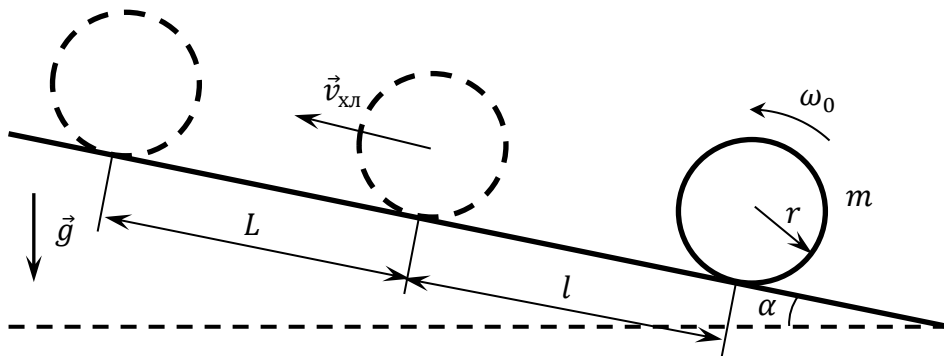


МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
ПРОЛЕТНО НАЦИОНАЛНО СЪСТЕЗАНИЕ ПО ФИЗИКА
5 МАРТ 2023 г., ВАРНА
Специална тема (седма възрастова група)

Задача 1. Търкалящо се тяло по наклонена равнина.



Тяло с осева симетрия (цилиндър, кълбо и т.н.) има маса m , радиус r и инерчен момент $I = kmr^2$ (спрямо ос, минаваща през центъра на масата му и перпендикулярна на чертежа, k е известно число) се поставя върху наклонена равнина, сключваща ъгъл α с хоризонта. Началната му скорост е нула, а началната му ъглова скорост е ω_0 (в посоката, показана на чертежа). Земното ускорение е g . Коефициентът на триене при хлъзгане между тялото и наклонената равнина е μ . Тялото тръгва нагоре.

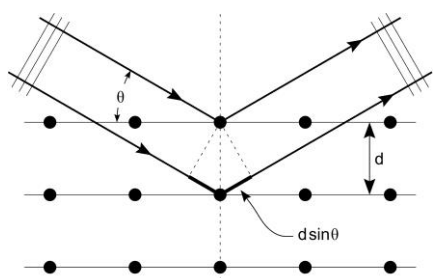
Изразявайте всички отговори чрез параметъра $n = \frac{\mu}{\tan \alpha}$! Също така не рационализирайте (в математическия смисъл на думата) отговорите, а ги представяйте във вид, съдържащ параметри на най-малко места и най-лесен за проверка в частни случаи или при изчисления!

- а) При какви стойности на коефициента на триене μ тялото ще тръгне нагоре. [0.5 т.]
- б) С какво ускорение $a_{\text{хл}}$ ще се движи тялото, докато има хлъзгане? [0.5 т.]
- в) Колко време $t_{\text{хл}}$ ще се движи тялото с хлъзгане? [2.0 т.]
- г) Колко ще е скоростта $v_{\text{хл}}$ в момента, когато хлъзгането изчезне и тялото започне да се търкаля без хлъзгане? [0.5 т.]
- д) Какъв път l ще измине тялото, докато се хлъзга? [0.5 т.]
- е) При каква стойност на параметъра n пътът l ще бъде максимален? [1.5 т.] Получете израз за този максимален път l_{max} . [1.0 т.]
- ж) Какъв допълнителен път L ще измине тялото нагоре без хлъзгане, преди да се върне обратно надолу? [1.5 т.]
- з) С какво ускорение $a_{\text{безхл}}$ ще се движи тялото, докато изминава пътя L ? [0.5 т.]
- и) Колко е отношението $\frac{E_{\text{кр}}}{E_0}$ на крайната (когато тя престане да се променя) механична енергия $E_{\text{кр}}$ и началната механична енергия E_0 ? При каква стойност на n това отношение ще бъде максимално? [1.5 т.]

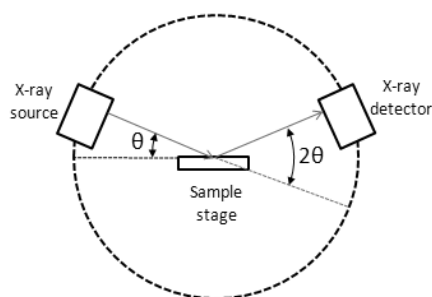
Задача 2. Рентгенова прахова дифрактометрия.

Подредбата на атомите в твърдите тела може да се изследва с дифракция на рентгенови лъчи (тъй като тяхната дължина на вълната е сравнима с разстоянията между атомите). Транслационната симетрия на един кристал се описва с три вектора на трансляция $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ (нележащи в една равнина). Така, ако в точка с радиус-вектор $\vec{r}_0$ се

намира атом, то в точка $\vec{r}_{n_1 n_2 n_3} = \vec{r}_0 + n_1 \vec{a} + n_2 \vec{b} + n_3 \vec{c}$ се намира идентичен на първия атом ($n_1 n_2 n_3$ са цели числа). В най-простия случай на така наречените „кубични кристали“ тези три вектора са перпендикулярни и равни по големина $|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = a$. Разстоянието a се нарича константа на решетката и се дава обикновено в Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$). Във всяка равнина, в която лежат три атома, нележащи на една права, се намират безкрайно много атоми. Нещо повече, съществуват безкрайно много такива идентични успоредни равнини, разположени еквилидистантно (разстоянието между най-близките се бележи с d). Тъй като рентгеновите лъчи слабо се поглъщат от веществото, те проникват дълбоко и взаимодействат с голям брой атомни равнини. Ако дифракциралата в някаква посока светлина от една такава равнина е във фаза с дифракциралата светлина от съседната равнина, то в тази посока ще се наблюдава дифракционен максимум (виж фигурата).

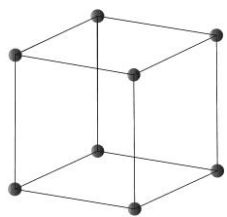


Условието за наблюдение за дифракционен максимум се дава с уравнението на Брег (Bragg): $2d \sin \theta = m\lambda$. Забележете, че ъгълът θ не се мери спрямо нормалата, а спрямо атомната равнина! Тъй като има много такива семейства успоредни еквилидистантни равнини, кристалът се държи като дифракционна решетка с много възможни параметри на дифракционната решетка d_{hkl} . В случая на кубични кристали необходимото условие за наблюдаване на дифракционен максимум се дава с уравнението $\frac{2a \sin \theta_{hkl}}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \lambda$, където a е параметърът на кубичната кристална решетка, а

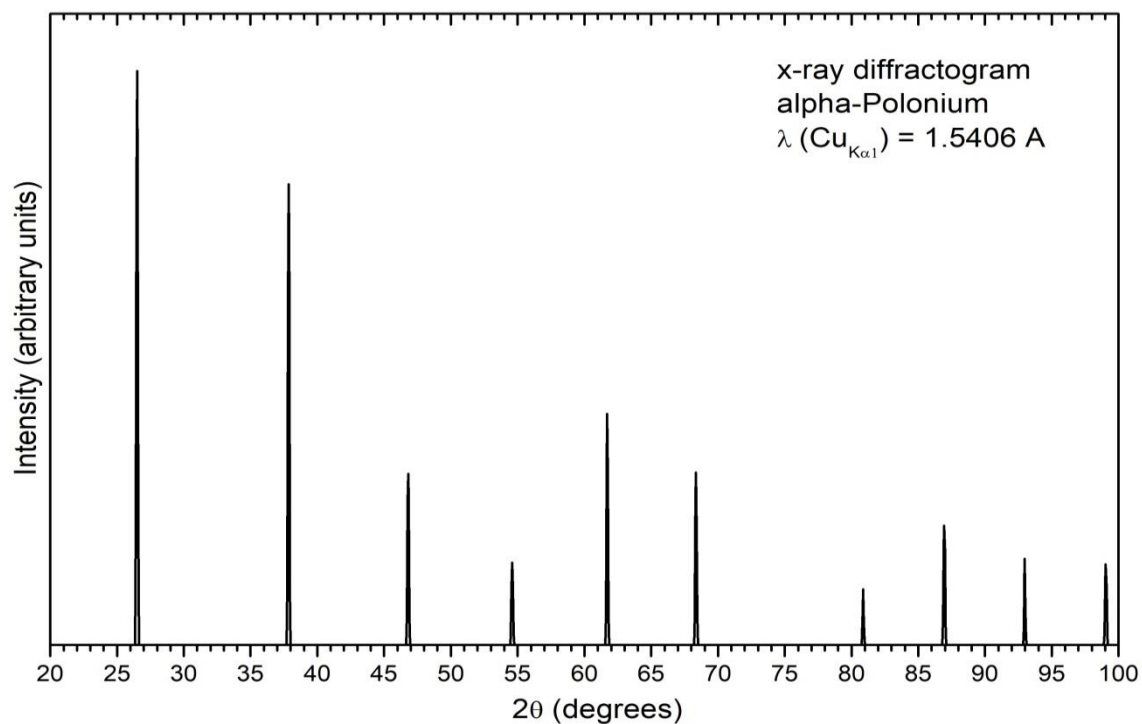


h, k, l са цели числа. Съответно наблюдаваният дифракционен максимум се бележи (индексира) с hkl . Експериментално тази дифракция може да се наблюдава със следната установка (виж фигурата): Измерва се зависимостта на интензивността на рентгеновото лъчение от ъгъла 2θ . Пробата представлява пресован прах (огромен брой кристалчета с микронни размери), така че за всеки ъгъл да има подходящо ориентирани кристалчета за наблюдение на дифракционен максимум.

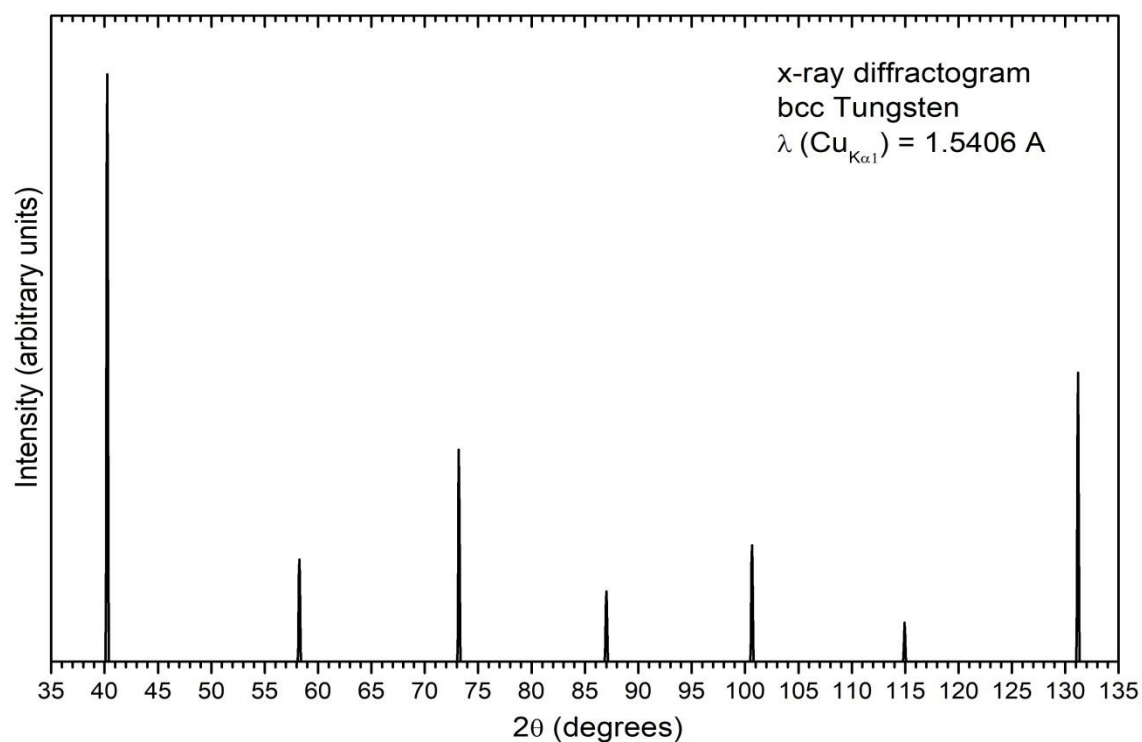
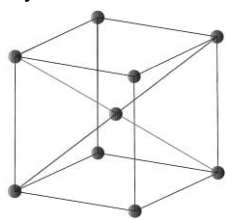
Случай на проста кубична решетка. В нея атоми са разположени във върховете на кубове (виж фигурата). Такъв е случаят на кристалната структура на $\alpha - \text{Po}$ (алфа полоний). Дифракционната картина от такова вещество (дифрактограмата) е дадена на фигурата по-долу (при по-малки ъгли не се наблюдават максимуми). Тя е получена с монохроматично рентгеново лъчение с дължина на вълната $\lambda_{\text{Cu K}\alpha_1} = 1,5406 \text{ Å}$. Приемете, че се наблюдават дифракционни максимуми за всички възможни стойности на h, k, l (възможни за изследвания интервал от ъгли).



- Индексирайте с подходящи числа hkl дифракционните максимуми на фигурата. [1.0 т.]
- Използвайки графичен метод, изчислете в Å константата на решетката a_{Po} на $\alpha - \text{Po}$. [2.7 т.]
- Масата на атом полоний е 209 u ($u = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$). Изчислете плътността $\rho_{\alpha - \text{Po}}$ на алфа-полония. [0.3 т.]



Случай на обемноцентрирана кубична решетка. В нея атоми са разположени освен във върховете на кубовете, също така и в центровете на тези кубове (виж фигурата). Такава е кристалната структура на W (волфрам, tungsten). В този случай обаче има ограничения (правила на подбор) за стойностите на h, k, l , за които ще се наблюдават максимуми. Дифрактограмата от волфрам е дадена на фигурата по-долу (при по-малки ъгли не се наблюдават максимуми). Тя е получена със същото рентгеново лъчение.



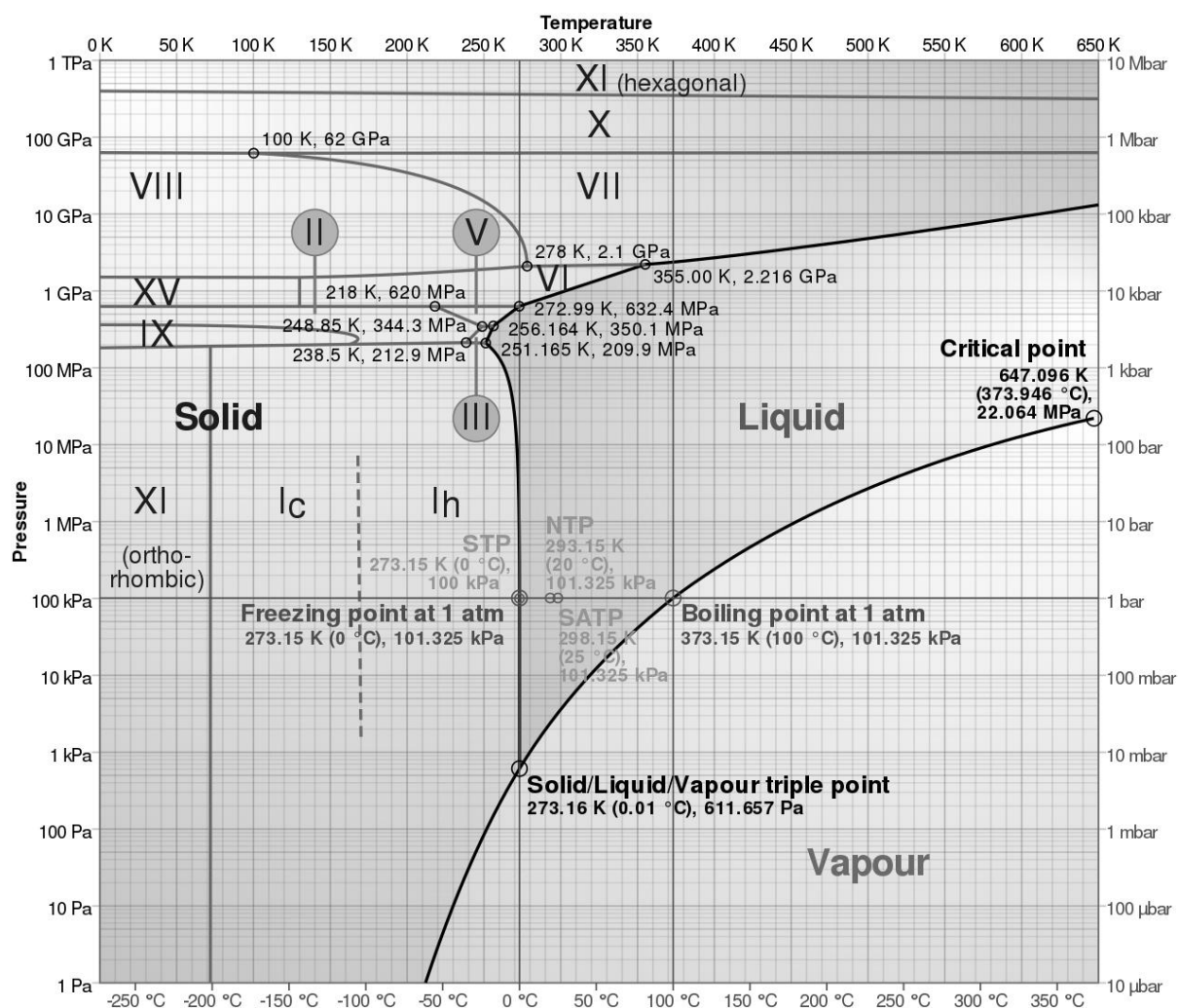
г) Индексирайте с подходящи числа hkl дифракционните максимуми на фигурата, ако е известно, че параметърът на решетката $a_W < 5,00 \text{ \AA}$. Изследвайте възможните случаи. Постулирайте математическото правило на подбор, на което се подчиняват числата h, k, l в индексите на наблюдаваните максимуми [3.0 т.]

д) Използвайки графичен метод, изчислете константата на решетката a_W на волфрама. [2.4 т.]

е) Атомната маса на волфрама е 183,84 u ($u = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$). Изчислете плътността ρ_W на волфрама. [0.6 т.]

Задача 3. Фазова диаграма на водата.

Фазова диаграма (или диаграма на състоянията) на едно вещество се нарича диаграма, от която може да се разбере за това вещество при какви условия (температура и налягане) в кое агрегатно състояние то може да съществува в термодинамично равновесие. Също така от нея може да се разбере при какви условия може да се наблюдава преход от едно агрегатно състояние в друго. По-долу е дадена фазовата диаграма на водата.



На диаграмата по абсцисата е дадена температурата (в единици °C и K), а по ординатата – налягането (в единици Pa и bar, 1 bar = 1 atm = $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$). Зоните на стабилност на различните агрегатни състояния (Solid = твърдо, Liquid = течно и Vapour = газ) са разделени една от друга с дебели линии. Ледът в твърдо състояние може да съществува

в различни кристални модификации (полиморфизъм), които са номерирани с римски числа. Използвайки тази диаграма, отговорете на следните въпроси:

а) Вода кипи в плътно затворена тенджера под налягане. Температурата на водата е 150 °C. Колко е налягането в тенджерата? [1.5 т.]

б) Ефектен експеримент е кипене на водата при стайна температура. В стъклен прозрачен цилиндър, затворен с бутало, е налята вода. Буталото се издърпва, така че да се увеличи затворения обем, при което се понижава налягането на водните пари вътре в цилиндъра. При какво налягане в цилиндъра ще се наблюдава кипене на водата при 25 °C? [1.5 т.]

в) При какво минимално налягане водата може да съществува в твърдо състояние при 250 °C? [2 т.]

г) Колко е минималната температура, при която водата може да съществува в течно състояние? [1 т.]

д) Кубче лед се пуска в напълно вакуумиран цилиндър. Температурата на цилиндъра се поддържа -50 °C. Част от леда се изпарява (сублимира). Какво ще е установеното налягане на парите (нарича се налягане на наситените пари) на водата при тази температура? [2 т.]

е) На диаграмата при $p \approx 22 \text{ MPa}$ и $t \approx 374 \text{ }^{\circ}\text{C}$ е отбелязана точка с име „Critical point“ – “Критична точка”. В тази точка „свършва“ кривата, разделяща газовото от течното състояние. Предположете какви са свойствата на водата в течно и газово състояние при тези условия. [2 т.]

