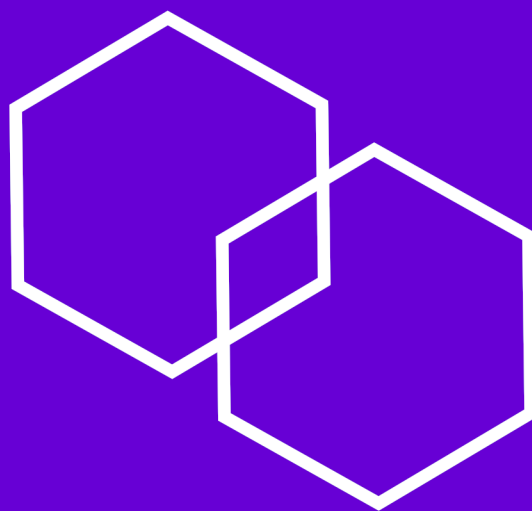


OSNOVNE ŠKOLE - COLLÈGE

ŠESTEROKUT
HEXAGONE



2021.

SADRŽAJ

Prolog - Prologue	3
Upute za natjecanje i slanje rješenja	4
Règles et l'envoi de solutions	5
Rules and how to send solutions	6
I Konceptualni problemi - Problèmes conceptuels - Conceptual problems	7
Hrvatski - Tri problema	8
Français - Trois problèmes	9
English - Three problems	10
II Online pokus - Expérience virtuelle	11
Atomi	12
Atomes	15
Atoms	18
III Kućni pokus - Expérience à domicile	21
Melodija boce	22
Une mélodie de bouteilles	24
A bottle's melody	26

PROLOG - PROLOGUE

Par riječi i savjeti

Dobro došli na drugo izdanje Šesterokuta! Prije nego što se uhvatite u koštac sa zadacima, htjeli bismo vam se prvo zahvaliti na sudjelovanju. Šesterokut želi dati drugačiji način natjecanja, gdje je naglasak više na iskustvu koje natjecanje pruži nego na samim rezultatima.

Par savjeta prije nego što krenete. Iako se zadaci čine dugima, oni sadrže puno teksta koji služi da vas navodi, stoga se nemojte obeshrabriti. Pri pisanju rješenja, budite detaljni, objasnite jasno svoje misli jer uz samu točnost rješenja, vrednujemo i način na koji prenosite svoje ideje.

Želimo da istražujete i da nam pokažete što ste našli!

Sretno!

Filip Novkoski,
predsjednik Šesterokuta

Quelques mots et quelques conseils

Bienvenue à la deuxième édition d'Hexagone ! Avant de commencer, nous souhaitons vous remercier de votre participation. Avec Hexagone, nous souhaitons présenter un type de compétition différent, où l'accent est davantage mis sur l'atmosphère et l'expérience que donne Hexagone, que sur les résultats eux-mêmes.

Quelques conseils. Même si les problèmes semblent longs, ils contiennent beaucoup de texte qui est là pour vous guider, alors ne vous découragez pas. Lorsque vous rédigez vos solutions, soyez détaillés, expliquez vos pensées de manière claire parce qu'à côté de la précision de la solution, nous apprécions également la manière dont vous transmettez vos idées.

Nous vous invitons à explorer et à nous montrer ce que vous avez trouvé!

Bonne chance!

Filip Novkoski,
président de l'association Hexagone

UPUTE ZA NATJECANJE I SLANJE RJEŠENJA

Tokom natjecanja možete koristiti internet, knjige, simulacije, i svu literaturu koju nađete. U rješenju napišite koju ste literaturu koristili ondje gdje se na nju referirate. Potičemo, inzistiramo da koristite internet, jer neke od zadatak bez toga ne možete riješiti.

Na zadacima ne morate raditi u školi, možete na njima raditi od doma. Mi vas ne nadgledamo i ne provjeravamo, imate potpunu slobodu u tom pogledu.

Ako tokom natjecanja imate bilokakva pitanja, ako mislite da nešto nije jasno ili slično, možete se javiti slanjem maila na pitanja@sesterokut.com. Svaki dan ćemo na stranicama objaviti sva bitna pitanja i odgovore.

Rješenja je potrebno poslati do 23h59 u ponedjeljak 17.5. Skenirana rješenja šaljete u PDFu, zajedno sa slikama i kodom koji ste koristili. Rješenja se šalju mailom na srednje@sesterokut.com za srednje škole i osnovne@sesterokut.com za osnovne škole. Na svaki list papira stavite samo naziv tima bez naziva vaših članova. Pri slanju, stavite za predmet maila "Rješenje - NAZIV TIMA".

RÈGLES ET L'ENVOI DE SOLUTIONS

Pendant le concours, vous pouvez utiliser internet, des livres, des simulations et toute la littérature que vous trouvez. Dans votre solution, veuillez indiquer et référencer la littérature que vous avez utilisée. Nous vous encourageons, nous insistons, à utiliser internet, parce que certains problèmes ne peuvent être résolus sans lui.

Si, pendant les compétition, vous avez des questions, ou si vous pensez que quelque chose n'est pas clair, vous pouvez nous le demander en envoyant un courriel à questions@sesterokut.com.

Les solutions doivent être envoyées avant 23h59 le lundi 17.5. Vos solutions scannées sont envoyées en format PDF, accompagnées de photos. Les solutions sont envoyées par email à lycee@sesterokut.com ou college@sesterokut.com, selon votre catégorie. Sur chaque page de votre solution, inscrivez uniquement le nom de votre équipe, sans les noms des membres de votre équipe. Lorsque vous envoyez la solution, mettez comme sujet de l'email "Solution - NOM DE L'EQUIPE".

RULES AND HOW TO SEND SOLUTIONS

During the competition, you can use the internet, books, simulations and all the literature you find. In the solution, please write and reference which literature you used. We encourage, we insist, that you use the internet, because some of the problems you can't solve without it.

If during the competitions you have any questions, or if you think that something isn't clear, you can ask us by sending an email to questions@sesterokut.com.

The solutions have to be sent by 23h59 on Monday 17.5. Your scanned solutions are sent in PDF form, together with pictures and codes that you used. The solutions are sent by email to lycee@sesterokut.com or college@sesterokut.com, depending on your category. On each page of your solution, write down only the name of your team, without the names of your team members. When sending the solution, for subject of the email put "Solution - TEAM NAME"

Part I

**Konceptualni problemi - Problèmes
conceptuels - Conceptual problems**

HRVATSKI - TRI PROBLEMA

Problem 1. [5 bodova] Vjerojatno ste mogli primjetiti da na okruglim stolovima stolnjaci stvaraju nabore, kao na slici ispod. Opišite svojim riječima zašto mislite da se to događa? Hoće li npr. tanki svileni stolnjak stvoriti manje ili više nabora od stolnjak koji je izrađen od krućeg materijala, recimo jeftini plastični stolnjak?



Problem 2. [5 bodova] U zimska doba, grijemo zgrade. Kao što znamo, vrući zrak je lakši od hladnog, i uzgon ga tjera da se kreće vertikalno. Kakav to utjecaj ima na visoke zgrade, i zašto neboderi imaju rotirajuća vrata? Hint: razmislite prvo o dimnjaku koji ima vrata pri svom dnu.

Problem 3. [5 bodova] Zamislimo lego kocke od vrlo mekane želatine. Od tih kockica slažemo piramidu. No, u jednom trenu ona postane toliko visoka i teška, da se kockice na dnu raspadnu pod težinom piramide i cijela struktura se sruši. Što to znači za planine?

FRANÇAIS - TROIS PROBLÈMES

Problème 1. [5 points] Vous avez probablement remarqué que sur les tables rondes, les nappes créent des plis sur les bords, comme le montre l'image ci-dessous. Expliquez avec vos propres mots l'origine de ce phénomène ? Est-ce que, par exemple, une fine nappe en soie aura plus ou moins de plis qu'une nappe faite d'un matériau plus rigide, par exemple une nappe en plastique bon marché ?



Problème 2. [5 points] En hiver, nous chauffons les bâtiments. Comme nous le savons, l'air chaud est plus léger que l'air froid, et la flottabilité le fait monter. Quel effet cela a-t-il sur les bâtiments, et pourquoi les gratte-ciel ont-ils des portes tournantes ? Conseil : pensez d'abord à une cheminée avec une porte à sa base.

Problème 3. [5 points] Imaginons des briques de lego faites de gelée molle (comme les bonbons). Avec elles, nous faisons une pyramide. Mais, à un moment donné, elle devient si grande et si lourde que les briques du bas s'effondrent, et la pyramide avec. Qu'est-ce que cela implique pour les montagnes ?

ENGLISH - THREE PROBLEMS

Problem 1. [5 points] Probably you noticed that on round tables, tablecloths create creases, as seen on the picture bellow. Describe in your own word why you think this happens? Will for example a thin silk cloth have more or less creases than a table cloth made of a stiffer material, for example a cheap plastic cloth?



Problem 2. [5 points] In winter, we heat buildings. As we know, warm air is lighter than cold air, and buoyancy makes it go up. What effect does this have on buildings, and why do skyscrapers have rotating doors? Hint: first think about a chimney with a door at its bottom.

Problem 3. [5 bodova] Let's imagine lego bricks made out of soft jello. Out of them we make a pyramid. But, at some point it becomes so big and heavy that the bricks at the bottom collapse, and the pyramid with it too. What does this imply for mountains?

Part II

Online pokus - Expérience virtuelle

ATOMI

If we were to name the most powerful assumption of all, which leads one on and on in an attempt to understand life, it is that all things are made of atoms, and that everything that living things do can be understood in terms of the jiggings and wiggings of atoms

-Richard P. Feynman

[20 bodova] Cilj ovog zadatka je proučiti kako atomska struktura krutih materijala utječe na njihova temperaturna svojstva. Za to ćemo koristiti online alat [Desmos Graphing Calculator](#) te unaprijed pripremljenju Excel tablicu, koju možete preuzeti [ovdje](#). Prije nego počnete rješavati zadatak predlažemo vam da isprobate korištenje Desmosa sa danim grafom(vidi dolje).

Kao što znamo, sve tvari su građene od atoma. Ovisno o agregatnom stanju, atomi mogu biti slobodni (plin), slabo povezani (tekućina) ili čvrsto povezani (krutina). (Fun fact: Staklo je izrazito teško svrstati u jednu od ove dvije skupine. Iako se čini čvrsto, staklo je zapravo tekućina koja nevjerovatno sporo teče. Poput, super ljepljivog meda, s vremenom relaksacije od 10^9 godina :) Iako čvrsto povezani, atomi u krutini ne miruju, već titraju oko ravnotežnog položaja.

1. U kakvoj se ravnoteži nalaze atomi u krutom agregatnom stanju?
2. Ako povećamo temperaturu, hoće li se titranje atoma povećati, smanjiti ili ostati isto? Što će se dogoditi ako nastavimo povećavati temperaturu?
3. Što se događa sa cjelokupnim materijalom kad ga zagrijavamo? Hoće li mu se dimenzije povećati ili smanjiti?

Sada kad smo kvalitativno opisali sustav, možemo započeti kvantitativan opis sustava atoma. No prije toga: [Kinetička energija je energija koju asociramo s gibanjem nekog tijela, mirujuće tijelo ima kinetičku energiju 0](#). Također je potrebno je znati: **kinetička energija atoma je proporcionalna temperaturi sustava**. Nije potrebno razumijeti od kud slijedi ovaj rezultat, ali možemo zamisliti kako titranje atoma raste uslijed porasta temperature. Kako bismo pojednostavili analizu, svest ćemo naš materijal na dva atoma i pretpostaviti da jedan od njih miruje. Sada možemo promatrati kako potencijalna energija sustava ovisi o položaju drugog atoma. Sličan sustav tvore jabuka i Zemlja. Što je jabuka dalje od Zemlje, to joj je potencijalna energija veća. Ovisnost potencijalne energije o udaljenosti x možemo opisati pravcem $E = Gx$. Sustav atoma je, naravno, malo kompliciraniji i ovisnost potencijalne energije o udaljenosti je složena funkcija. Stoga ćemo sustav proučavati numerički.

Za rješavanje ovog dijela zadatka koristit ćemo "Desmos graphing calculator". Na [poveznici](#) možete pronaći već postavljenu ovisnost potencijalne energije (označene s y) u ovisnosti o položaju atoma (x). Možete zamisliti potencijalnu energiju kao jamu i atom kao kuglicu koja se miče u njoj. Stoga, kao i svaka kuglica, atom se želi spustiti u najnižu točku jame. OPREZ: stvarna kuglica se zaustavlja zbog trenja, ali u našem slučaju nema trenja.

4. Objasnite zašto potencijalna energija atoma ima danu ovisnost o udaljenosti atoma. HINT: Razmislite što se događa za jako malu i jako veliku udaljenost između dva atoma.
5. Mijenjate vrijednosti parametara a i b . Što se događa s potencijalnom energijom? (NB: parametre možete mijenjati pomoću klizača ili možete direktno unijeti vrijednost koju želite.)
6. Kada bi atom savršeno mirovao, na kojoj udaljenosti bi se nalazio? Kolike su mu potencijalna, kinetička te ukupna energija?

Sada ćemo proučavati sustav koji se nalazi na konačnoj temperaturi te atomi imaju neku kinetičku energiju. Sustav možemo promatrati kao atom koji kreće sa dna potencijalne jame. Ovisno o početnoj kinetičkoj energiji, atom dolazi do neke najviše točke. (Kada bacimo lopticu u vis, što je jače bacimo to će više doseći). Mjenjanjem parametra c , možete promatrati do kuda će doći atom uz zadanu početnu kinetičku energiju. Prije nego nastavite, postavite vrijednosti parametara $a = 20$, $b = 3$, $c = -5$.

7. Uz danu pretpostavku da je kinetička energija atoma proporcionalna temperaturi i dani prikaz potencijalne energije obrazložite svoje odgovore na pitanja 1 i 2.
8. Promijenite vrijednost parametra c , tako da $c = -3$. Kako je dno potencijalne jame $c = -5$ možemo reći da promatramo slučaj sa kinetičkom energijom 2. Koja su najveća i najmanja udaljenost atoma prilikom titranja?
9. Prosječni položaj atoma, d , je dana polovištem krajnjih točaka gibanja. Kako d ovisi o temperaturi? Kako možete obrazložiti treće pitanje koristeći ovo?
10. Izmjerite 20 srednjih vrijednosti udaljenosti za 20 različitih temperatura. Rezultat prikazite grafički. (NB: Uzmite barem 10 točaka koje su blizu nule kinetičke energije. Ostale točke rasporedite da pokrijete malo veći raspon.)
11. Koeficijent toplinske ekspanzije tijela α definiramo kao relativnu promjenu u dimenzijama materijala sa temperaturom $\Delta l/l = \alpha T$. Gdje je l početna duljina tijela. Iz danih podataka procijenite koeficijent α . (Hint: Odaberite samo one točke koje vam leže na pravcu).
12. Iz potencijalne energije možemo vidjeti da za određene kinetičke energije ne postoji srednja vrijednost udaljenosti atoma. Pokušajte fizikalno objasniti što se događa sa materijalom dok se temperatura približava kritičnoj vrijednosti.

Sada ćemo pokušati ova svojstva povezati sa stvarnim veličinama. Trenutno, naš model sadrži 2 parametra koja možemo mijenjati (a i b). No oni nemaju nikakvo fizikalno značenje. Potrebno ih je povezati sa stvarnim veličinama kako bismo mogli testirati naš model. Stoga ćemo uvesti 3 veličine: srednja udaljenost među atomima, koeficijent toplinske ekspanzije i temperatura taljenja. Cilj zadatka je odabrati vrijednosti parametara a i b koji odgovaraju temperaturi taljenja i srednjoj udaljenosti za neki materijal (npr. Aluminijski) te iz toga predvidjeti vrijednost koeficijenta toplinske ekspanzije.

13. U danoj tablici su vrijednosti srednjih udaljenosti atoma te njihova tališta. Za svaki od materijala namjestite vrijednosti a i b kako bi odgovarale srednjoj vrijednosti i talištu za zadani materijal. (Udaljenost od 1 na x i y osi neka vam predstavljaju 100 pm te 100 K). Sada ponovite zadatak kao i prije te probajte odrediti koeficijent toplinskog širenja za svaki od materijala. (Sada je dovoljno uzeti samo 10 točaka, ali pazite da ih uzmete u dobrom rasponu). U tablicu je potrebno samo unijeti nagib pravca te će vam tablica automatski izračunati koeficijent toplinskog širenja.
14. Usporedite dobivene rezultate sa stvarnim vrijednostima koeficijenata toplinskog širenja te komentirajte za koje je materijale model dobar, a za koje nije.

ATOMES

Si nous devons désigner la plus profonde des hypothèses, qui nous guide sans cesse dans notre tentative de comprendre la vie, c'est que toute chose est faite d'atomes, et que tout ce qui vit peut être compris par l'agitation et le gigotement permanent des atomes

-Richard P. Feynman

[20 points] L'objectif de ce problème est d'étudier les conséquences de la structure atomique des solides sur leurs propriétés thermiques. Nous utiliserons l'outil de tracé de graphes en ligne [Desmos Graphing Calculator](#) et le tableau Excel que vous pouvez télécharger [ici](#). Avant de commencer, il est recommandé de se faire la main avec Desmos sur un graphe connu (voir ci-après).

Comme nous le savons, la matière est faite d'atomes, et selon l'état de la matière, les atomes sont libres (gaz), faiblement liés (liquides), ou fortement liés (solide). C'est cette structure atomique qui permet aux liquides de changer de forme, tandis que les liaisons plus fortes des solides les maintiennent à une forme fixe. (pour l'anecdote, le verre est difficile à ranger dans l'une de ces deux catégories : même s'il semble rigide, en réalité il coule, extrêmement lentement. Il faut s'imaginer une sorte de miel extrêmement visqueux). Même si les atomes dans les solides sont solidement liés, ils ne sont pas immobiles, mais oscillent autour d'une certaine position d'équilibre.

1. Selon vous, dans quel type d'équilibre les atomes se trouvent-ils ?
2. Si l'on augmente la température, les oscillations vont-elles s'amplifier, diminuer, ou rester identiques ? Que pensez-vous qu'il se passe si l'on continue d'augmenter la température ?
3. Vu de l'extérieur, qu'arrive-t-il au matériau lorsqu'il est chauffé ? Ses dimensions vont-elles diminuer ou augmenter ?

Maintenant que nous avons une idée qualitative de la situation, nous pouvons passer à une étude quantitative. Pour cela, il nous faut définir la notion d'énergie cinétique : **L'énergie cinétique est l'énergie que l'on associe au mouvement d'un objet. Un objet au repos a une énergie cinétique nulle.** Nous admettrons que **l'énergie cinétique d'un atome est proportionnelle à la température du système dont il fait partie.** Il n'est pas demandé ici de comprendre l'origine de ce résultat, mais on peut s'imaginer que plus la température est haute, plus les atomes oscillent vite, et plus ils bougent vite. Pour simplifier l'étude, nous réduisons le système à seulement deux atomes, et nous nous demandons comment l'énergie potentielle de l'un des atomes évolue lorsque la distance entre les atomes varie.

Ce système est un peu similaire au système formé par une pomme et la Terre. Plus la pomme est loin de la Terre, plus grande est l'énergie potentielle, et la dépendance est linéaire : $E = Gx$. Un système atomique est plus compliqué, et la dépendance de l'énergie potentielle en fonction de la distance doit être étudiée numériquement.

Pour cette partie du problème, nous utiliserons "Desmos Graphing Calculator" et le potentiel y qui dépend de la distance x , qui peut être trouvé [ici](#). Si vous cliquez sur le lien, vous devriez voir un graphe $y(x)$ Qui montre comment l'énergie potentielle de l'atome 2 dépend de la distance entre les deux atomes. Pour vous aider, vous pouvez imaginer que l'énergie potentielle est une colline, et que l'atome est une balle sur cette colline. Comme toute balle, l'atome tend toujours à descendre vers le point le plus bas de la colline. ATTENTION : une vraie balle finirait par s'arrêter à cause des frottements, mais dans notre cas, de telles déperditions n'existent pas.

4. Tentez d'expliquer la forme de cette énergie potentielle. Indication : pensez à ce qui se passe à très petite distance, et à très grande distance.
5. Changez les valeurs des paramètres a et b . Comment le potentiel est-il modifié ? (NB: Vous pouvez modifier les paramètres en utilisant le bouton glissant ou en rentrant directement des valeurs).
6. Si le système était au repos, à quelle distance les atomes seraient-ils l'un de l'autre ? Quelles seraient ses énergies potentielle, cinétique et totale ?

Commençons maintenant à étudier un système à température finie (non nulle), où les atomes ont une énergie cinétique non nulle. On peut s'imaginer ce système comme étant un atome oscillant au fond du "puits de potentiel" (le minimum du graphe précédent). Les points extrémaux de cette oscillation dépendent de la valeur de l'énergie cinétique (par exemple, lorsque l'on lance une balle en l'air, le plus fort on la lance, le plus haut elle arrive). En changeant le paramètre c , vous pouvez visualiser jusqu'à quelle hauteur l'atome monte, à une énergie cinétique donnée. Par exemple, si le fond du puits est à $c = -5$, l'énergie cinétique (ou la température équivalente) de 1 correspond à $c = -4$. Avant de continuer, fixez les valeurs des paramètres à $a = 20$, $b = 3$, $c = -5$.

7. En supposant que l'énergie cinétique est proportionnelle à la température et en utilisant la forme de l'énergie potentielle, justifiez vos intuitions des questions 1 et 2.
8. Si l'on fixe l'énergie cinétique à $E = 2$, quelles sont les valeurs minimales et maximales de la distance entre les deux atomes ?
9. Si l'on suppose que la distance moyenne est donnée par le milieu des deux points extrémaux, comment la distance moyenne évolue-t-elle avec la température ? En utilisant ce résultat, expliquez votre résultat de la question 3.
10. Mesurez 20 distances moyennes pour 20 températures et présentez vos résultats sous forme d'un graphe. (NB Prenez au moins 10 points proche de l'énergie cinétique 0 puis espacez les 10 autres points pour couvrir une plus large gamme de valeur).
11. Le coefficient de dilatation thermique α est défini comme la variation relative de dimension du matériau lorsque la température change : $\Delta l/l = \alpha \Delta T$. À partir des données, estimez α . (INDICATION : prenez seulement les points alignés).

12. Avec ce potentiel, on constate que pour certaines valeurs de l'énergie cinétique, il n'est pas possible de définir une position moyenne. Proposez une explication sur ce qu'il se passe physiquement pour un matériau dont la température approche cette valeur critique.

Faisons maintenant le lien avec des paramètres réels. Actuellement, notre modèle contient deux paramètres que nous pouvons faire varier (a et b). Cependant, ces paramètres n'ont pas de signification physique directe, et il est nécessaire de les relier à des observables physiques réelles afin de tester notre modèle. Nous introduisons donc trois quantités physiques : la distance atomique moyenne, le coefficient de dilatation thermique et la température de fusion. Notre objectif est de choisir les valeurs de a et b qui correspondent à la température de fusion et à la distance atomique moyenne pour un certain matériau (l'aluminium par exemple) et de prédire la valeur du coefficient de dilatation thermique.

13. Dans le tableau sont données les distances atomiques moyennes et leurs températures de fusion. Pour chacun des matériaux, déterminez les valeurs de a et b qui correspondent à la distance atomique moyenne et à la température de fusion du tableau (réglez la longueur unitaire des axes x et y pour qu'elle corresponde respectivement à 100pm et 100K). Maintenant, répétez le même processus que précédemment et essayez d'obtenir le coefficient de dilatation pour chacun des matériaux. (Il suffit maintenant de faire seulement 10 points, mais faites attention à l'intervalle dans laquelle vous les prenez). De plus, il suffit d'entrer la pente du graphique dans le tableau donné, car toute la mise à l'échelle est automatique.
14. Comparez les valeurs que vous avez obtenues, avec les vraies valeurs des coefficients de dilatation. Indiquez les matériaux pour lesquels le modèle est bon, et ceux pour lesquels le modèle est mauvais.

ATOMS

If we were to name the most powerful assumption of all, which leads one on and on in an attempt to understand life, it is that all things are made of atoms, and that everything that living things do can be understood in terms of the jiggings and wiggings of atoms

-Richard P. Feynman

[20 points] The goal of this problem is to study how the atomic structure of solid materials affects their thermal properties. In this problem we will use online plotting tool [Desmos Graphing Calculator](#) and already prepared Excel table, which can be downloaded at [MAKE TABLE LINK](#). But before you begin, we suggest for you to try out Desmos a bit with a given graph(see below).

As we know, all matter is made of atoms and depending on the state, atoms are free (gas), weakly bonded (liquid) or strongly bonded (solid). It is exactly this atomic structure, which allows the liquid to change its shape at will, while the strongly bonded atoms keep the solids shape constant. (Fun fact: Glass is difficult to categorize into any of these states. Although it seems solid, it is actually a very slowly flowing liquid, like super sticky honey.) Even though atoms in a solid are strong bonded, they are not at rest, rather they oscillate around some equilibrium.

1. What do you think, what is the type of equilibrium in which atoms are situated?
2. If we increase the temperature, will the atom oscillations increase, decrease or stay the same? What do you expect to happen if we keep on increasing the temperature?
3. What happens to the bulk material when it is heated? Will its dimensions shrink or grow?

Now that we have a qualitative picture of the system we may begin with a quantitative description of the atomic system. But before that, **Kinetic energy is the energy we attribute to the motion of a body, a steady body has 0 kinetic energy.** We will also need: **Kinetic energy of an atom is proportional to the systems temperature.** It is not necessary to understand where this result comes from, but we can imagine that at higher temperatures the atoms are oscillating more and are moving faster. In order to simplify the analysis, we will reduce our system to just two atoms and examine how the potential energy of one atom depends on the distance from the other. A similar system is formed by an apple and the Earth. The further away the apple is from the Earth, the higher its potential energy and the dependence can be described by a line: $E = Gx$. An atomic system is, of course, more complicated and the dependence of the potential energy on distance is a complex function, which we need to study numerically.

To solve this part of the problem we will be using "Desmos Graphing Calculator" and already setup potential y which depends on distance x , which can be found:[here](#). When you open the link, you can see a graph $y(x)$ which shows how the potential energy of atom 2 depends its distance from atom 1. If you find it helpful, you can imagine the potential energy as a hill and the atom as a ball on that hill. As every ball, the atom wants to go down to the lowest point of the hill. CAUTION: a real ball will eventually stop due to friction, but in our case there are no such losses.

4. Try to explain why the potential energy of an atom has the given dependence. HINT: Try to think of what happens for very small and very large distance of two atoms.
5. Try to change the value of parameters a and b . What is happening to the potential, as we change them?(NB: The parameters can be changed using the slider or by directly inputting the values).
6. If an atom were at rest, on what distance would it be? What are its potential, kinetic and total energy?

Now we begin to study a system at a finite temperature where the atoms have certain kinetic energy. The system can be considered as an atom moving on the bottom of potential well, and the extremal points depending on value of kinetic energy (f.e. when we throw a ball in the air, the harder we throw, the higher it gets). By changing parameter c , you can study up to which points the atom will get, with given kinetic energy. F.e. if the bottom of the well is for $c = -5$, kinetic energy (or equivalently temperature) of 1 corresponds to $c = -4$. Before you continue, set the values of parameters to $a = 20, b = 3, c = -5$.

7. With the given assumption that the kinetic energy is proportional to the temperature and with the given potential energy, explain your answers to questions 1 and 2.
8. If we set the kinetic energy to $E = 2$, what are the maximal and minimal atomic distance during the oscillation?
9. If we assume that the mean distance is given by the midpoint of the extremal points, how does the mean distance depend on temperature? Using this, explain your answer to question 3.
10. Measure 20 mean values for 20 different temperatures and show the result graphically.(NB Take at least 10 points close to 0 of kinetic energy and spread out the rest to cover a bigger range).
11. Coefficient of thermal expansion α is defined as relative change in dimensions of the material with temperature change $\Delta l/l = \alpha \Delta T$. From given data estimate the coefficient α .(HINT: Take only the points which lie on a line).
12. From the potential energy, we can see that for certain values of kinetic energy, there does not exist a mean value of the atom. Try to explain what is physically going on with the material as the temperature approaches this critical value.

Let us now connect this with real parameters. Currently, our model contains two parameters which we can tune (a and b). However, these parameters have no direct physical meaning, and it is necessary to connect them with real physical observables in order to test our model. Therefore, we introduce three physical quantities: mean atomic distance, coefficient of thermal expansion and the melting temperature. Our goal is to pick values

of a and b which correspond to melting temperature and the mean atomic distance for a certain material (Aluminium f.e.) and from that predict the value of thermal expansion coefficient.

13. In the table are given mean atomic distances and their melting temperatures. For each of the materials setup values of a and b which correspond to the given mean distance and melting temperature (Set the unit length of x and y axis to correspond to 100pm and 100K respectively). Now repeat the same process as before and try to obtain the expansion coefficient for each of the materials. (It is now enough to do only 10 points, but be careful in which range you take them). Also, it is enough to input the slope of the graph in the given table, as all the scaling is applied automatically.
14. Compare the obtained results with real values of expansion coefficient and comment for which materials the model is good and for which it is not.

Part III

Kučni pokus - Expérience à domicile

MELODIJA BOCE

Zvuk je svugdje oko nas. Na njemu se temelji jedno od naših glavnih osjetila. Putem njega komuniciramo. Bez zvuka nema glazbe. Ako niste primjetili, zvuk će biti tema ovog problema.

Prije nego što krenemo na pokus, počnimo prvo s općenitim karakteristikama zvuka. Zvuk je val. Kada neko tijelo zatitra, recimo žica na gitari, ono zatrese i okolne molekule koje se nalaze u zraku, tako stvarajući val koji se širi do našeg uha. Kada zvuk dođe do uha, ono zatitra naš bubnjić. Valove karakterizira više veličina, koje ćemo istražiti u idućim pitanjima.

Pitanje 1. Što je to frekvencija vala? Što je to valna duljina vala?

Pitanje 2. Što je to brzina vala i kako ona ovisi o frekvenciji i valnoj duljini? Koliko ona iznosi u zraku? Je li ta brzina fiksna ili se može mijenjati?

Pitanje 3. Zamislimo na trenutak da se gibate brže od brzine zvuka. Približavate se prijatelju koji miruje i odlučite ga pozdraviti. Hoće li on čuti vaš pozdrav?

Puhanjem na otvor boce možemo stvoriti karakteristični "zvižduk" boce, koji se čak može koristiti za stvaranje glazbe, što možemo vidjeti [ovdje](#).

Želimo istražiti tu pojavu kvalitativno i kvantitativno.

Pitanje 4. Što je po vama fizikalni proces iz ovog zvuka, kako intuitivno možemo to razumjeti? Zašto čujemo taj zvižduk? Hoće li višlja boca imati dublji ili viši ton i zašto?

Za sljedeći dio bit će vam potreban mobitel i aplikacija [phyfox](#). Aplikacija nudi mnogo različitih alata za vršenje mjerenja, no mi ćemo se usredotočiti na spektar frekvencija, odnosno "Frequency spectrum". Ako ga otvorite, vidjet ćete dijagram koji ima razne maksimume i minimume. Taj graf nam pokazuje koliko je neka frekvencija prisutna u nekom zvuku. Kad bismo pored mobitela pustili čisti ton od recimo 600Hz, graf bi imao veliki maksimum na upravo 600Hz

Pitanje 5. Pronađite praznu bocu (autor je koristio staklenu bocu od 330ml, no uzmite onu s kojom vam je najlakše proizvesti ton). Koristeći aplikaciju odredite frekvenciju prazne boce.

Pitanje 6. U bocu dodajte vodu i odredite kako se frekvencija mijenja s volumenom vode. Napravite bar pet mjerenja frekvencija i visina vode u boci.

Sva svoja zapažanja, mjerenja i bitne veličine zapišite i jasno objasnite. Za unošenje vaših mjerenja i crtanje grafova, preporučamo vam da koristite tablicu koju smo napravili za vas, a dostupna je [ovdje](#).

Teorijski se može pokazati da je frekvencija povezana s količinom vode u boci i da vrijedi

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL_{vrat}}} \quad (1)$$

Gdje je c brzina zvuka u zraku, A je poprečna površina vrata boce, V je volumen zraka u tijelu, a L_{vrat} je efektivna duljina vrata.

Pitanje 7 Kako biste odredili količinu zraka u boci iz podataka koje već imate? Nacrtajte koristeći tablicu te podatke. Tablica također crta pravac koji prolazi kroz vaše točke, odnosno pravac dan s $f = C/\sqrt{V}$, odnosno crta ovisnost frekvencije o veličini $x = 1/\sqrt{V}$, i računa C . Odredite iz tog C koji ste dobili kolika je efektivna duljina vrata? Je li ta duljina blizu stvarne duljine vrata? Ako nije, zašto? Napomena: Za sve probleme oko

tablica, molimo da se javite na pitanja@sesterokut.com s naslovom OŠ tablica - problem, jer moguće da će postojati problemi kompatibilnosti Excela.

UNE MÉLODIE DE BOUTEILLES

Le son est partout autour de nous. Il est à la base d'un de nos sens fondamentaux. Grâce à lui nous communiquons. Sans lui, la musique n'existerait pas. Si vous le l'avez pas encore remarqué, le son est le sujet de ce problème.

Avant de commencer avec notre expérience, étudions quelques caractéristiques générales du son. Le son est une onde. Quand un objet vibre, par exemple la corde d'une guitare, cela fait bouger les molécules d'air qui l'entoure, ce qui crée une onde. Cette onde se propage jusqu'à nos oreilles, et fait vibrer nos tympans. Les ondes sont caractérisées par plusieurs quantités, ce que nous allons maintenant étudier.

Question 1. Qu'est ce que la fréquence d'une onde ? Qu'est ce que la longueur d'onde ?

Question 2. Que représente la vitesse d'une onde ? Dépend elle de la fréquence et de la longueur d'onde ? Quelle est la vitesse du son dans l'air ? Est-elle fixe ?

Question 3. Imaginons dans cette question, que vous bougez plus vite que le son. Vous vous approchez d'un ami qui est immobile et vous voulez lui dire 'bonjour'. Est ce qu'il vous entendra ?

En soufflant dans l'ouverture d'une bouteille, vous pouvez faire un 'sifflement' caractéristique, qui peut même être utilisé pour faire de la musique : comme [ici](#) par exemple.

On veut explorer ce phénomène qualitativement (comprendre ce qui rentre en jeu) et quantitativement (faire des calculs).

Question 4. Selon vous, quel est le processus physique à l'origine de ce sifflement ? Comment pouvons-nous le comprendre intuitivement ? Pourquoi l'entendons-nous ? Le ton sera-t-il plus aigu ou plus grave pour une bouteille plus grande et pourquoi ?

Pour cette prochaine partie, vous aurez besoin de votre téléphone et de l'application [phyfox](#). L'application offre de nombreux outils différents pour effectuer des mesures, mais nous allons nous concentrer sur l'outil de spectre de fréquence. Si vous l'ouvrez, vous verrez un diagramme avec différents maxima et minima. Ce graphique montre à quel point une certaine fréquence est présente dans un son. Si nous jouons un son pur de 600 Hz à côté du téléphone, le graphique montrera un grand maximum à exactement 600 Hz.

Question 5. Trouvez une bouteille vide (l'auteur a utilisé une bouteille en verre de 330ml, mais trouvez-en une avec laquelle vous pouvez facilement produire un son). À l'aide de l'application, déterminez la fréquence de votre bouteille vide.

Question 6. Ajoutez de l'eau dans la bouteille et déterminez comment la fréquence change avec le volume d'eau. Effectuez au moins cinq mesures de fréquences pour différents volumes dans la bouteille.

Notez toutes vos observations, mesures et quantités importantes et donnez des explications détaillées sur la façon dont vous avez réalisé votre expérience. Pour saisir vos mesures et dessiner des graphiques, nous vous recommandons vivement le tableau Excel que nous avons préparé, disponible [ici](#).

Théoriquement, on peut montrer que la fréquence est liée à la quantité d'eau dans la bouteille

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL_{\text{goulot}}}} \quad (2)$$

Avec c la vitesse du son dans l'air, A est l'air du disque d'ouverture de la bouteille (dans lequel vous soufflez), V est le volume d'air dans la bouteille, et L_{goulot} est la longueur du goulot.

Question 7. Comment pourriez-vous déterminer la quantité d'air dans la bouteille en vous appuyant sur les données mesurées ? Représentez les données en utilisant tableau Excel. Ce tableau dessine automatiquement la droite qui passe le mieux par vos points, c'est-à-dire la droite $f = CV$ et il calcule C . Avec la valeur de C obtenue, déterminez la longueur du goulot. Cette longueur est-elle proche de la longueur du goulot de votre bouteille ? Sinon, pourquoi ?

A BOTTLE'S MELODY

Sound is everywhere around us. It is the basis of one of our fundamental senses. Through it we communicate. Without sound, there is no music. If you haven't noticed already, sound is the subject of this problem.

Before we begin with our experiment, let us start with some of the general characteristics of sound. Sound is a wave. When some body vibrates, for example a guitar string, it also shakes the surrounding molecules in the air, creating a wave. This wave spreads to our ears, shaking our eardrums. Waves are characterized by multiple quantities, which we now explore.

Question 1. What is a frequency of a wave? What is a wavelength?

Question 2. What does the velocity of a wave represent? How does it depend on frequency and wavelength? What is its value in air? Is this velocity fixed or can it change?

Question 3. Let's imagine for a moment you are moving faster than sound. You are approaching a friend that is standing still and you want to say hello. Will they hear your greeting?

By blowing on the opening of a bottle, we can make the characteristic "whistle", which can even be used to create music, seen [here](#) for example.

We wish to explore this phenomenon qualitatively and quantitatively.

Question 4. What do you think is the physical process behind this whistle? How can we intuitively understand it? Why do we hear it? Will the tone of the bottle be higher or lower for a larger bottle and why?

For this next part you will need your phone and the application [phyphox](#). The application offers a lot of different tools for doing measurements, but we will focus on the frequency spectrum tool. If you open it, you will see a diagram with various maxima and minima. This graph shows how much a certain frequency is present in some sound. If we would play a pure tone of 600Hz next to the phone, the graphs would show a big maximum at exactly 600Hz.

Question 5. Find an empty bottle (the author used a glass bottle of 330ml, but find one with which you can easily produce a tone). Using the app determine the frequency of your empty bottle.

Question 6. Add water to the bottle and determine how the frequency changes with the volume of water. Make at least five measurements of frequencies for different volumes in

the bottle.

Write down all of your observations, measurements and important quantities and give detailed explanations of how you did your experiment. For entering your measurements and drawing graphs, we strongly recommend the Excel table we prepared, available [here](#).

Theoretically it can be shown that the frequency is linked to the quantity of the water in the bottle

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL_{neck}}} \quad (3)$$

Where c is the speed of sound in air, A is the cross section of the neck of the bottle, V is the volume of air in the bottle, and L_{neck} is the effective length of the neck.

Question 7. How would you determine the amount of air in the bottle from the data you already have? Draw the data using the Excel table. The table draws the line through your points automatically, meaning, the line $f = CV$ and it calculates C . From C that you get, determine the effective length of the neck. Is that length close to the actual neck length of you bottle? If not, why?