (G) se sepnou a od anody ke katodě teče proud. Tyristor vede i po odejmutí napětí na hradle do té doby, dokud teče proud anodou. Po přerušení a opětovném obnovení napětí mezi anodou a katodou se tyristor rozepne — nevede proud do doby, kdy se sepnou hradlo.



Obr. 16

Tyristoru se užívá k bezztrátové regulaci výkonu střídavého napětí. Tyristor je zapojen přímo do řízeného obvodu a se zpožděním oproti fázi sítě se spíná hradlo. Díky tomu vždy při vzrůstu napětí část výkonu nesepneme, zbytek po sepnutí tyristoru jde do spotřebiče. Ovšem do střídavých obvodů musíme dát tyristory dva, abychom (díky polaritě) dokázali využít celý výkon. Pro zjednodušení se vyrábějí do nízkoproudých obvodů triaky, které jsou vlastně jenom zdvojenými tyristory (viz obr. 15). Pak takový regulační obvod může vypadat dle obr. 16, kde potenciometrem řídíme parametry RC obvodu a tím i zpoždění spínacího pulsu do triaku. Záhadná součástka, jejíž značku ještě ne-

známe, je diak, který si můžeme představit jako tyristor bez vyvedené elektrody hradla. Ten po dosažení určitého napětí okamžitě sepnou a po poklesu proudu opět rozepne. V obvodu je zařazen, aby spínací hrana do hradla triaku byla ostrá, RC obvod spíná velmi zvolna.

Úloha V. S ... JFET tranzistor

Uvažujte tranzistor JFET vyrobený z polovodiče typu N ve tvaru kvádrů o hranách a , b , c . Na dvou protilehlých stěnách jsou vývody S a D, na jiných dvou protilehlých je z polovodiče typu P vývod G (obě stěny jsou vodivě propojeny na jeden vývod). Předpokládejme, že šířka přechodu je dána vztahem $d = d_0 + \lambda U'$, kde U' je závěrné napětí. Předpokládejme navíc, že proud může procházet pouze oblastí polovodiče N mimo přechod. Proud tekoucí polovodičem se stanoví ze vztahu $I = \frac{S}{l} \sigma U$, kde U je napětí mezi svorkami na polovodiči s vodivostí σ , jejichž vzdálenost je l a proud prochází kolmo plochou S . Z tohoto jednoduchého modelu se pokuste stanovit závislost proudu tranzistorem na napětí mezi svorkami S a D, jako parametr uvažujte napětí na svorce G. Úlohu si ještě můžete zpestřit porovnáním výsledku s charakteristikou válcového tranzistoru JFET, kde je polovodič P po celém plášti válce.

Naše adresa:

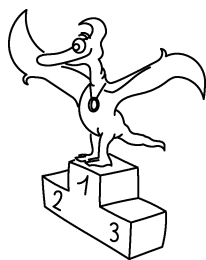
FYKOS

Matematicko-fyzikální fakulta UK — UTF

V Holešovičkách 2

180 00 Praha 8

<http://www.mff.cuni.cz/news/fks>



Pořadí řešitelů po III. sérii



Kategorie čtvrtých ročníků

	Jméno	Příjmení	Třída	Škola	1	2	3	4	5	6	S3	III	Σ
	<i>Student</i>	<i>Půlný</i>	<i>F.1</i>	<i>MFF UK</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>5</i>	<i>34</i>	<i>101</i>
1	Jan	Houštěk	septima	G Pelhřimov	3	6	4	4	5	8	3	33	101
2	Pavel	Augustinský	septima B	G Havířov	3	5	3	4	4	7	—	26	84
3	Jiří	Chaloupka		G Židlochovice	3	—	4	4	5	6	3	25	74
4	Karel	Kouřil	sexta B	G Blansko	3	5	4	0	6	8	—	26	69
5 - 6	Milan	Berta	IV.A	G Velké Kapušany	3	—	3	1	4	7	2	20	61
5 - 6	Tomáš	Matoušek	VII.C	G Karlovy Vary	3	4	3	—	4	3	—	17	61
7	Stanislav	Hugec		G Michalovce	3	1	4	—	1	8	—	17	58
8	Jakub	Kulaviak	sexta B	G Blansko	2	—	4	1	—	8	3	18	56
9 - 10	Jan	Houfek	septima	G Uh. Hradiště	3	—	3	4	—	5	—	15	49
9 - 10	Juraj	Suchár	4.	G Dubnica n. Váhom	—	—	—	—	—	—	—	0	49
11	Ondřej	Novák	oktáva	G Liberec	3	0	—	0	—	5	—	8	44
12	Tomáš	Linhart	septima	GOA Sedlčany	3	—	2	—	5	—	—	10	38
13	Petr	Schimm	VII.C	G Karlovy Vary	—	—	—	—	—	—	—	0	31
14	Jan	Novotný	septima	G Mělník	—	—	—	—	—	4	—	4	25
15 - 17	Jiří	Novák	septima	G Ledec	0	—	—	4	—	—	—	4	17
15 - 17	Andrej	Pavlík	4.D	G Trenčín	—	—	—	—	—	—	—	0	17
15 - 17	Martin	Pieš	4.C	G Košice - Šrobárova	—	—	—	—	—	—	—	0	17
18 - 19	Tomáš	Páleník	4.A	G Trenčín	1	—	—	—	—	—	—	1	16
18 - 19	Ondřej	Souček	4.	G Jablonec n. N. - Balvan	—	—	—	—	—	—	—	0	16
20 - 21	Petra	Dobroucká	6.BV.		2	—	—	—	—	2	—	4	15
20 - 21	Jan	Gruber	7.A	G Frenštát p. R.	3	—	0	—	—	—	—	3	15
22 - 24	Martin	Benčo			—	—	—	—	—	—	—	0	13
22 - 24	Lenka	Knopová	6.M	G Pardubice	—	—	—	—	—	—	—	0	13
22 - 24	Zbyněk	Šrubař	septima A	G Frenštát p. R.	2	—	—	—	—	—	—	2	13
25 - 26	Marie	Svobodová	septima	G Uh. Hradiště	—	—	—	—	—	—	—	0	12
25 - 26	Martin	Vitikáč	4.B	G Spišská Nová Ves	—	—	—	—	—	—	—	0	12
27	Stanislav	Hampl	septima	GOA Sedlčany	—	—	—	—	—	—	—	0	11
28 - 29	Radek	Chromý		G Telč	3	—	—	—	—	—	—	3	10
28 - 29	Petr	Nachtigall	septima A	G Frenštát p. R.	—	—	—	—	—	—	—	0	10
30 - 31	Marek	Rybčák	4.A	G Bardejov	—	—	—	—	—	—	—	0	9
30 - 31	Ondřej	Schmid			—	—	—	—	—	—	—	0	9
32 - 33	František	Kolář	sexta	G Praha - Nad Kavalírkou	—	—	—	—	—	—	—	0	8
32 - 33	Ondřej	Škoda		G Benešov	—	—	—	—	—	—	—	0	8
34	Martin	Macášek	4.	G Dačice	—	—	—	—	—	—	—	0	6
35 - 37	Ondřej	Bačo		G Košice - Šrobárova	—	—	—	—	—	—	—	0	5
35 - 37	Matěj	Koudelka	4.A	SSPŠ Praha - Preslova	3	—	—	—	—	—	—	3	5
35 - 37	Jiří	Krejsa	sexta	G Semily	—	—	—	—	—	—	—	0	5
38 - 41	Lukáš	Florner	5.B	SPŠ Havlíčkův Brod	—	—	—	—	—	—	—	0	4
38 - 41	Marián	Majerík	4.F	G Trenčín	0	—	—	1	—	—	—	1	4
38 - 41	Miroslav	Šimko	4.A	G Nitra	—	—	—	—	—	—	—	0	4
38 - 41	Naděžda	Vaškovicová	4.A	G Uh. Hradiště	1	—	—	—	—	—	—	1	4
42	Tomáš	Lindouský	4.D	G Nové Zámky	—	—	—	—	—	—	—	0	3
43	Pavel	Lupač		G Jihlava	—	—	—	—	—	—	—	0	1
44 - 47	Anežka	Christovová			—	—	—	—	—	—	—	0	0
44 - 47	Pavel	Kučera	5.	OA Příbram	—	—	—	—	—	—	—	0	0
44 - 47	Dagmar	Uchytílová			—	—	—	—	—	—	—	0	0
44 - 47	Petr	Žejdl	VI.	G Hlučín	—	—	—	—	—	—	—	0	0

Kategorie třetích ročníků

	Jméno	Příjmení	Třída	Škola	1	2	3	4	5	6	S3	III	Σ
	<i>Student</i>	<i>Pilný</i>	<i>F.1</i>	<i>MFF UK</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>5</i>	<i>34</i>	<i>101</i>
1	Peter	Čendula	3.B	G Liptovský Mikuláš	3	0	2	4	7	8	5	29	94
2	Karel	Žídek	3.E	G Opava	3	2	4	4	3	5	2	23	68
3	Martin	Beránek	VI.	G Praha - Ohradní	3	5	3	4	—	0	—	15	62
4	Jan	Kunc	3.A	G Kolín	3	1	4	1	5	8	4	26	61
5	Petr	Nečasal	V.C	G M. Budějovice	3	—	3	—	—	—	—	6	59
6	Jaromír	Chalupský	sexta A	G Sušice	3	—	3	1	3	4	—	14	57
7 - 8	Vladimír	Fuka	sexta A	G Rakovník	3	—	—	—	—	3	2	8	45
7 - 8	Ondřej	Plašil	septima B	G Praha - Chodovická	3	1	1	4	—	6	—	15	45
9	Hedvika	Kadlecová	3.C	G Praha - Botičská	2	0	—	0	4	0	2	8	42
10	Pavel	Kočica	3.A	G Uh. Brod	3	—	1	—	5	—	4	13	39
11	Pavol	Mikčo	3.B	G Stropkov	3	0	3	—	0	6	2	14	38
12	Robert	Meixner	5.A	G Brno - Slov. nám.	2	2	1	0	—	3	—	8	33
13 - 15	Martin	Hejna	S3.A	SPŠE Dobruška	3	—	4	4	—	2	—	13	32
13 - 15	Jan	Kratochvíl	3.K	SPŠST Praha - Panská	3	—	—	4	—	7	—	14	32
13 - 15	Zoltán	Mics	3.B	G Šahy	—	—	—	—	—	—	—	0	32
16 - 17	Zdeněk	Cejnar	3.A	G Říčany	2	—	0	1	—	—	—	3	31
16 - 17	Ivo	Lazar		G Prachatice	—	—	—	—	—	—	—	0	31
18	Patrik	Hudec	III.C	G Bílovec	3	—	—	—	—	5	—	8	30
19	Lukáš	Schmiedt	3.D	SG Olomouc	—	—	—	—	—	—	—	0	29
20	Petr	Klíma	3.A	G Louny	0	1	—	—	—	5	—	6	28
21	Pavel	Janda	sexta	G Telč	3	—	1	—	—	—	—	4	27
22	Martin	Hrba	sexta A	G Sušice	3	—	—	—	—	—	—	3	26
23 - 25	Lukáš	Dumský	sexta	GOA Sedlčany	3	—	—	1	4	3	—	11	24
23 - 25	Dáša	Eisenmannová	3.A	G Praha - Mezi školami	3	0	0	—	—	—	—	3	24
23 - 25	Jakub	Levic	sexta B	G Louny	2	—	2	3	—	—	1	8	24
26	Martin	Holík	3.C	G Bílovec	3	—	—	—	—	4	—	7	22
27	Jiří	Tománek	V5.A	G Hranice	3	0	—	—	—	—	2	5	19
28 - 30	Ladislav	Benda		G Hradec Králové - JKT	—	—	—	—	—	—	—	0	18
28 - 30	Martin	Jakl	5.D	G Pardubice	3	—	1	—	—	—	—	4	18
28 - 30	David	Kolovratník	3.E	SPŠS Chrudim	—	—	—	—	—	—	—	0	18
31 - 33	Michal	Bláha	M	SPŠST Praha - Panská	3	—	—	4	—	—	—	7	17
31 - 33	Miloš	Skalský	3.D	G Vsetín	—	—	—	—	—	—	—	0	17
31 - 33	Michal	Škoda	sexta B	G Turnov	1	—	—	—	—	—	—	1	17
34 - 35	Jan	Alster	septima A	G Holešov	1	—	2	4	—	—	—	7	16
34 - 35	Jan	Bauer	sexta A	G Praha - Sladkovského	2	0	—	—	—	2	—	4	16
36	Jaroslav	Tykal	3.C	G Jihlava	—	—	1	—	—	—	—	1	15
37 - 40	Ivan	Banas	5.G	G Martin	—	0	—	—	—	1	—	1	13
37 - 40	Vlastislav	Filgas	3.D	G Vsetín	—	—	—	—	—	—	—	0	13
37 - 40	Jaroslava	Plasová	septima C	G Klatovy	2	—	1	0	—	—	—	3	13
37 - 40	Libor	Tomšík	3.F	SPŠE Plzeň	—	—	—	—	—	—	—	0	13
41 - 43	Petra	Adamová	3.A	G Benešov	2	0	—	—	—	—	—	2	11
41 - 43	Jaroslav	Kočíšek	3.C	G Čadca	—	—	—	—	—	—	—	0	11
41 - 43	Jan	Pšíkal	3.F	SPŠE Pardubice	3	—	—	—	—	—	—	3	11
44 - 48	Petra	Nytrková	V.C	G Frýdek-Místek - ČSA	—	—	—	—	—	—	—	0	10
44 - 48	Andrea	Oravcová	7.D	G Partizánske	—	—	—	—	—	—	—	0	10
44 - 48	Pavel	Řezanka	3.C	G Praha - Zborovská	2	0	—	—	—	—	—	2	10
44 - 48	Martin	Šimek	sexta	G Telč	3	—	—	—	—	—	—	3	10
44 - 48	Zuzana	Vlčková	septima	G Košice - Alejová	—	—	—	—	—	—	—	0	10
49 - 51	Jiří	Doubek	3.G	G Praha Arabská	—	—	—	—	—	—	—	0	8
49 - 51	Daniel	Reitzner	3.C	G Košice - Šrobárova	—	—	—	—	—	—	—	0	8
49 - 51	Peter	Valachovič	3.B	SPŠ Trenčín	—	—	—	—	—	0	—	0	8
52 - 57	Michal	Janoušek	sexta	G Zastávka	—	—	—	—	—	—	—	0	7
52 - 57	Pavel	Kolář	3.D	SPŠS Chrudim	—	—	—	—	—	—	—	0	7
52 - 57	David	Krayzel	3.A	G Chrudim	—	—	—	—	—	—	—	0	7
52 - 57	Miroslav	Patočka	3.C	G Ivančice	—	—	—	—	—	—	—	0	7
52 - 57	Martin	Pavel	3.A	G Dobruška	—	—	—	—	—	—	—	0	7
52 - 57	Pavel	Vraspír	sexta	G Polička	—	—	—	—	—	—	—	0	7
58 - 60	Tomáš	Bouda	sexta B	G Jablonec n.N. - Randy	1	—	—	—	—	—	—	1	6
58 - 60	Lukáš	Brázda	3.C	G Jihlava	—	—	—	—	—	—	—	0	6
58 - 60	Ján	Uhrin	3.E	G Michalovce	—	—	—	—	—	—	—	0	6
61 - 63	Andrej	Mičica	3.C	G Čadca	—	—	—	—	—	—	—	0	5
61 - 63	Marek	Skarka	sexta	G Vítkov	—	—	—	—	—	—	—	0	5

	Jméno	Příjmení	Třída	Škola	1	2	3	4	5	6	S3	III	Σ
	<i>Student</i>	<i>Pilný</i>	<i>F.1</i>	<i>MFF UK</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>5</i>	<i>34</i>	<i>101</i>
61 - 63	Jan	Zikán	3.E	G Praha - Arabská	—	—	—	—	—	—	—	0	5
64 - 65	Ondřej	Pánek	3.C	G Jihlava	—	—	—	—	—	—	—	0	4
64 - 65	Norbert	Požár	7.A	G Bruntál	—	—	—	—	—	—	—	0	4
66 - 67	Martina	Havrdová	VI.A7	G Olomouc - Hejčín	—	—	—	—	—	—	—	0	3
66 - 67	Petr	Hřebačka	6.A	G Brno - Křenová	—	—	—	—	—	—	—	0	3
68	Břetislav	Šopík	3.B	G Žďár n. Sáz.	0	—	0	—	—	—	—	0	2
69 - 70	Hana	Besedová	3.B	G Frenštát p. R.	—	—	—	—	—	—	—	0	1
69 - 70	Michal	Hamran	3.C	G Martin	—	—	—	—	—	—	—	0	1

Kategorie druhých ročníků

	Jméno	Příjmení	Třída	Škola	1	2	3	4	5	6	S3	III	Σ
	<i>Student</i>	<i>Pilný</i>	<i>F.1</i>	<i>MFF UK</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>5</i>	<i>34</i>	<i>101</i>
1	Jan	Fröhlich	6.A	G Praha - Mezi školami	3	—	1	—	—	4	—	8	49
2	Petr	Kavánek	sexta	G Čáslav	—	—	—	—	—	—	—	0	39
3	Miroslav	Šulc	kvinta B	G Ústí n. L. - Stavbařů	3	—	—	0	—	5	2	10	36
4 - 5	Jaroslav	Frost	kvinta A	G Brno - Elgartova	3	—	—	—	—	1	—	4	25
4 - 5	Václav	Matouš	2.A	G Klatovy	3	—	—	—	—	5	—	8	25
6	Matej	Dubový	2.B	G Trenčín	—	—	—	—	—	0	—	0	19
7	Milan	Jalový	kvinta A	G Blansko	—	—	—	—	—	3	—	3	18
8 - 9	Lenka	Beranová	sexta C	G Klatovy	3	—	—	—	—	—	—	3	17
8 - 9	Jiří	Klímeš	2.B	G Náchod	3	—	—	—	—	—	—	3	17
10 - 12	Michal	Hajn		G Jihlava	3	—	—	4	—	—	—	7	16
10 - 12	Marie	Hůlková	2.B	G Náchod	—	—	—	—	—	—	—	0	16
10 - 12	Michael	Komm	sexta	G Praha - Parlérova	2	—	1	0	—	0	—	3	16
13	Jiří	Vlach	kvinta	GOA Sedlčany	3	—	—	—	—	2	—	5	15
14 - 16	Otakar	Dokoupil	2.B	G Přešov	3	—	—	4	—	—	—	7	13
14 - 16	Tomáš	Hanzák	2.	G Kladno	—	—	—	—	—	—	—	0	13
14 - 16	Stanislav	Páca	2.A	COP Hronov	—	—	—	—	—	—	—	0	13
17 - 18	Aleš	Ducháč	2.B	COP Hronov	—	—	1	0	—	2	—	3	11
17 - 18	Karol	Martinka	2.G	G Trenčín	—	—	—	—	—	—	—	0	11
19 - 21	Jiří	Eliášek	2.B	G Trutnov	3	0	—	—	—	—	—	3	10
19 - 21	Iva	Kouřilová	2.B	OA Blansko	4	—	—	0	—	0	—	4	10
19 - 21	Vít	Urbánek	kvinta B	G Jihlava	—	—	—	—	—	—	—	0	10
22 - 25	Ľuboš	Bednárik	2.F	G Trenčín	—	—	—	—	—	0	—	0	9
22 - 25	Zdeněk	Čejka		G Praha - U Lib. zámku	2	—	—	—	—	—	—	2	9
22 - 25	Eva	Haluzová	2.B	G Uh. Brod	1	—	—	0	—	—	—	1	9
22 - 25	Peter	Murárik	2.G	G Trenčín	3	—	—	—	—	0	—	3	9
26 - 32	Jan	Beneš	sexta	G Brno - Barvičova	—	—	—	—	—	—	—	0	8
26 - 32	Miroslav	Krůs	2.A	G Klatovy	—	—	—	—	—	—	—	0	8
26 - 32	Petr	Křístek	2.C	G Frýdek-Místek - TGM	0	—	—	—	—	—	—	0	8
26 - 32	Pavel	Kwecien	2.A	G Dvůr Králové	2	—	—	0	—	—	—	2	8
26 - 32	Karel	Martíšek	kvinta A	G Brno - Elgartova	—	—	—	—	—	—	—	0	8
26 - 32	Martin	Nývlt	2.B	G Náchod	—	—	—	—	—	—	—	0	8
26 - 32	Michal	Zapletal	P2C	G Rožnov pod Radhoštěm	—	—	—	0	—	—	—	0	8
33 - 34	Václav	Bouše	6.A	G Praha - Mezi školami	—	—	—	—	—	—	—	0	7
33 - 34	Lukáš	Hunana	2.B	G Dubnica nad Váhom	—	—	—	—	—	—	—	0	7
35 - 38	Lenka	Blažková	2.B	G Kutná Hora	—	—	—	—	—	—	—	0	6
35 - 38	Matin	Hamrle	2.A	G Pelřimov	—	—	—	—	—	—	—	0	6
35 - 38	Rudolf	Kopřiva	2.C	G Frýdek-Místek - TGM	—	—	—	—	—	—	—	0	6
35 - 38	Mariana	Matýsková	4.B	G Třinec	—	—	—	—	—	—	—	0	6
39 - 42	Ondřej	Chochola		G Kladno	—	—	—	—	—	—	—	0	5
39 - 42	Kateřina	Jandová	sexta A	G Praha - Mezi školami	—	—	—	—	—	—	—	0	5
39 - 42	Jiří	Palek	2.A	G Nové Strašecí	2	—	—	—	—	—	—	2	5
39 - 42	Ondřej	Srba	II.B	G Příbor	—	0	—	—	—	0	—	0	5
43 - 44	Michal	Kabát	2.A	G Púchov	0	—	—	—	—	—	—	0	4
43 - 44	Tomáš	Sábl		G Semily	—	—	—	—	—	—	—	0	4
45 - 46	Petr	Čech	2.A	G Přerov	—	—	—	—	—	—	—	0	3
45 - 46	Ondřej	Vencálek	4.B	G Frýdek-Místek - ČSA	3	—	—	—	—	—	—	3	3
47	Lenka	Němcová	2.A	SGŠ Bratislava	—	—	—	—	—	—	—	0	2
48	Lenka	Burešová	2.C	G Praha - Zborovská	1	—	—	—	—	—	—	1	1
49 - 50	Jan	Čechmánek	2.A	G Uh. Hradiště	—	—	—	—	—	—	—	0	0
49 - 50	Jindřich	Štáštka	2.E	G Sokolov	0	—	—	—	—	—	—	0	0

Kategorie prvních ročníků

	Jméno	Příjmení	Třída	Škola	1	2	3	4	5	6	S3	III	Σ
	<i>Student</i>	<i>Pilný</i>	<i>F.1</i>	<i>MFF UK</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>5</i>	<i>34</i>	<i>101</i>
1	Miroslav	Hejna	5A8	G Rychnov n. K.	3	5	4	4	6	6	2	30	87
2	Michal	Bareš	kvinta A	G Plzeň - Mikuláš. nám.	3	—	3	4	—	6	—	16	61
3	Petr	Houštěk	tercie	G Pelhřimov	3	3	3	4	—	6	—	19	57
4	Luboš	Matásek	kvinta A	G Plzeň - Mikuláš. nám.	3	—	3	4	4	2	—	16	42
5	Václav	Varvařovský	kvinta A	G Plzeň - Mikuláš. nám.	3	0	3	4	—	5	2	17	36
6	Karel	Tůma	kvinta A	G Moravská Ostrava	3	—	—	4	—	5	—	12	32
7	Václav	Cviček	3.A	G Frýdek-Místek - ČSA	—	2	1	4	—	—	—	7	31
8	Tibor	Vansa		G Moravská Ostrava	3	—	—	4	—	3	—	10	27
9	Jaroslav	Kudlička	kvinta A	G Hodonín	1	1	0	—	—	—	4	6	21
10	Petr	Šimek	1.A	G Blansko	2	—	—	—	—	—	—	2	20
11	Jan	Chmelař	1.A	G Hranice	2	—	—	—	—	—	—	2	19
12 - 13	Pavel	Čížek	kvinta		2	—	—	1	—	—	—	3	17
12 - 13	Ondřej	Honzl	kvinta	G Podbořany	3	—	—	4	—	—	—	7	17
14	Lukáš	Chvátal	5A8.	G Brno - Vejrostova	3	—	—	—	—	2	—	5	16
15 - 16	Jan	Klusoň	kvinta	G Litomyšl	3	—	—	—	—	1	—	4	15
15 - 16	Zdeněk	Moravec	1.C	G Blansko	—	—	—	—	—	—	—	0	15
17	Vít	Šípál	V5.B	G Ústí n. L. - Jateční	3	—	—	—	—	—	—	3	14
18	Jiří	Hampl	1.SP	SPŠ Příbram	—	—	—	—	—	—	—	0	7
19 - 20	Martin	Rybář	kvarta A	G Blansko	0	0	—	0	—	—	—	0	6
19 - 20	Hana	Suchomelová	8.A	ZŠ Trenčín	—	—	—	—	—	0	—	0	6
21	Mária	Šedivá	8.A	ZŠ Trenčín	—	—	—	—	—	0	—	0	5
22 - 24	Pavel	Jež	3.B	G Frýdek-Místek - ČSA	—	—	—	—	—	—	—	0	3
22 - 24	Stanislav	Mlenský	1.B	COP Hronov	—	—	—	—	—	—	—	0	3
22 - 24	Lukáš	Snášel	1.B	COP Hronov	2	—	—	—	—	—	—	2	3
25 - 26	Petr	Hrázský		G Frenštát p. R.	—	—	—	—	—	—	—	0	2
25 - 26	Martin	Vacek	1.A	G Nové Zámky	—	—	—	—	—	—	—	0	2
27	Michal	Záhorák	kvinta	G Sabinov	—	—	—	—	—	—	—	0	1
28	Marek	Mikloš	kvinta	G Sabinov	—	—	—	—	—	—	—	0	0

Fyzikální korespondenční seminář, který je zastřešen Oddělením vnějších vztahů a propagace MFF UK, je organizován studenty MFF UK za podpory Ústavu teoretické fyziky MFF UK a jeho zaměstnanců a Jednoty českých matematiků a fyziků.