

# Theoretical Problems

44th International  
Chemistry Olympiad  
July 26, 2012  
United States  
of America

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

# Instrukcje

- Napisz swoje nazwisko, imię i kod na każdej stronie.
- Ten arkusz egzaminacyjny zawiera tekst 8 zadań i układ okresowy pierwiastków (49 stron).
- Masz **5 godzin** na rozwiązanie zadań. Możesz zacząć pracować dopiero kiedy zostanie podana komenda **START**.
- Korzystaj tylko z dostarczonego długopisu i kalkulatora.
- Wszystkie wyniki muszą być zapisane w odpowiednich polach. Wyniki zapisane poza tymi polami nie będą oceniane. Jako brudnopisu możesz używać odwrotnych stron kartek.
- Wszystkie niezbędne obliczenia przedstaw w odpowiednich polach. Pełną ilość punktów dostaniesz tylko wtedy, kiedy twój sposób rozumowania będzie pokazany.
- Kiedy skończysz rozwiązywanie zadań, włóż swoje arkusze z rozwiązaniami do koperty. Koperty nie zalepiał.
- Musisz **przestać** pracować kiedy zostanie wydana komenda **STOP**.
- Pozostań na swoim miejscu, aż opiekun sali pozwoli Ci na wyjście.
- Angielska wersja zadań będzie dostępna na żądanie tylko w przypadku niejasności.

Nazwisko i imię:

Kod: POL

# Stałe fizyczne, wzory i równania

Liczba Avogadro,  $N_A = 6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Stała Boltzmanna,  $k_B = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

Uniwersalna stała gazowa,  $R = 8.3145 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1} = 0.08205 \text{ atm}\cdot\text{L}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

Prędkość światła,  $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Stała Plancka,  $h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Masa elektronu,  $m_e = 9.10938215 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Standardowe ciśnienie,  $P = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Ciśnienie atmosferyczne,  $P_{\text{atm}} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr}$

Zero skali Celsjusza,  $273.15 \text{ K}$

1 nanometr ( $nm$ ) =  $10^{-9} \text{ m}$

1 pikometr ( $pm$ ) =  $10^{-12} \text{ m}$

Równanie koła,  $x^2 + y^2 = r^2$

Powierzchnia koła,  $\pi r^2$

Obwód koła,  $2\pi r$

Objętość kuli,  $4\pi r^3/3$

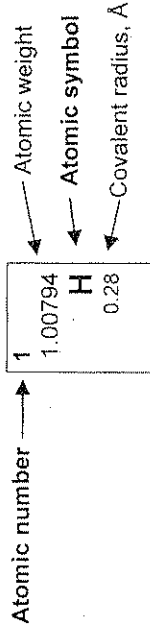
Powierzchnia kuli,  $4\pi r^2$

Prawo dyfrakcji Braggów:  $\sin \theta = n\lambda/2d$

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

1	1.00794 H 0.28	2	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3	6.941 Li	11	22	19	20	21	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
2	22.9898 Na	12	47.867 Ti	39.0983 K	40.078 Ca	44.9559 Sc	50.9415 V	54.9381 Mn	55.845 Fe	58.9332 Co	58.6934 Ni	63.546 Cu	65.39 Zn	69.723 Ga	72.61 Ge	74.9216 As	78.96 Se	79.904 Br	83.80 Kr
4	85.4678 Rb	38	91.224 Zr	85.4678 Rb	87.62 Sr	88.9059 Y	92.9064 Nb	97.905 Tc	101.07 Ru	102.906 Rh	106.42 Pd	107.868 Ag	112.41 Cd	114.818 In	118.710 Sn	121.760 Sb	127.60 Te	126.904 I	131.29 Xe
5	132.905 Cs	56	178.49 Hf	132.905 Cs	137.327 Ba	180.948 Ta	183.84 W	186.207 Re	190.23 Os	192.217 Ir	195.08 Pt	200.59 Hg	204.383 Tl	207.2 Pb	208.980 Bi	209.99 Po	208.98 At	209.99 Rn	222.02 Uuo
7	223.02 Fr	88	261.11 Rf	223.02 Fr	226.03 Ra	262.11 Db	263.12 Sg	262.12 Bh	265 Hs	266 Mt	271 Ds	272 Rg	285 Cn	284 Uut	289 Fl	288 Uup	292 Lv	294 Uus	294 Uuo



57	138.906 La	58	140.115 Ce	59	140.908 Pr	60	144.24 Nd	61	144.91 Pm	62	150.36 Sm	63	151.965 Eu	64	157.25 Gd	65	158.925 Tb	66	162.50 Dy	67	164.930 Ho	68	167.26 Er	69	168.934 Tm	70	173.04 Yb	71	174.04 Lu
89	(227.03) Ac	90	232.038 Th	91	231.036 Pa	92	238.029 U	93	(237.05) Np	94	(244.06) Pu	95	(243.06) Am	96	(247.07) Cm	97	(247.07) Bk	98	(251.08) Cf	99	(252.08) Es	100	(257.10) Fm	101	(258.10) Md	102	(259.1) No	103	(260.1) Lr

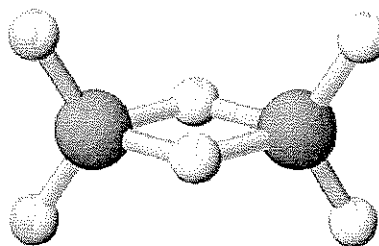
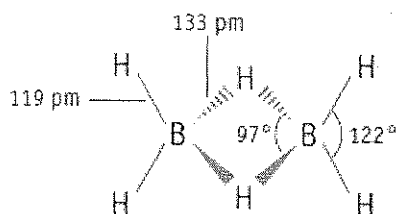
## ZADANIE 1

7.5% całości

a-i	a-ii	a-iii	b	c	Zadanie 1	
4	2	2	2	10	20	7.5%

## a. Wodorki boru i inne związki boru

Chemiczne właściwości wodorków boru zostały opracowane po raz pierwszy przez Alfreda Stocka (1876-1946). Opisanych zostało ponad 20 elektroobojętnych, cząsteczkowych wodorków boru o ogólnym wzorze  $B_xH_y$ . Najprostszym wodorkiem boru jest  $B_2H_6$ , diboran.



i. Na podstawie poniższych danych wyprowadź wzory **cząsteczkowe** dwóch innych członków tego szeregu wodorków boru, A i B.

Substancja	Stan skupienia (25 °C, 1 bar)	Procent masowy boru	Masa molowa (g/mol)
A	Ciecz	83.1	65.1
B	Ciało stałe	88.5	122.2

A = \_\_\_\_\_

B = \_\_\_\_\_

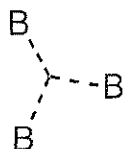
Nazwisko i imię:

Kod: POL-

ii. William Lipscomb otrzymał Nagrodę Nobla z chemii w roku 1976 za “badania struktur wodorków boru rzucające światło na zagadnienia wiązania chemicznego”. Lipscomb stwierdził, że *we wszystkich wodorkach boru, każdy atom boru połączony jest typowym, 2-elektronowym wiązaniem z przynajmniej jednym atomem wodoru (B–H)*. Występują jednak także dodatkowe wiązania różnych typów i Lipscomb opracował schemat opisu struktury boranu przez przypisanie mu liczby *styx*, gdzie:

$s$  = liczba mostków B–H–B w cząsteczce

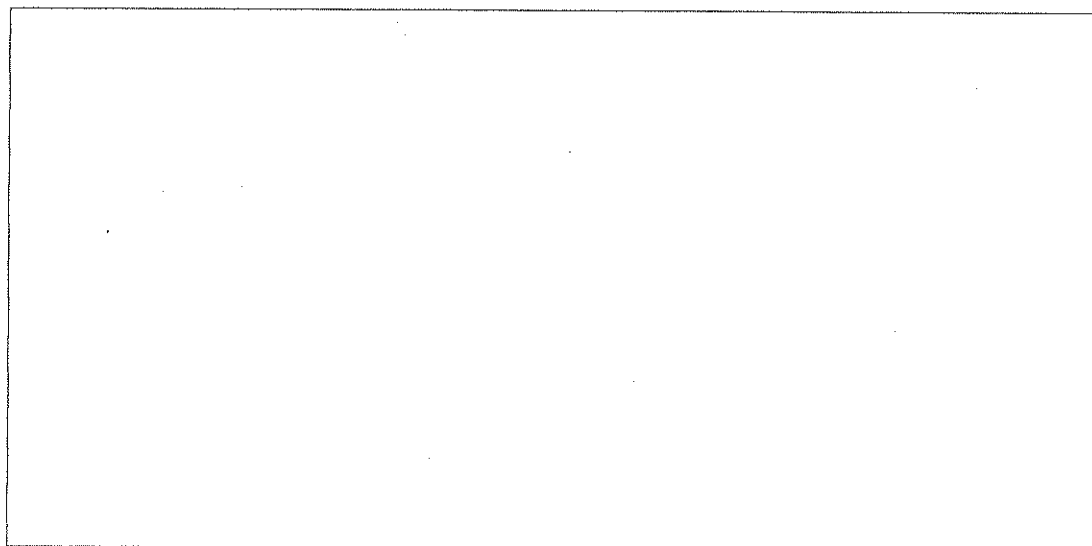
$t$  = liczba trójcentrowych wiązań BBB w cząsteczce



$y$  = liczba dwucentrowych wiązań B–B w cząsteczce

$x$  = liczba grup BH<sub>2</sub> w cząsteczce

Liczba *styx* dla B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> wynosi 2002. Zaproponuj strukturę tetraboranu, B<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, o liczbie *styx* wynoszącej 4012.

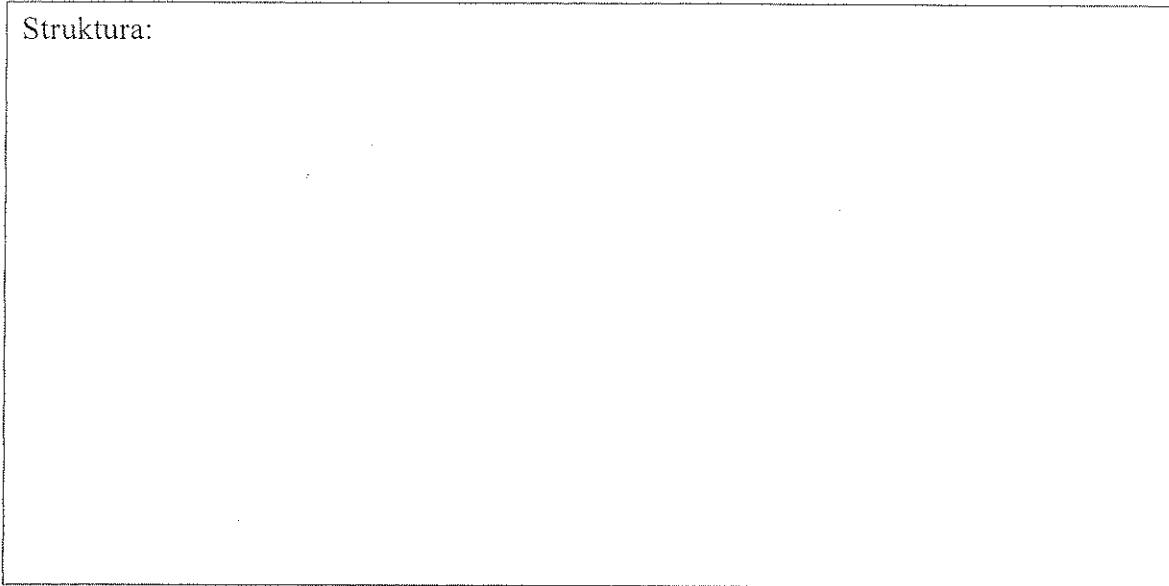


Nazwisko i imię:

Kod: POL-

iii. Zawierający bor związek składa się z boru, węgla, chloru i tlenu ( $B_4CCl_6O$ ). Pomiary spektroskopowe wykazują, że cząsteczka tego związku ma dwa typy atomów B, o tetraedrycznym i płaskim trygonalnym układzie wiązań, pozostające w proporcji ilościowej, odpowiednio, 1:3. Widma te wykazują także istnienie grupy CO z potrójnym wiązaniem. Wiedząc, że wzór cząsteczkowy tego związku ma postać  $B_4CCl_6O$ , zaproponuj strukturę jego cząsteczki.

Struktura:



Nazwisko i imię:

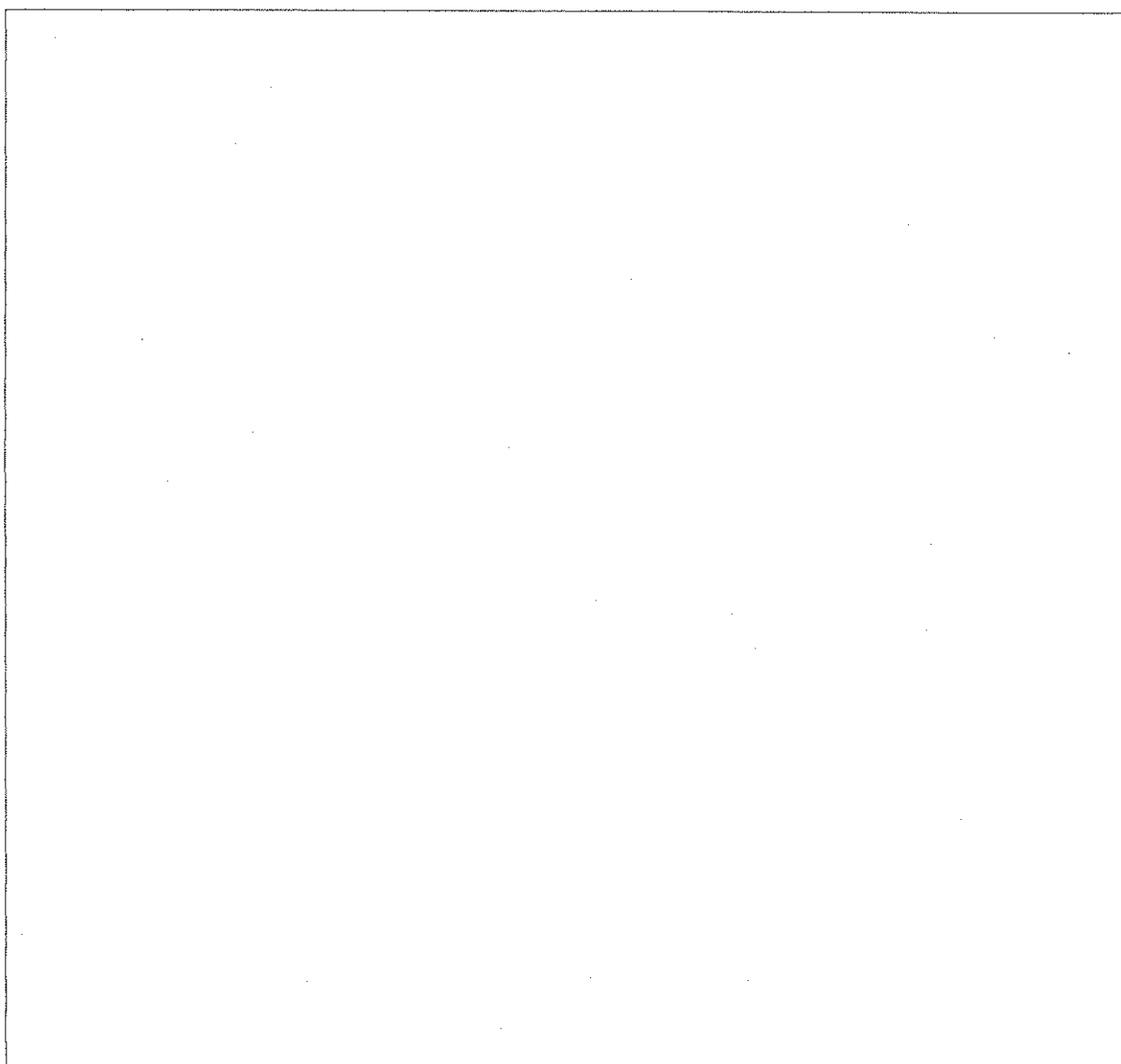
Kod: POL-

**b. Thermochemia związków boru**

Wyznacz entalpię dysocjacji pojedynczego wiązania B-B w cząsteczce  $B_2Cl_4(g)$ , na podstawie następujących danych:

Wiązanie	Entalpia dysocjacji wiązania (kJ/mol)
B-Cl	443
Cl-Cl	242

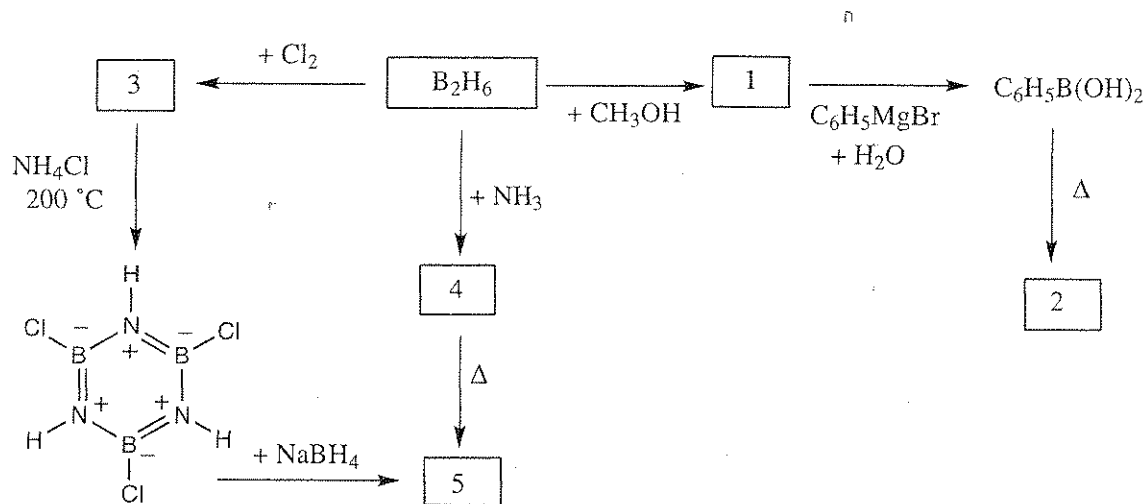
Związek	$\Delta_f H^\circ$ (kJ/mol)
$BCl_3(g)$	-403
$B_2Cl_4(g)$	-489





**c. Chemiczne właściwości diboranu**

Na poniższym schemacie podaj strukturę każdego oznaczonego cyfrą związku. Każdy z tych ponumerowanych związków zawiera bor.

**UWAGI:**

- Temperatura wrzenia związku 5 wynosi  $55\text{ }^\circ\text{C}$ .
- We wszystkich reakcjach stosowano nadmiar odczynników.
- Obniżenie temperatury krzepnięcia dla  $0.312\text{ g}$  związku 2 w  $25.0\text{ g}$  benzenu wynosi  $0.205\text{ }^\circ\text{C}$ . Stała krioskopowa dla benzenu wynosi  $5.12\text{ }^\circ\text{C/molal}$  (stężenie molalne)

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

Numer	Molekularna struktura związku
1	
2	
3	
4	
5	

## ZADANIE 2

7.8% całości

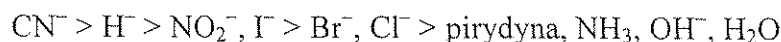
a-i	a-ii	b-i	b-ii	c	Zadanie 2	7.8%
4	4	6	1	5	20	

Połączenia platyny(II), izomery i efekt *trans*.

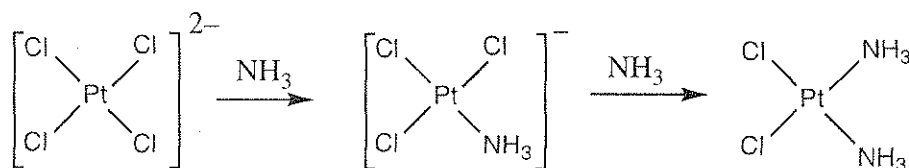
Platyna i inne metale grupy 10 tworzą kompleksy płaskie kwadratowe, których mechanizmy reakcji są intensywnie badane. Na przykład, wiadomo, że reakcje podstawienia tych kompleksów zachodzą z retencją ich stereochemicznej konfiguracji.



Wiadomo także, że szybkość podstawiania ligandu X przez Y zależy od natury ligandu znajdującego się w położeniu *trans* względem X, tzn. od ligandu T. Wpływ ten znany jest jako **efekt *trans***. Jeśli T jest jedną z cząsteczek lub jonów z poniższej listy, szybkość podstawiania w pozycji *trans* maleje z lewa na prawo.



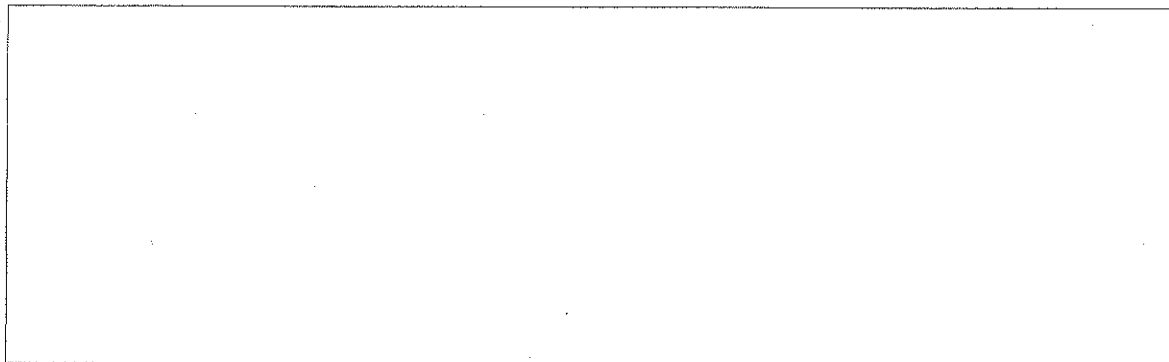
Otrzymywanie *cis*- i *trans*-Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> zależy od efektu *trans*. Izomer *cis*, chemioterapeutyk stosowany w leczeniu nowotworów i nazywany zwykle cisplatyną, otrzymuje się w reakcji K<sub>2</sub>PtCl<sub>4</sub> z amoniakiem.



Nazwisko i imię:

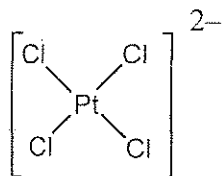
Kod: POL-

i. Narysuj wszystkie możliwe stereoizomery płaskiego, kwadratowego związku platyny(II) o wzorze  $\text{Pt}(\text{py})(\text{NH}_3)\text{BrCl}$  (gdzie py = pirydyna,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ).

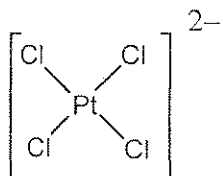


ii. Napisz równania reakcji, uwzględniając produkty przejściowe (jeśli powstają), pokazujące otrzymywanie, w roztworze wodnym, każdego ze stereoizomerów  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)(\text{NO}_2)\text{Cl}_2]^-$  używając jako reagentów  $\text{PtCl}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_3$  i  $\text{NO}_2^-$ . Reakcje te są kontrolowane kinetycznie przez efekt *trans*.

*cis*-izomer:

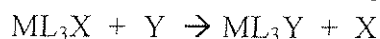


*trans*-izomer:



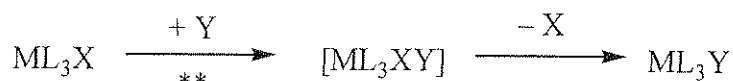
### b. Kinetyczne badania reakcji podstawienia kompleksów płaskich kwadratowych

Reakcje podstawienia ligandu X przez Y w kompleksach płaskich kwadratowych:



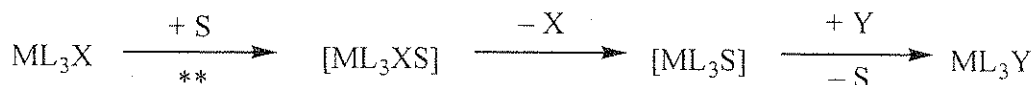
mogą zachodzić na jednej z dwóch, albo na obu drogach:

- *Bezpośrednie podstawienie:* Dochodzący ligand Y przyłącza się do jonu centralnego, tworząc pięciokoordynacyjny kompleks, który następnie szybko odłącza ligand X z wytworzeniem produktu  $\text{ML}_3\text{Y}$ .



\*\* = etap limitujący szybkość, stała szybkości =  $k_Y$

- *Podstawienie z udziałem rozpuszczalnika.* Cząsteczka rozpuszczalnika S przyłącza się do jonu centralnego z wytworzeniem  $\text{ML}_3\text{XS}$ , z którego następnie odłącza się X i powstaje  $\text{ML}_3\text{S}$ . Y szybko podstawia S, tworząc  $\text{ML}_3\text{Y}$ .



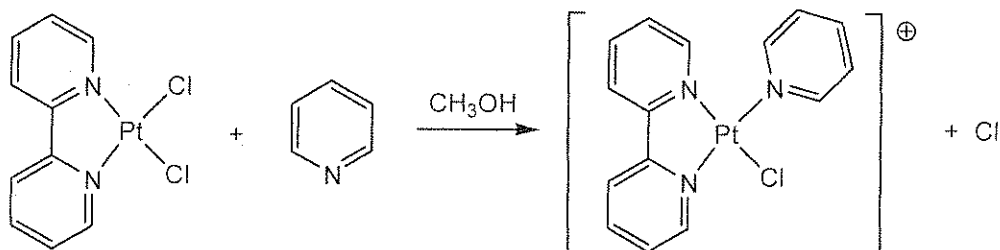
\*\* = etap limitujący szybkość, stała szybkości =  $k_S$

Ogólne równanie kinetyczne dla takich reakcji podstawienia ma postać:

$$\text{Szybkość} = k_S[\text{ML}_3\text{X}] + k_Y[\text{Y}][\text{ML}_3\text{X}]$$

Jeśli  $[\text{Y}] \gg [\text{ML}_3\text{X}]$ , to szybkość =  $k_{\text{obs}}[\text{ML}_3\text{X}]$ .

Wartości  $k_S$  i  $k_Y$  zależą od zastosowanych substratów i rozpuszczalnika. Przykładem jest podstawienie ligandu  $\text{Cl}^-$  w płaskim kwadratowym kompleksie platyny(II),  $\text{ML}_2\text{X}_2$ , przez cząsteczkę pirydyny ( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ). (Pokazany wyżej schemat reakcji dla  $\text{ML}_3\text{X}$  stosuje się także do  $\text{ML}_2\text{X}_2$ .)



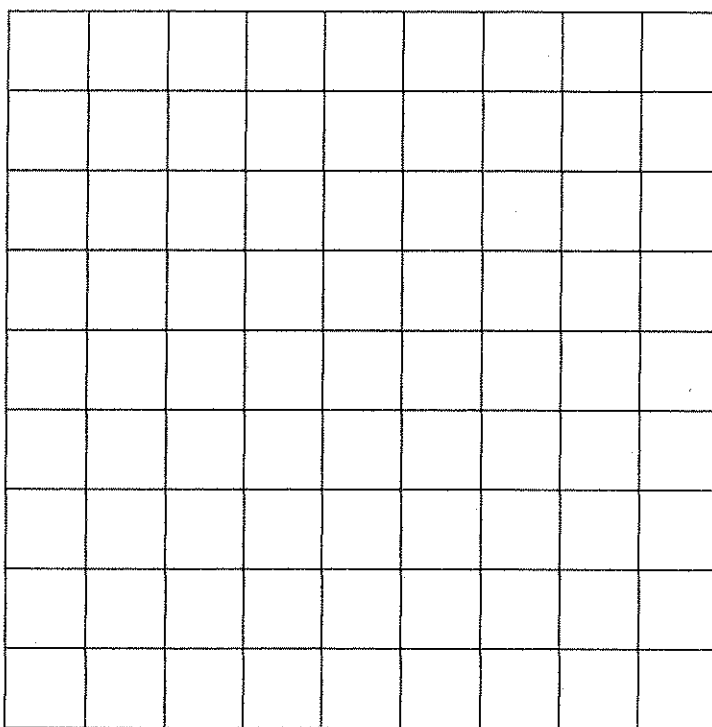
Nazwisko i imię:

Kod: POL-

W poniższej tabeli zestawione są dane dla reakcji biegnącej w 25 °C, w metanolu, gdzie [pirydyna]  $\gg$  stężenia kompleksu platyny.

Stężenie pirydyny (mol/L)	$k_{\text{obs}}$ ( $\text{s}^{-1}$ )
0.122	$7.20 \times 10^{-4}$
0.061	$3.45 \times 10^{-4}$
0.030	$1.75 \times 10^{-4}$

i. Oblicz wartości  $k_s$  i  $k_Y$ . Każdej stałej szybkości przypisz odpowiednią jednostkę. Możesz używać w tym celu załączonej, narysowanej siatki.

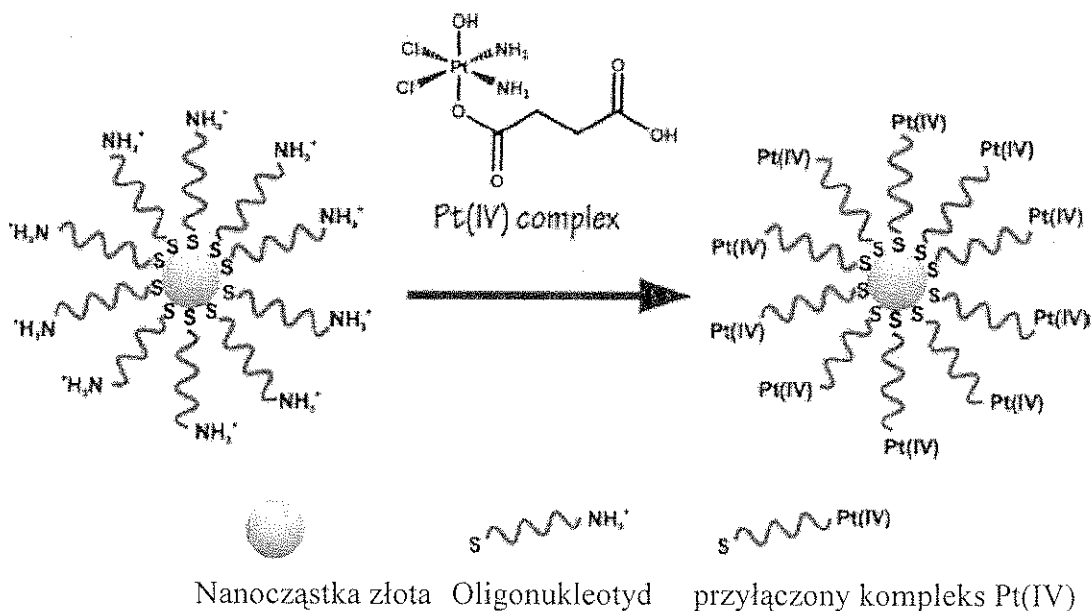


ii. Jeśli [pirydyna] = 0.10 mol/L, to które z następujących zdań jest prawdziwe? (zaznacz kwadracik obok prawidłowej odpowiedzi)

<input type="checkbox"/>	Większość pirydynowego produktu tworzy się na drodze reakcji podstawienia z udziałem rozpuszczalnika ( $k_s$ )
<input type="checkbox"/>	Większość pirydynowego produktu tworzy się na drodze bezpośredniego podstawienia ( $k_Y$ )
<input type="checkbox"/>	Na obu drogach tworzą się porównywalne ilości produktu.
<input type="checkbox"/>	Nie można wyciągnąć wniosków na temat względnych ilości produktów wytworzonych na obu drogach.

### c. Chemioterapeutyk

W celu poprawy oddziaływania cisplatyny na komórki nowotworowe, grupa profesora Lipparda z Massachusetts Institute of Technology (MIT) dokonała przyłączenia kompleksu platyny(IV) do oligonukleotydów związanych z nanocząstkami złota.



W eksperymentach użyto nanocząstek złota o średnicy 13 nm. Do każdej nanocząstki przyłączonych jest 90 grup oligonukleotydydowych, z których 98% związanych jest z kompleksem Pt(IV). Załóżmy, że naczynie reakcyjne używane do traktowania komórek z odczynnikami zawierającym nanocząstki z Pt(IV) ma objętość 1.0 mL i że stężenie Pt w roztworze wynosi  $1.0 \times 10^{-6}$  M. **Oblicz masę złota i platyny użytych w tym doświadczeniu.** (Gęstość złota wynosi  $19.3 \text{ g/cm}^3$ )

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

**Masa platyny**

**Masa złota**

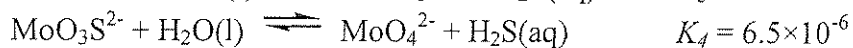
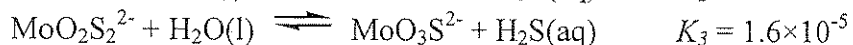
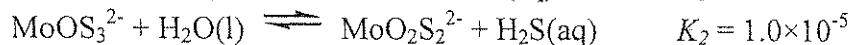
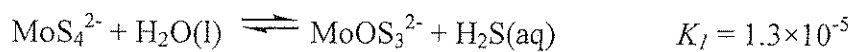


**ZADANIE 3****7.5 % całości**

<b>A</b>	<b>b</b>	<b>c-i</b>	<b>c-ii</b>	<b>Zadanie 3</b>	
<b>4</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>34</b>	<b>7.5%</b>

Jony tiomolibdenianowe wywodzą się od jonów molibdenianowych,  $\text{MoO}_4^{2-}$ , poprzez zastąpienie atomów tlenu atomami siarki. W przyrodzie jony tiomolibdenianowe znajdują się w takich miejscach, jak w głębinach Morza Czarnego, gdzie biologiczna redukcja siarczanów prowadzi do wytworzenia  $\text{H}_2\text{S}$ . Transformacja molibdenianów do tiomolibdenianów prowadzi do szybkiego usuwania rozpuszczonego Mo z wody morskiej do wytrącających się osadów, zubażając ocean w molibden, pierwiastek śladowy niezbędny do życia.

Następujące równowagi decydują o względnych stężeniach jonów molibdenianowych i tiomolibdenianowych w rozcieńczonych roztworach wodnych.



a. Jeśli w stanie równowagi roztwór zawiera  $1 \times 10^{-7} \text{ M MoO}_4^{2-}$  i  $1 \times 10^{-6} \text{ M H}_2\text{S}(\text{aq})$ , to jakie będzie stężenie  $\text{MoS}_4^{2-}$ ?

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

Roztwory zawierające  $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$ ,  $\text{MoOS}_3^{2-}$  i  $\text{MoS}_4^{2-}$  wykazują piki absorpcyjne w widzialnym zakresie widma, dla długości fal 395 and 468 nm. Pozostałe jony, podobnie jak  $\text{H}_2\text{S}$ , wykazują pomijalną absorpcję w widzialnym zakresie widma. W poniższej tabeli podane są molowe współczynniki absorpcji ( $\epsilon$ ) dla tych dwu długości fali:

	$\epsilon$ dla 468 nm $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$	$\epsilon$ dla 395 nm $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$
$\text{MoS}_4^{2-}$	11870	120
$\text{MoOS}_3^{2-}$	0	9030
$\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$	0	3230

b. Roztwór, który *nie* znajduje się w stanie równowagi, zawiera mieszaninę  $\text{MoS}_4^{2-}$ ,  $\text{MoOS}_3^{2-}$  i  $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$  i nie zawiera żadnego innego związku Mo. Całkowite stężenie wszystkich form zawierających Mo wynosi  $6.0 \times 10^{-6} \text{ M}$ . Absorbancja roztworu umieszczonego w kuwecie absorpcyjnej o grubości 10.0 cm, dla długości fali 468 nm, wynosi 0.365, a dla długości fali 395 nm - wynosi 0.213. Oblicz stężenia wszystkich trzech, zawierających Mo, anionów w tej mieszaninie.

$\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$ : \_\_\_\_\_

$\text{MoOS}_3^{2-}$ : \_\_\_\_\_

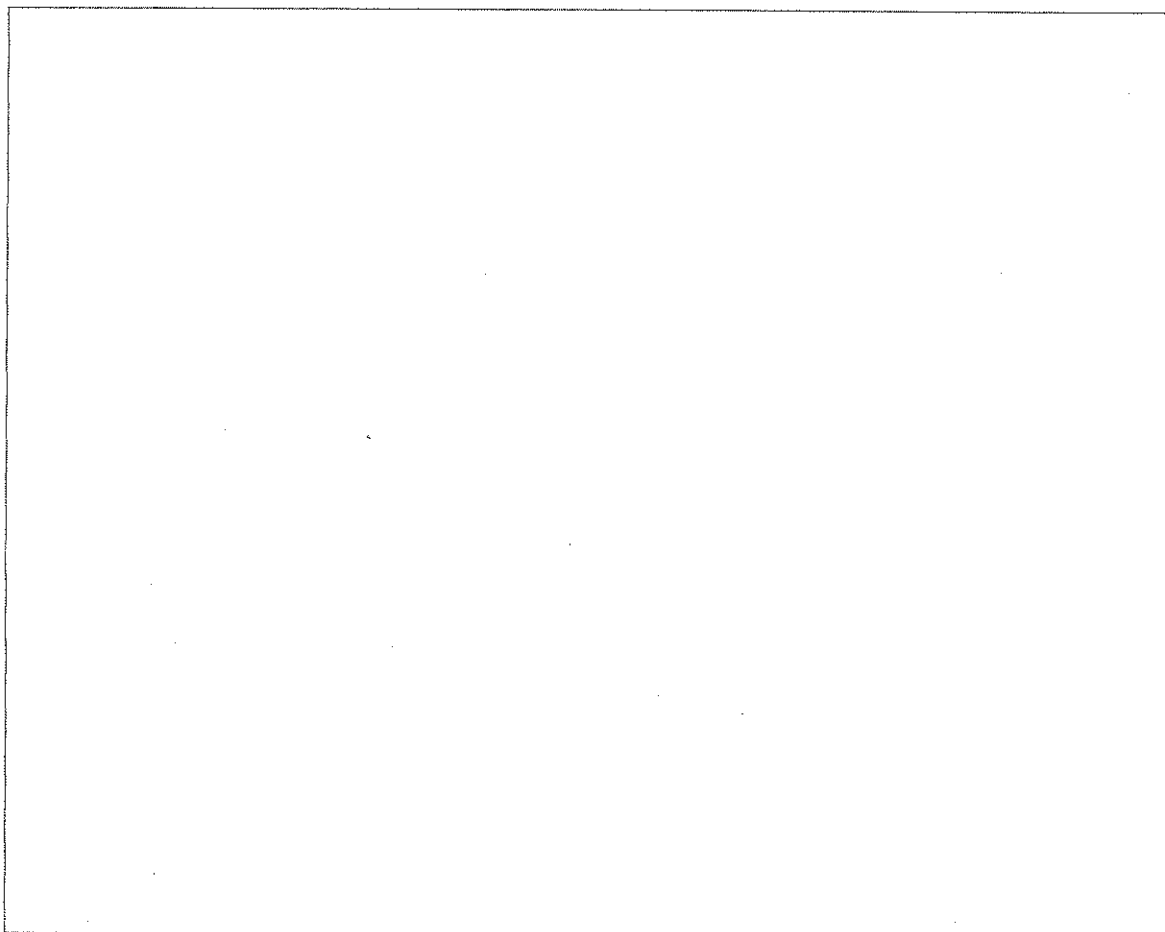
$\text{MoS}_4^{2-}$ : \_\_\_\_\_

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

c. W roztworze zawierającym początkowo  $2.0 \times 10^{-7}$  M  $\text{MoS}_4^{2-}$ , w warunkach układu zamkniętego, zachodzi hydroliza. Wytworzony  $\text{H}_2\text{S}$  ulega akumulacji aż do osiągnięcia stanu równowagi. Oblicz końcowe, równowagowe stężenia  $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$  i wszystkich anionów zawierających Mo (tzn.:  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{MoO}_3\text{S}^{2-}$ ,  $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$ ,  $\text{MoOS}_3^{2-}$  i  $\text{MoS}_4^{2-}$ ). Zaniedbaj możliwość dysocjacji  $\text{H}_2\text{S}$  do  $\text{HS}^-$ , która mogłaby nastąpić dla pewnych wartości pH. *(Jedna trzecia punktów przyznawana jest za napisanie sześciu niezależnych równań, które wyczerpująco opisują problem, a dwie trzecie punktów przyznawane są za prawidłowe wartości stężeń).*

i. Napisz sześć niezależnych równań, które opisują układ.



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

ii. Oblicz sześć stężeń, dokonując rozsądnych przybliżeń. Odpowiedzi podaj z dokładnością do dwu cyfr znaczących.

$\text{H}_2\text{S}$  \_\_\_\_\_

$\text{MoO}_4^{2-}$  \_\_\_\_\_

$\text{MoO}_3\text{S}^{2-}$  \_\_\_\_\_

$\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$  \_\_\_\_\_

$\text{MoOS}_3^{2-}$  \_\_\_\_\_

$\text{MoS}_4^{2-}$  \_\_\_\_\_

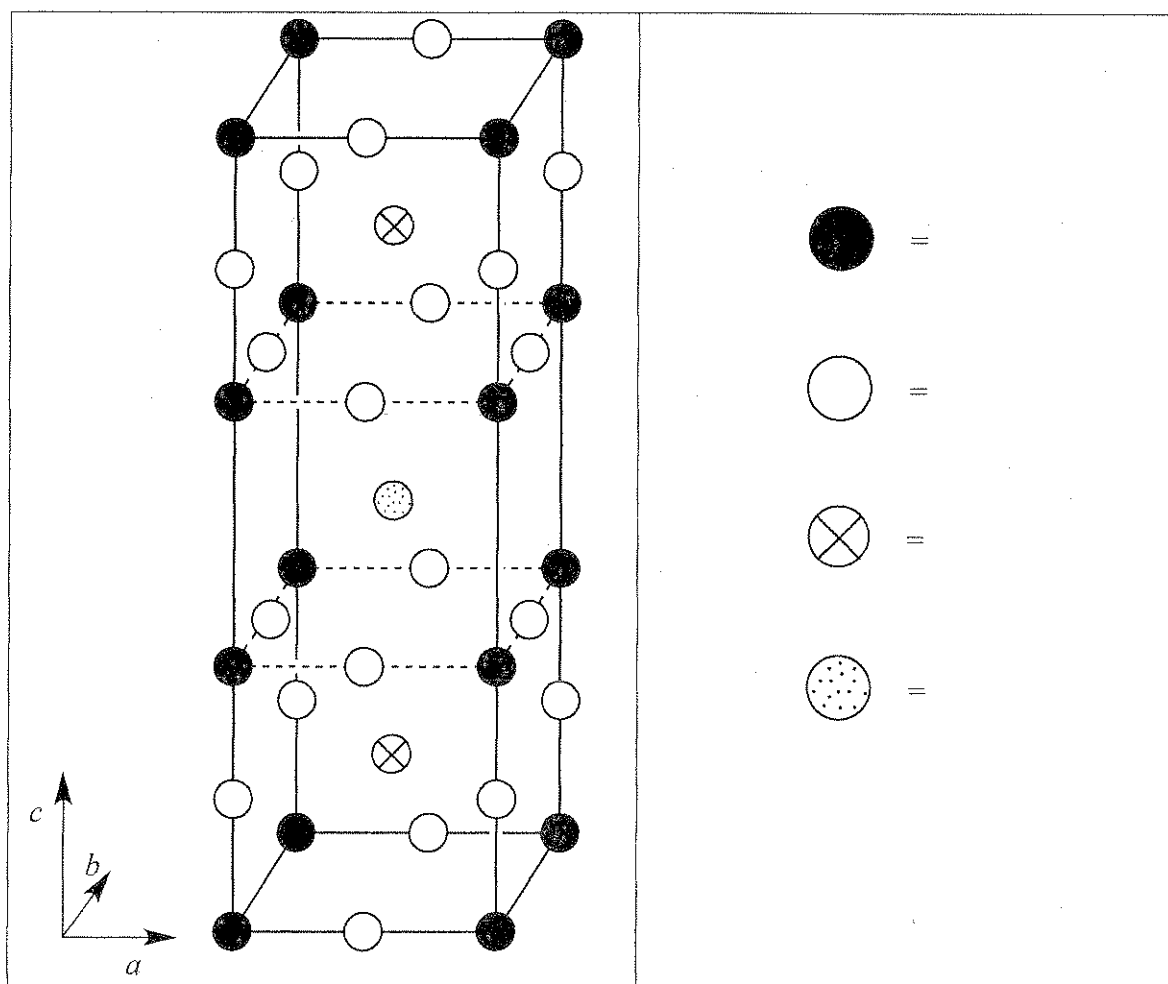
## ZADANIE 4

7.8% całości

a	b	c	d-i	d-ii	d-iii	d-iv	e-i	e-ii	Zadanie 4	
12	14	10	4	2	2	4	4	8	60	7.8%

W latach 1980-tych odkryto klasę materiałów ceramicznych, które wykazywały nadprzewodnictwo w niezwykle wysokiej temperaturze 90 K. Jeden z takich materiałów, zawierający itr, bar, miedź i tlen, nazywany jest "YBCO". Jego nominalny skład to  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , ale rzeczywisty skład jest zmienny, zgodnie ze wzorem:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $0 < \delta < 0.5$ ).

a. Poniżej pokazana jest jedna komórka elementarna wyidealizowanej krystalicznej struktury YBCO. Przypisz odpowiednie kółka odpowiednim pierwiastkom w tej strukturze.



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

Prawdziwa struktura krystalograficzna jest rombowa ( $a \neq b \neq c$ ), ale w przybliżeniu można ją uznać za tetragonalną, gdzie  $a \approx b \approx (c/3)$ .

b. Próbkę YBCO, dla której  $\delta = 0.25$ , zbadano za pomocą dyfrakcji promieniowania X, stosując źródło radiacji Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 154.2$  pm). Pik dyfrakcyjny, odpowiadający najmniejszemu kątowi zaobserwowano dla  $2\theta = 7.450^\circ$ . Przyjmując, że  $a = b = (c/3)$ , oblicz wartości  $a$  i  $c$ .

$a =$

$c =$

c. Wyznacz gęstość tej próbki YBCO (o  $\delta = 0.25$ ) w g cm $^{-3}$ . Jeśli nie otrzymałeś wartości  $a$  i  $c$  z części (b), przyjmij  $a = 500$ . pm,  $c = 1500$ . pm.

Gęstość =

Nazwisko i imię:

Kod: POL

d. Kiedy YBCO rozpuszczane jest w 1.0 M wodnym roztworze HCl, obserwowane jest wydzielanie się bąbelków gazu (zidentyfikowanego jako  $O_2$  za pomocą chromatografii gazowej). Po 10-minutowym gotowaniu, w wyniku czego usunięty zostaje gaz, roztwór poddaje się reakcji z nadmiarem roztworu KI, co powoduje powstanie żółto-brązowego zabarwienia. Roztwór ten można zmiareczkować za pomocą roztworu tiosiarczanu, określając punkt końcowy za pomocą skrobi. Jeśli YBCO dodawany jest bezpośrednio do roztworu o stężeniu 1.0 M względem zarówno KI, jak i HCl, w atmosferze Ar, roztwór zabarwia się na żółto-brązowo, ale nie obserwuje się wydzielania gazu.

- i. Napisz uzgodnione równanie całkowitej reakcji, w postaci jonowej, opisujące rozpuszczanie stałego  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  w wodnym roztworze HCl, z wydzielaniem  $O_2$ .

ii.

Napisz uzgodnione równanie całkowitej reakcji, w postaci jonowej, zachodzącej, gdy roztwór z punktu (i) reaguje z nadmiarem KI, w kwaśnym środowisku, po usunięciu rozpuszczonego tlenu.

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

iii. Napisz uzgodnione równanie reakcji, w postaci jonowej, zachodzącej w trakcie miareczkowania roztworu z punktu (ii) tiosiarczanem ( $S_2O_3^{2-}$ ).

iv. Napisz uzgodnione równanie całkowitej reakcji, w postaci jonowej, zachodzącej, gdy stały  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  rozpuszcza się w wodnym roztworze HCl, zawierającym nadmiar KI, w atmosferze Ar.



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

e. Przygotowano dwie identyczne próbki YBCO o nieznannej wartości  $\delta$ . Pierwszą próbkę rozpuszczono w 5 mL 1.0 M wodnego roztworu HCl, czemu towarzyszyło wydzielanie  $O_2$ . Po zakończeniu gotowania, służącego usunięciu gazów, ochłodzeniu i dodaniu 10 mL 0.7 M roztworu KI w atmosferze argonu, miareczkowanie tiosiarczanem do punktu końcowego wykrytego za pomocą skrobi wymagało zużycia  $1.542 \times 10^{-4}$  mol tiosiarczanu. Drugą próbkę YBCO dodano bezpośrednio do 7 mL roztworu o stężeniu 1.0 M KI i 0.7 M HCl, w atmosferze Ar; miareczkowanie tego roztworu wymagało zużycia  $1.696 \times 10^{-4}$  mol tiosiarczanu do osiągnięcia punktu końcowego.

i. Oblicz liczbę moli Cu w każdej z tych próbek YBCO.

ii. Oblicz wartość  $\delta$  dla tych próbek YBCO.

$\delta =$

## ZADANIE 5

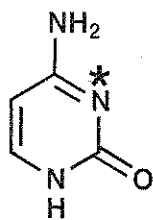
7.0 % całości

a-i	a-ii	b	C	d	e	F	Zadanie 5	7.0%
2	4	4	2	12	6	4	34	

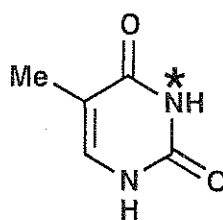
Kwas deoksyrybonukleinowy (DNA) jest jedną z podstawowych, niezbędnych do życia cząsteczek. To zadanie będzie dotyczyło możliwości modyfikacji molekularnej struktury DNA, zarówno w przyrodzie, jak i w wyniku celowej działalności człowieka.

a. Rozważ dwie zasady pirymidynowe: cytozynę (C) i tyminę (T). Atom N-3 (oznaczony gwiazdką\*) w jednej z tych zasad jest typowym miejscem nukleofilowym w procesie alkilowania pojedynczej nici DNA. W drugiej z tych zasad atom N-3 nie wykazuje takich nukleofilowych właściwości.

i. Wybierz (zakreślając kółkiem) zasadę C lub T zawierającą bardziej nukleofilowy atom N-3.



C



T

(i)

C

T

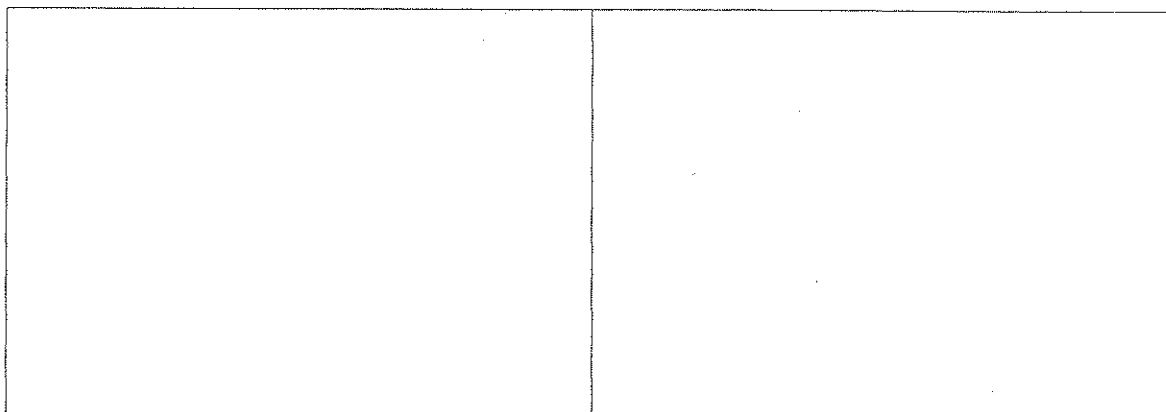
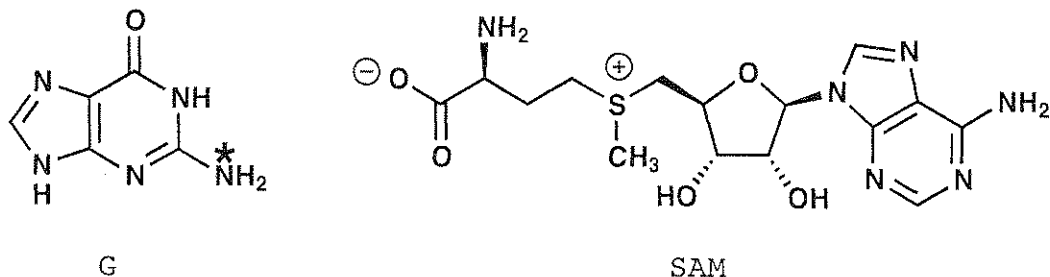
ii. Aby uzasadnić swój wybór narysuj dwie komplementarne struktury rezonansowe cząsteczki, którą wybrałeś. W strukturach rezonansowych, które narysujesz, zaznacz wszystkie niezerowe ładunki formalne na atomach.

(ii)

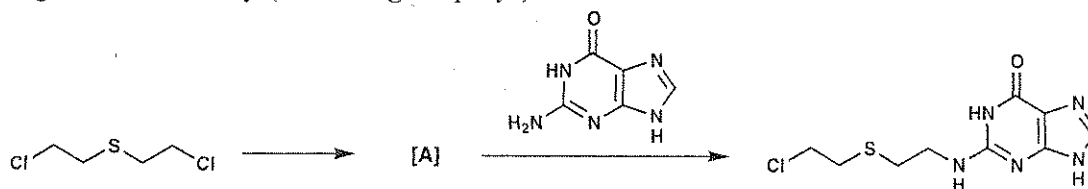
Nazwisko i imię:

Kod: POL-

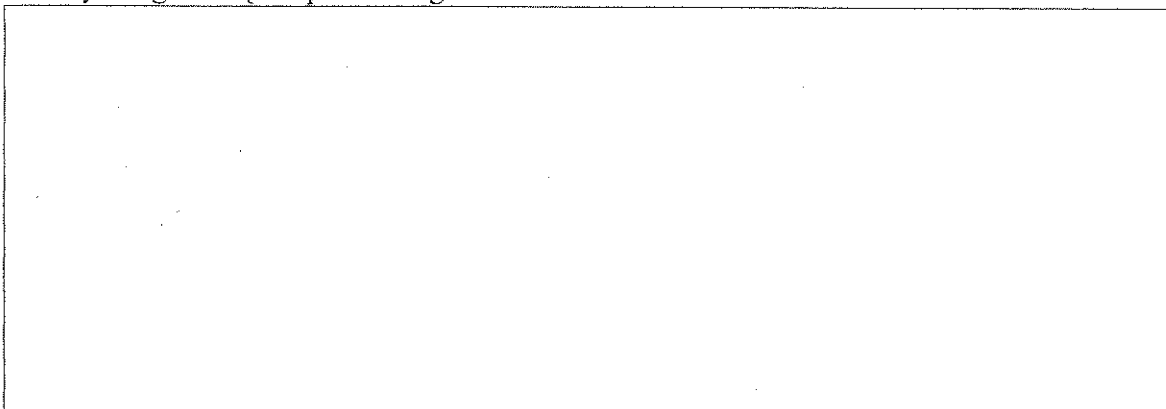
b. Jedną z typowych modyfikacji DNA w przyrodzie jest metylowanie guaniny (G), w pozycji wskazanej gwiazdką (\*) przez S-adenozylometioninę (SAM). **Narysuj** wzory strukturalne obu produktów reakcji pomiędzy guaniną i SAM.



c. Jednym z najwcześniej wynalezionych przez człowieka związków alkilujących DNA jest gaz musztardowy (*mustard gas, iperyt*).



Gaz musztardowy ulega początkowo wewnątrzcząsteczkowej reakcji, z wytworzeniem związku przejściowego A. Związek A bezpośrednio alkiluje DNA tworząc produkt - kwas nukleinowy w sposób pokazany w powyższej reakcji. **Narysuj** wzór strukturalny reaktywnego związku pośredniego A.

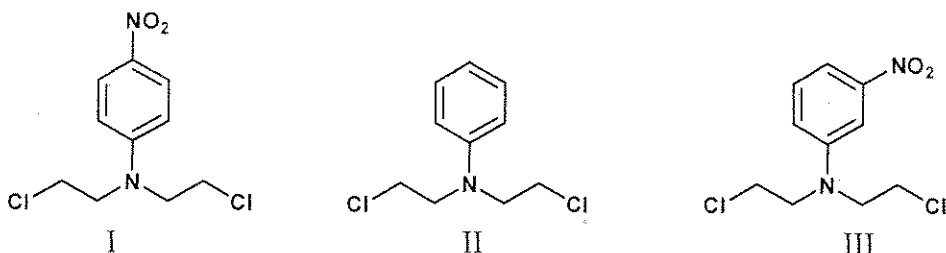


Nazwisko i imię:

Kod: POL-

d. Iperyty azotowe (*nitrogen mustards*) reagują analogicznie do iperytu siarkowego (*mustard gas*) z części c. Reaktywność takich związków może być modyfikowana poprzez dobór trzeciego podstawnika znajdującego się przy atomie azotu. Reaktywność iperytów azotowych (*nitrogen mustards*) rośnie wraz ze zwiększeniem nukleofilowości centralnego atomu azotu. W każdej z poniżej pokazanych grup iperytów azotowych **wskaż** najbardziej i najmniej reaktywny związek.

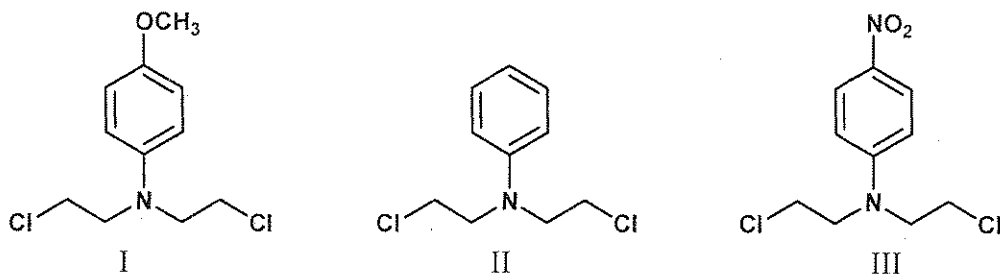
i.



NAJBARDZIEJ REAKTYWNY:

NAJMNIEJ REAKTYWNY:

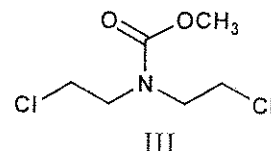
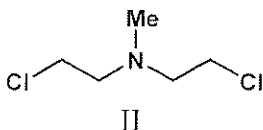
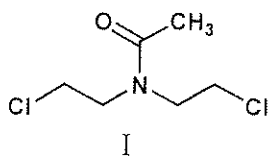
ii.



NAJBARDZIEJ REAKTYWNY:

NAJMNIEJ REAKTYWNY:

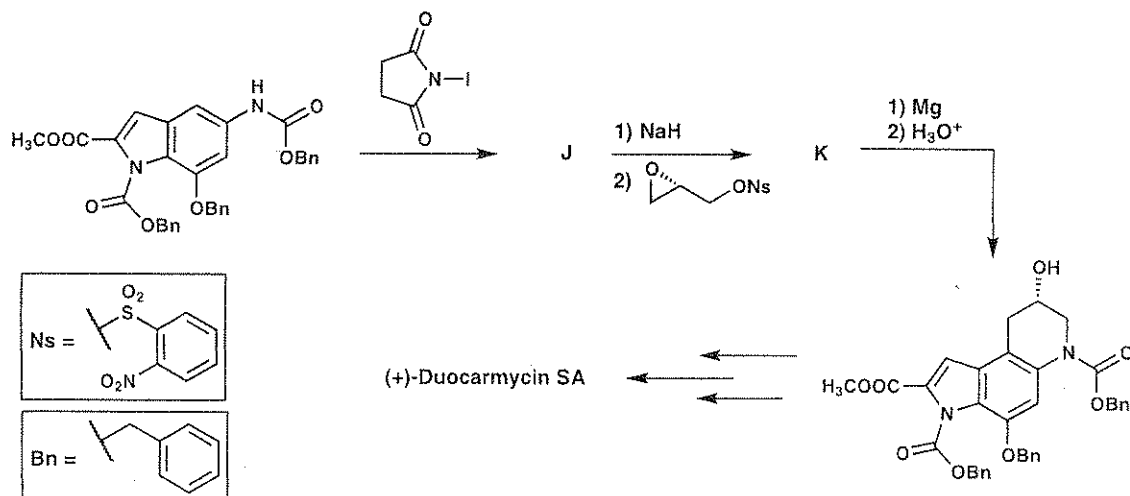
iii.



NAJBARDZIEJ REAKTYWNY:

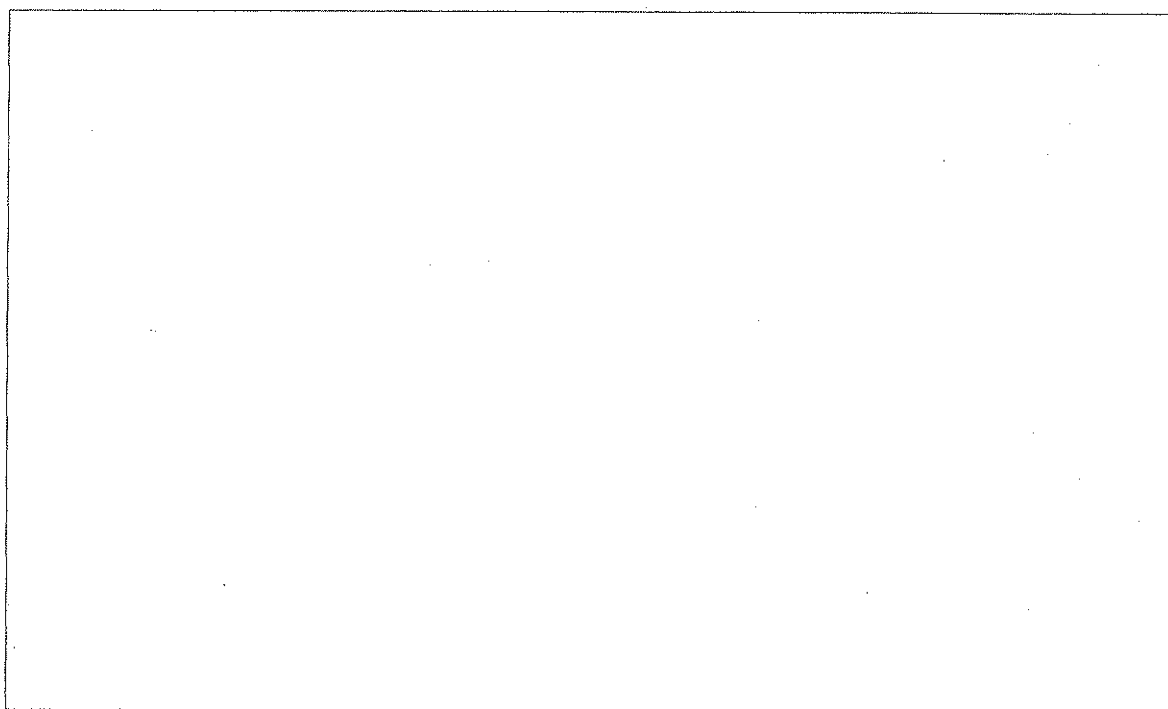
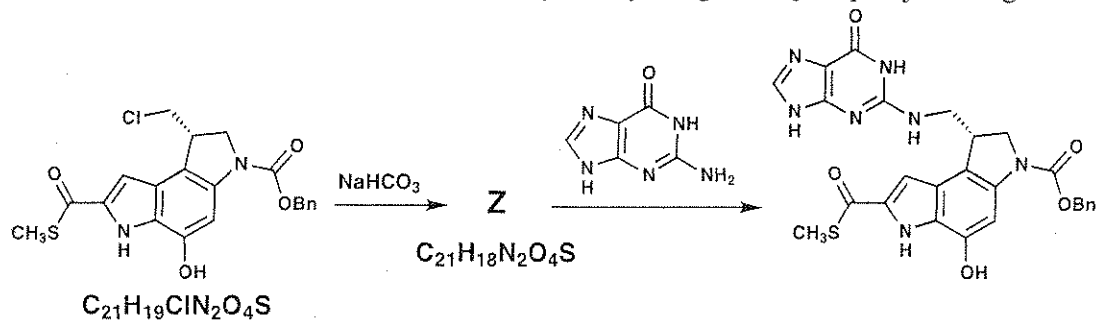
NAJMNIEJ REAKTYWNY:

e. Niektóre klasy związków naturalnych działają jako związki alkilujące DNA i na tej drodze mogą wykazywać własności antynowotworowe, a zatem mogą potencjalnie znaleźć zastosowanie w terapii antyrakowej. Jedną z takich klas związków są duokarmycyny (*duocarmycins*). Poniżej pokazane są poszczególne etapy asymetrycznej syntezy totalnej naturalnego związku. **Narysuj** wzory strukturalne izolowalnych związków **J** i **K**.



J	K
---	---

f. W celu zbadania mechanizmu działania duokarmycyn otrzymano podobne, niskocząsteczkowe związki. Jednym z przykładów takich związków jest pokazany poniżej tioester. **Narysuj** wzór strukturalny reaktywnego związku przejściowego **Z**.

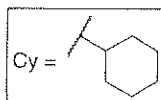
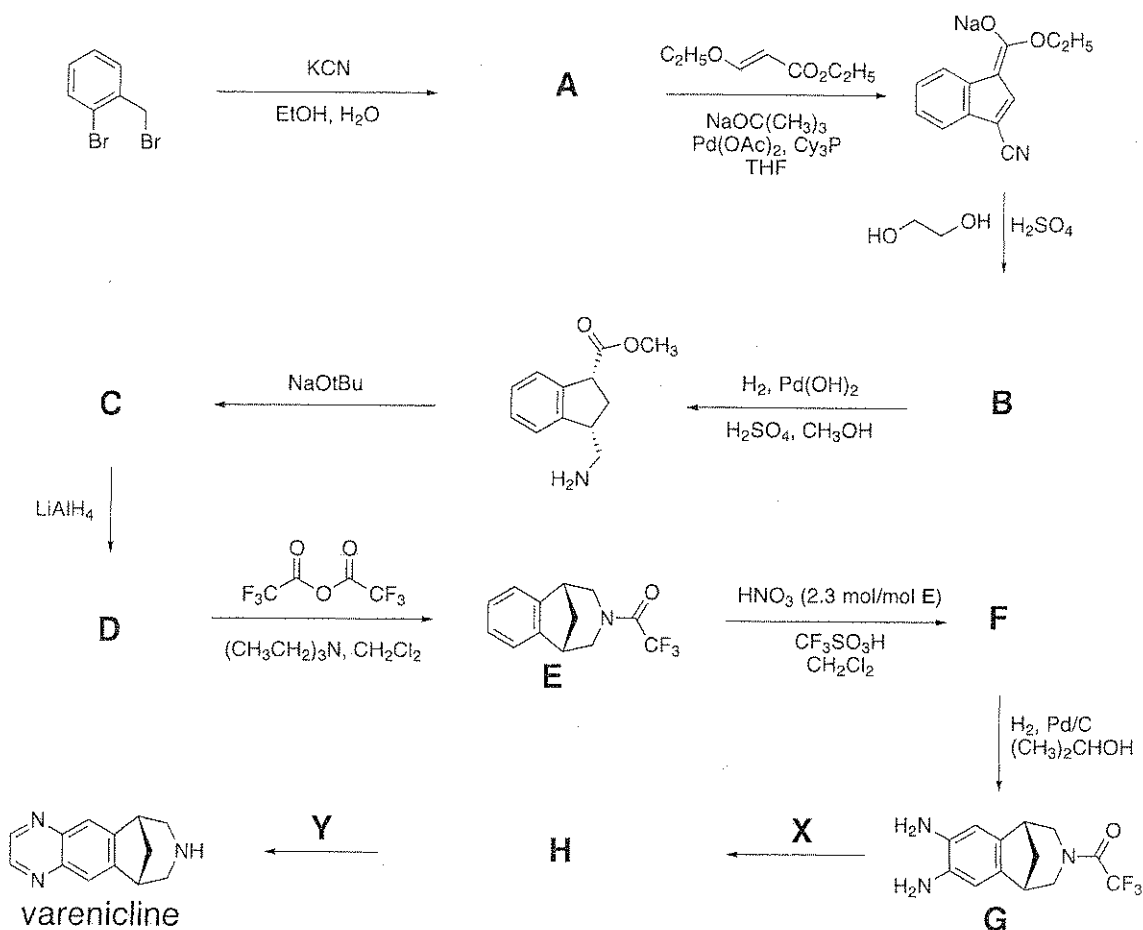


## ZADANIE 6

6.6 % całości

a	b	C	D	Zadanie 6	
2	4	6	8	20	6.6%

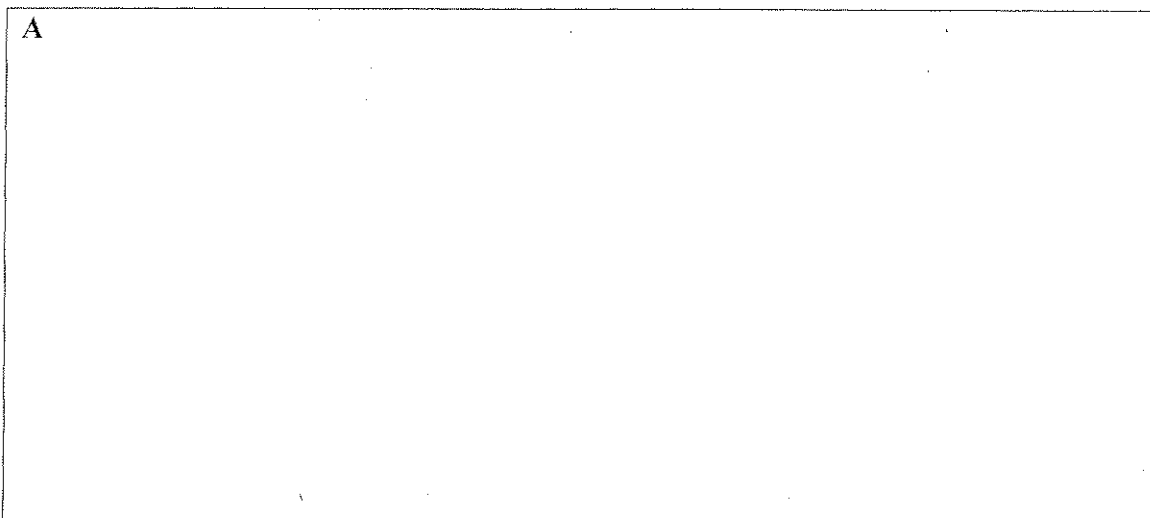
Wareniklina (*Varenicline*) została opracowana jako doustny lek do stosowania u ludzi uzależnionych od palenia papierosów. Związek ten można otrzymać zgodnie ze schematem pokazanym poniżej. Wszystkie związki oznaczone literami (A – H) są elektrycznie obojętne i można je wyizolować.



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

a. Zaproponuj strukturę związku A.

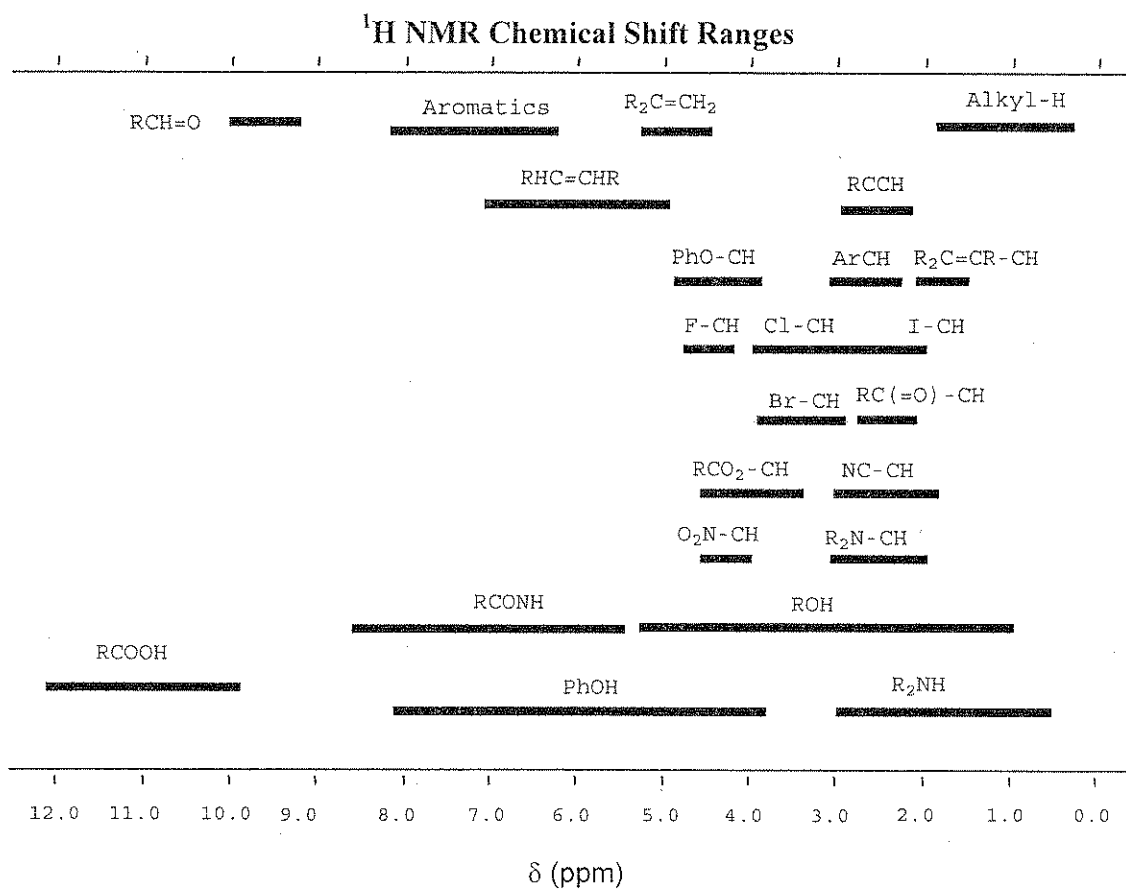
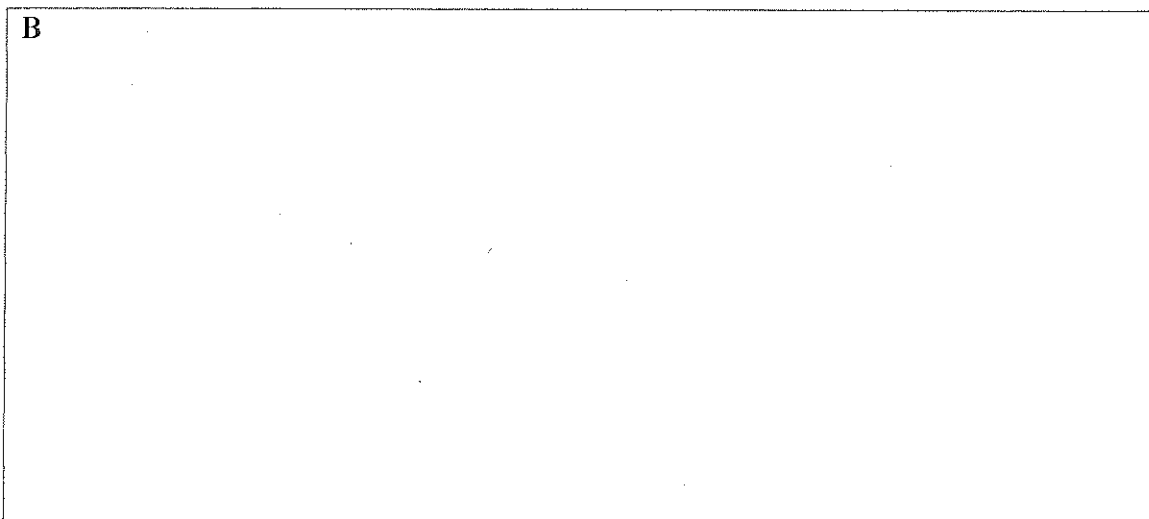




Nazwisko i imię:

Kod: POL-

b. Zaproponuj strukturę związku **B** zgodną z poniższymi danymi  $^1\text{H-NMR}$ :  
 $\delta$  7.75 (singlet, 1H), 7.74 (doublet, 1H,  $J = 7.9$  Hz), 7.50 (doublet, 1H,  $J = 7.1$  Hz), 7.22 (multiplet, 2 nierównocenne H), 4.97 (tryplet, 2H,  $J = 7.8$  Hz), 4.85 (tryplet, 2H,  $J = 7.8$  Hz)



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

c. Zaproponuj strukturę związków **C**, **D** i **F**.

<b>C</b>	<b>D</b>
<b>F</b>	

d. Zaproponuj odczynniki **X** i **Y** do przeprowadzenia związku **G** w wareniklinę (*varenicline*) i napisz wzór strukturalny izolowalnego związku pośredniego **H** występującego na schemacie reakcji.

<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>H</b>	

## ZADANIE 7

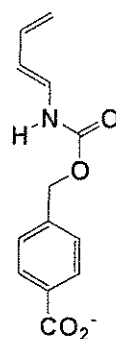
7.5 % całości

a	b	c	D	e	F	Zadanie 7	
9	15	8	6	8	6	52	7.5%

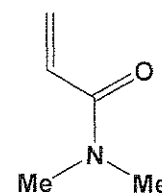
Zaprojektowano sztuczny enzym, aby związać dwie cząsteczki substratów pokazanych poniżej (dien i dienofil) i wywołać katalizę reakcji Dielsa-Aldera między nimi.

a. Możliwych jest 8 potencjalnych produktów reakcji Dielsa-Aldera zachodzącej pomiędzy tymi dwiema cząsteczkami w nieobecności jakiegokolwiek enzymu.

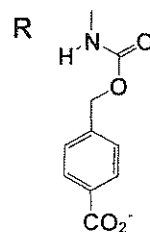
i. Narysuj (w polach poniżej) struktury dwóch **dowolnych** potencjalnych produktów, które są względem siebie **regioizomerami**. Aby pokazać stereochemię w każdym z twoich produktów podstawniki skierowane powyżej płaszczyzny kartki zaznacz linią pogrubioną (—), podstawniki skierowane w dół oznacz linią przerywaną (-----). Dla podstawników znajdujących się w cząsteczce, ale nie biorących udziału w reakcji zastosuj pokazane poniżej oznaczenia **R** i **R'**.



diene

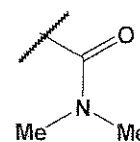


dienophile



R

R'



--	--

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

ii. Narysuj (w polach poniżej) struktury dwóch **dowolnych** potencjalnych produktów, które są względem siebie **enancjomerami**. Aby pokazać stereochemię w każdym z twoich produktów podstawniki skierowane powyżej płaszczyzny kartki zaznacz linią pogrubioną (  $\text{—}$  ), podstawniki skierowane w dół oznacz linią przerywaną (  $\text{-----}$  ). Dla podstawników znajdujących się w cząsteczce, ale nie biorących udziału w reakcji zastosuj pokazane poniżej oznaczenia **R** i **R'**, tak jak w części (i).

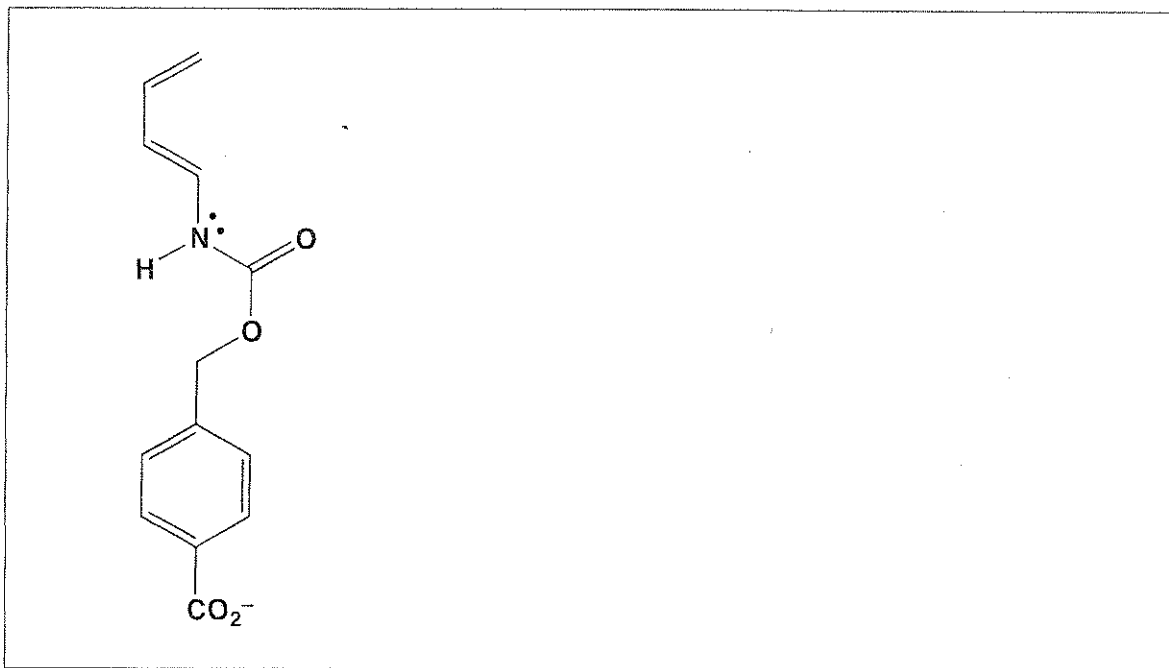
--	--

iii. Narysuj (w polach poniżej) struktury dwóch **dowolnych** potencjalnych produktów, które są względem siebie **diastereomerami**. Aby pokazać stereochemię w każdym z twoich produktów podstawniki skierowane powyżej płaszczyzny kartki zaznacz linią pogrubioną (  $\text{—}$  ), podstawniki skierowane w dół oznacz linią przerywaną (  $\text{-----}$  ). Dla podstawników znajdujących się w cząsteczce, ale nie biorących udziału w reakcji zastosuj pokazane poniżej oznaczenia **R** i **R'**, tak jak w części (i)

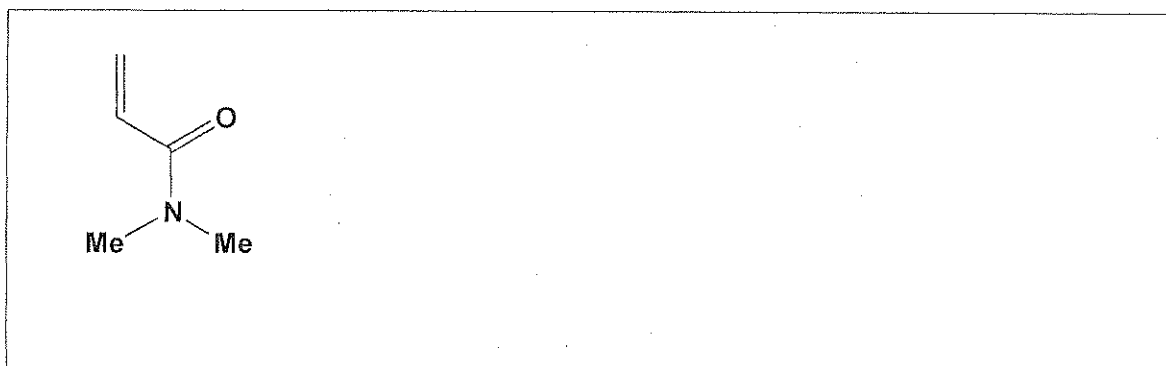
--	--

b. Szybkość i regioselektywność reakcji Dielsa-Aldera zależy od stopnia elektronowej komplementarności pomiędzy dwoma substratami. Poniżej pokazane są struktury dienu i dienofila z części a.

i. Obrysuj kółkiem atom węgla w dienie, który ma zwiększoną gęstość elektronową i dlatego może być donorem elektronów w tej reakcji. Aby uzasadnić swoją odpowiedź narysuj (w poniższym polu) jedną strukturę rezonansową cząsteczki dienu. W obrębie narysowanej struktury rezonansowej zaznacz wszystkie niezerowe ładunki formalne na poszczególnych atomach.



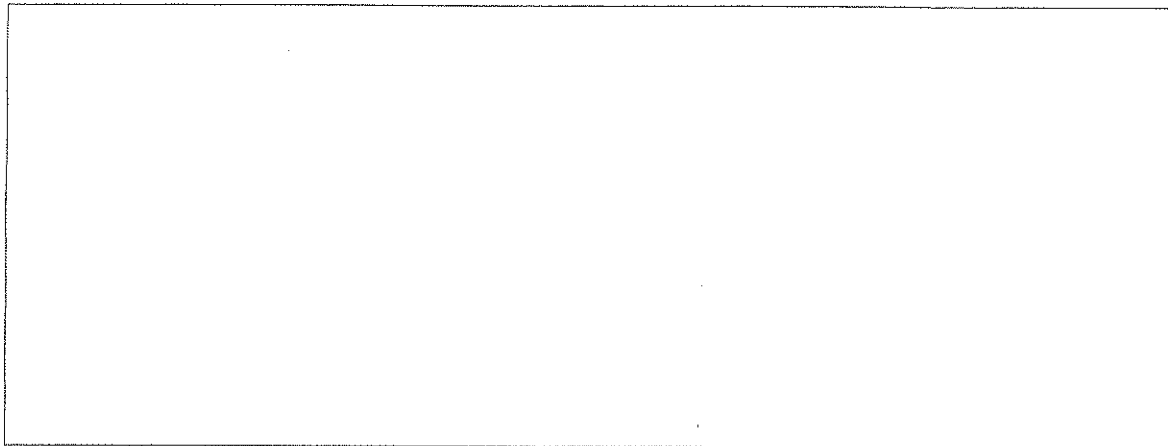
ii. Obrysuj kółkiem atom węgla w cząsteczce dienofila, który ma zmniejszoną gęstość elektronową i dlatego może być akceptorem elektronów w tej reakcji. Aby uzasadnić swoją odpowiedź narysuj (w poniższym polu) jedną strukturę rezonansową dienofila. W obrębie narysowanej struktury rezonansowej zaznacz wszystkie niezerowe ładunki formalne na poszczególnych atomach.



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

**iii.** Na podstawie swoich ustaleń w częściach **(i)** i **(ii)** zaproponuj regiochemię niekatalizowanej reakcji Dielsa-Aldera między dienem i dienofilem przez narysowanie głównego produktu. Na swoim rysunku nie musisz pokazywać stereochemii produktu.

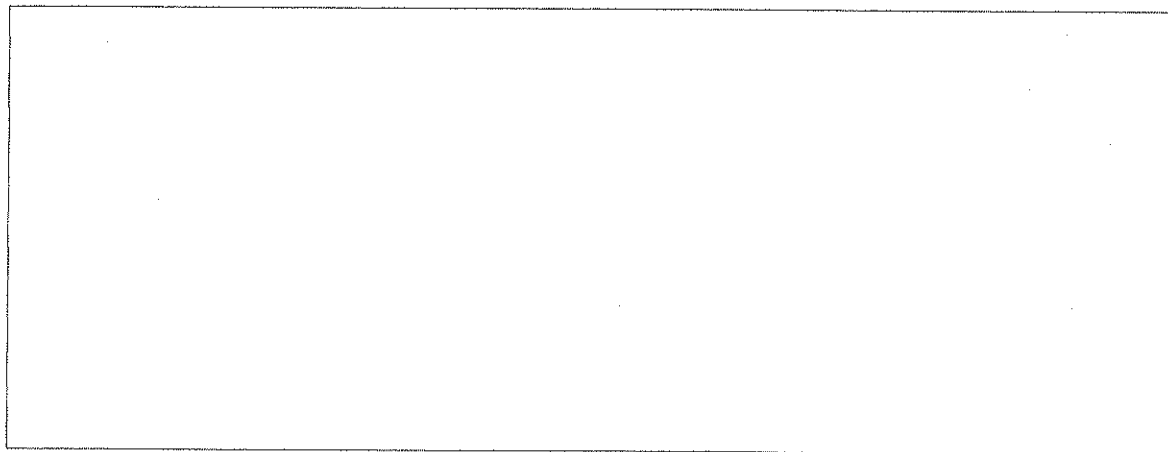
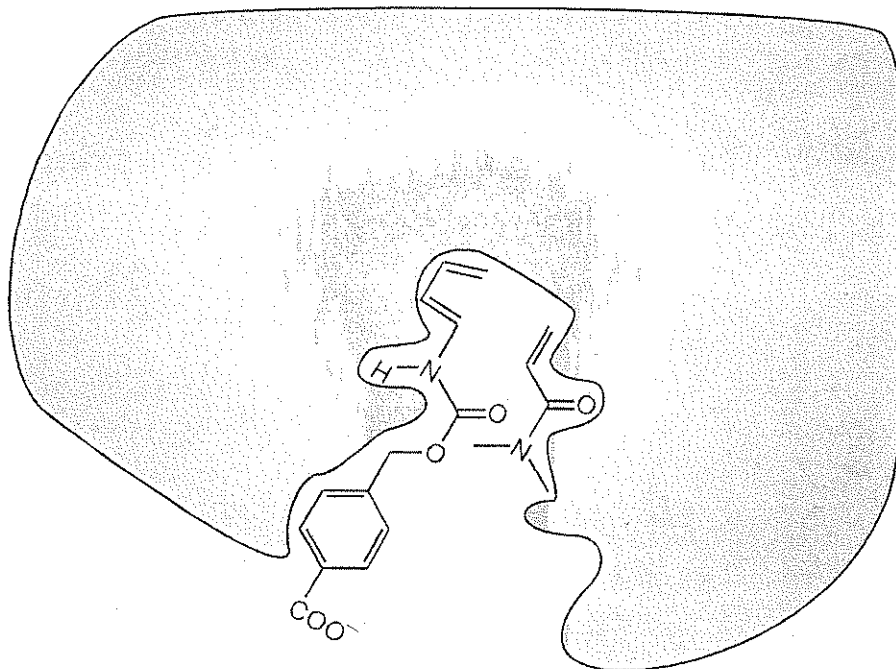


Nazwisko i imię:

Kod: POL-

c. Poniższy rysunek przedstawia substraty reakcji Dielsa-Aldera w postaci związanej w z aktywnym miejscem sztucznego enzymu przed osiągnięciem stanu przejściowego dla tworzenia produktu. Szary obszar oznacza przekrój enzymu. Kiedy te dwie cząsteczki są związane z pokazanym miejscem aktywnym, dienofil znajduje się **poniżej** płaszczyzny przekroju, a dien - **powyżej** tej płaszczyzny.

Narysuj (w polu poniżej) strukturę produktu katalizowanej enzymatycznie reakcji. Zaznacz stereochemię produktu używając oznaczeń **R** i **R'**, tak jak to zrobiłeś w pytaniu a.



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

d. Rozważ następujące stwierdzenia dotyczące enzymów (sztucznych lub naturalnych). Dla każdego zdania wskaż, otaczając odpowiednie słowo kółkiem, czy jest ono prawdziwe (True) czy fałszywe (False).

i. Enzymy wiążą się silniej ze stanem przejściowym, niż z substratami lub produktami reakcji.

**True**      **False**

ii. Enzymy zmieniają stałą równowagi reakcji, aby zwiększyć ilość wytwarzanego produktu.

**True**      **False**

iii. Kataliza enzymatyczna zawsze zwiększa entropię aktywacji reakcji w porównaniu do reakcji niekatalizowanej.

**True**      **False**



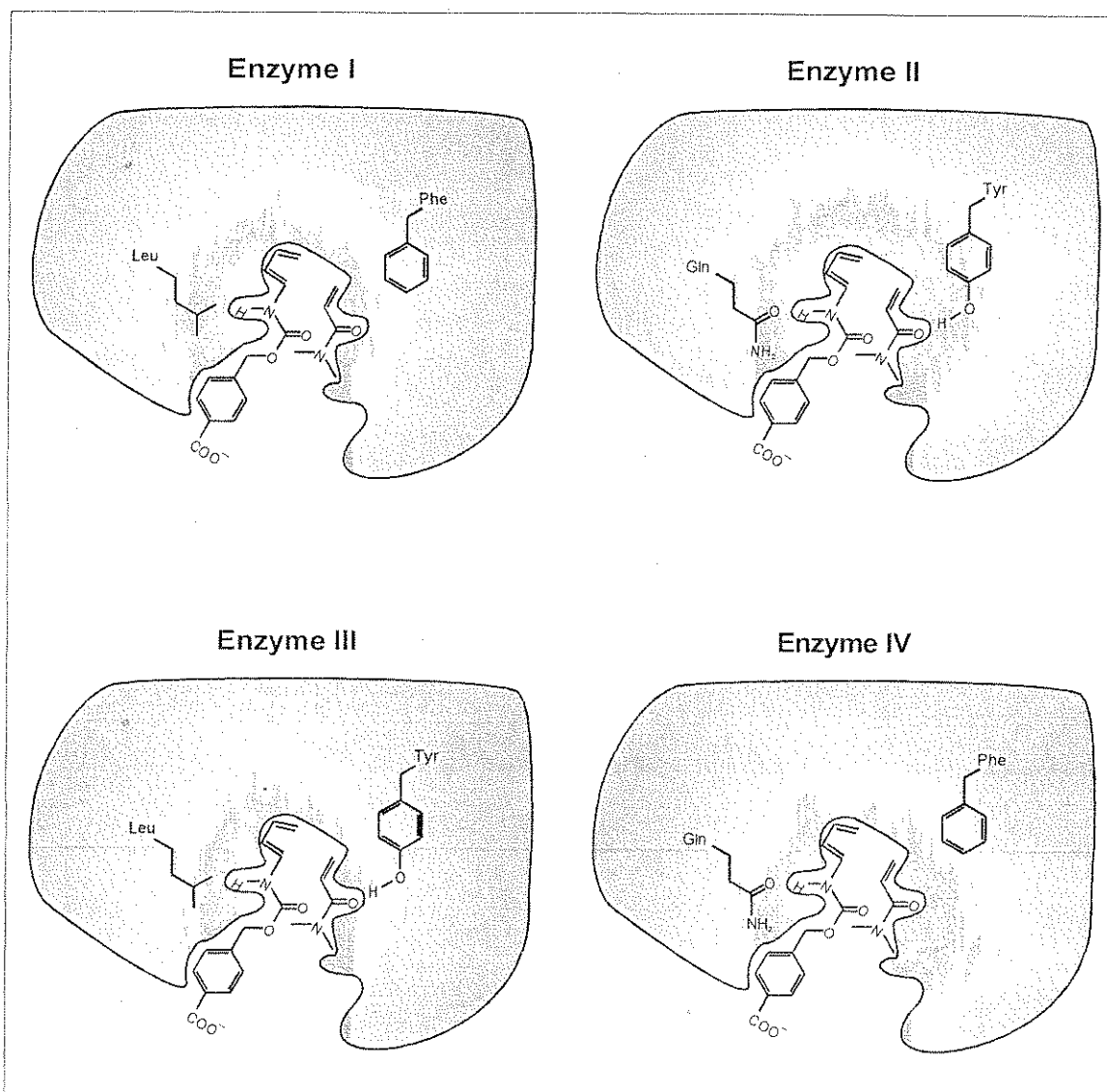
Nazwisko i imię:

Kod: POL-

e. Przygotowano zmodyfikowane wersje sztucznych enzymów o różnych aktywnościach katalitycznych (enzymy I, II, III i IV, pokazane na rysunku poniżej). Pokazano na nich dwie reszty aminokwasowe, które są różne w poszczególnych enzymach. Załóż, że pokazane grupy funkcyjne enzymu znajdują się w bliskiej odległości do odpowiednich fragmentów cząsteczek reagentów, kiedy tworzą one stan przejściowy w miejscu aktywnym enzymu.

Który z poniższych czterech enzymów spowoduje największe przyspieszenie reakcji Dielsa-Aldera, w porównaniu do reakcji niekatalizowanej?

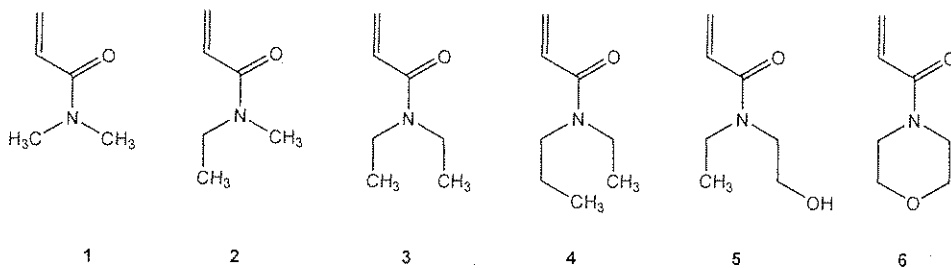
Enzyme #



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

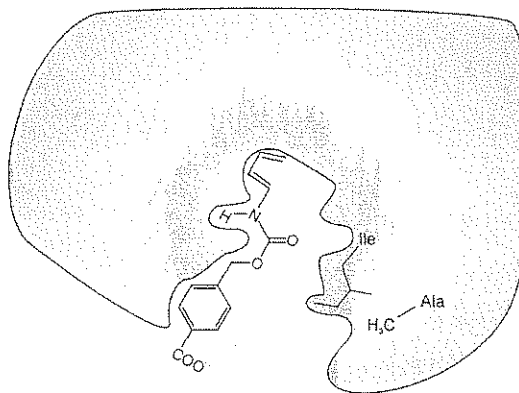
f. Specyficzność sztucznych enzymów **V** i **VI** (patrz poniżej) względem substratów przetestowano przy użyciu dienofili **1** – **6**, pokazanych poniżej.



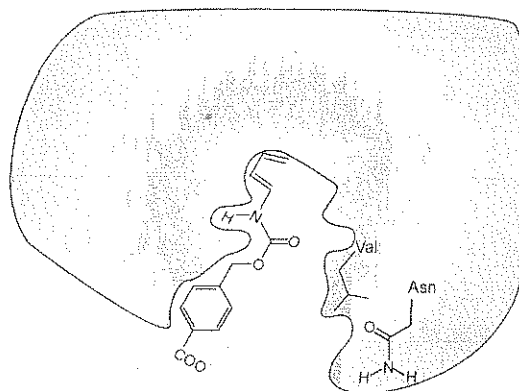
Dienofil **#1** reagował najszybciej w reakcji katalizowanej przez sztuczny **enzym V** (patrz poniżej). Jednakże, sztuczny **enzym VI** najbardziej katalizował reakcję z innym dienofilem. Który z sześciu dienofili pokazanych powyżej będzie reagował najszybciej w reakcji Dielsa-Aldera katalizowanej przez **enzym VI**?

Dienofil #

Enzym V



Enzym VI

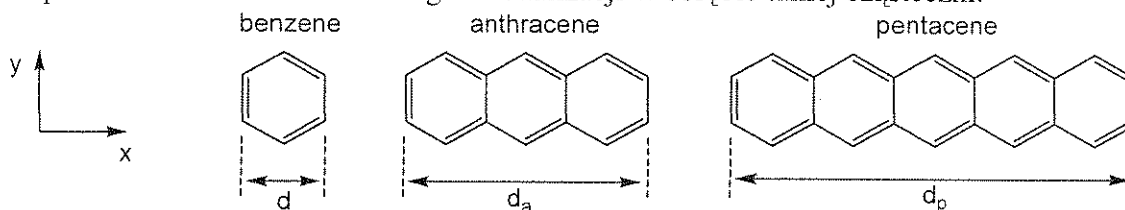


## ZADANIE 8

8.3% całości

A	b-i	b-ii	b-iii	b-iv	b-v	c-i	c-ii	c-iii	Zadanie 8	
2	3	4	6	4	2	5	8	2	36	8.3%

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAHs) stanowią składnik zanieczyszczeń atmosfery, komponent organicznych diod elektroluminescencyjnych, a także wchodzi w skład środowiska międzygwiazdowego. Zadanie to dotyczy tzw. liniowych PAHs, tzn. takich, których szerokość odpowiada rozmiarowi jednego pierścienia benzenowego, podczas gdy długość może przyjmować różne wartości. Szczególnymi przykładami są: benzen, antracen i pentacen, których struktury pokazane są niżej. Fizyczne i chemiczne właściwości tych związków zależą od tego, w jakim stopniu chmura elektronów  $\pi$  ulega delokalizacji w obrębie takiej cząsteczki.



- a. Długość zmierzona w poprzek pierścienia benzenu wynosi  $d = 240$  pm. Wykorzystaj tę informację do wyznaczenia odległości wzdłuż poziomych ( $x$ ) osi dla antracenu i pentacenu, odpowiednio:  $d_a$  and  $d_p$ .

Dla antracenu,  $d_a =$

Dla pentacenu,  $d_p =$

- b. Dla uproszczenia przyjmij, że elektrony  $\pi$  w benzenie mogą być w kategoriach modelowych uznane za ograniczone do przestrzeni kwadratowej. W ramach takiego modelu, sprzężone elektrony  $\pi$  PAHs można uważać za swobodne cząstki umieszczone w dwuwymiarowym prostokątnym pudle, w płaszczyźnie  $x$ - $y$ .

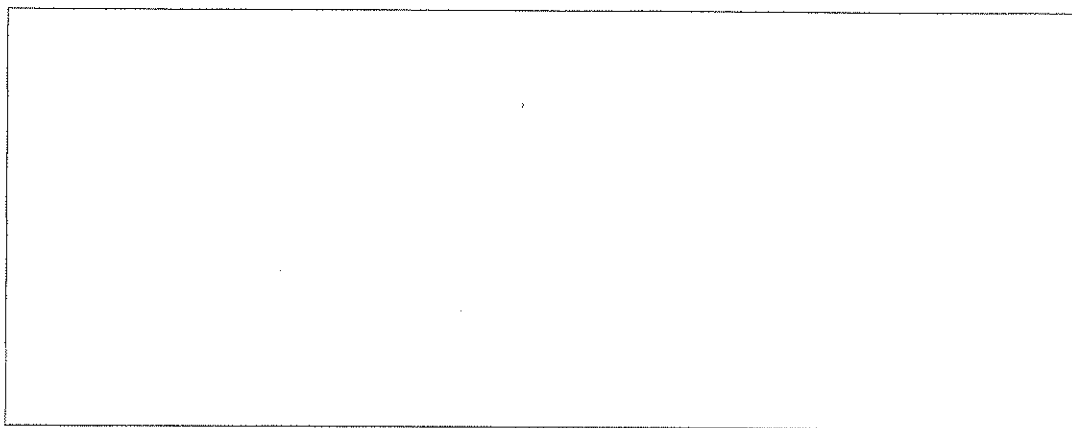
Dla elektronów w dwuwymiarowym pudle potencjału, zbudowanym wzdłuż osi  $x$  i  $y$ , skwantowane stany energetyczne elektronów dane są wzorem:

$$E = \left( \frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} \right) \frac{h^2}{8m_e}$$

W tym równaniu,  $n_x$  i  $n_y$  są liczbami kwantowymi dla stanu energetycznego - liczbami całkowitymi z przedziału od 1 do  $\infty$ ,  $h$  jest stałą Plancka,  $m_e$  is the masą elektronu, a  $L_x$  i  $L_y$  oznaczają rozmiary pudła.

Rozwiązując to zadanie, traktuj elektrony  $\pi$  węglowodorów PAHs jako cząstki w dwuwymiarowym pudle. W tym przypadku, liczby kwantowe  $n_x$  i  $n_y$  są **niezależne**.

- i. Dla celów tego zadania, załóż, że jednostka benzenowa ma wymiary  $x$  i  $y$ , z których każdy ma długość  $d$ . Wyprowadź ogólny wzór opisujący skwantowane energie liniowych PAHs w funkcji liczb kwantowych  $n_x$  and  $n_y$ , długości  $d$ , liczby połączonych pierścieni  $w$  oraz fundamentalnych stałych  $h$  i  $m_e$ .



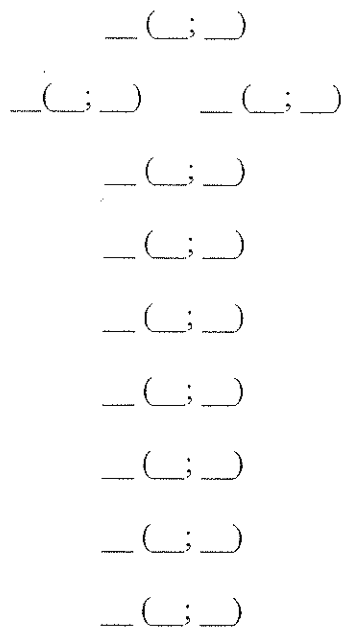
- ii. Podany niżej diagram poziomów energetycznych dla pentacenu pokazuje jakościowo energie i liczby kwantowe  $n_x$ ,  $n_y$ , dla wszystkich poziomów obsadzonych przez elektrony  $\pi$  oraz najniższy nieobsadzony poziom energetyczny, gdzie elektrony o przeciwnie skierowanych spinach przedstawione są jako strzałki skierowane w górę lub w dół. Poziomy opisane są liczbami kwantowymi ( $n_x$ ;  $n_y$ ).

Pentacenen:

\_\_\_ (3; 2)  
 ↑↓ (9; 1)  
 ↑↓ (2; 2)  
 ↑↓ (1; 2)  
 ↑↓ (8; 1)  
 ↑↓ (7; 1)  
 ↑↓ (6; 1)  
 ↑↓ (5; 1)  
 ↑↓ (4; 1)  
 ↑↓ (3; 1)  
 ↑↓ (2; 1)  
 ↑↓ (1; 1)

Poniżej pokazany jest diagram poziomów energetycznych dla antracenu. Zauważ, że niektóre poziomy energetyczne mogą mieć taką samą energię. Uzupełnij ten diagram poziomów energetycznych odpowiednią liczbą skierowanych ku górze i do dołu strzałek, oddając w ten sposób sytuację elektronów  $\pi$  w antracenie. Ponadto, puste przestrzenie w nawiasach tego diagramu oznaczają miejsca na liczby kwantowe  $n_x, n_y$ , które także musisz wyznaczyć. Wypełnij te przestrzenie odpowiednimi wartościami  $n_x, n_y$ , dla każdego obsadzonego i najniższego nieobsadzonego poziomu(-ów) energetycznego(-ych).

Antracen:



iii. Wykorzystaj ten model do utworzenia diagramu poziomów energetycznych dla benzenu i obsadź odpowiednie poziomy energetyczne elektronami. Uwzględnij poziomy energetyczne aż do i z udziałem najniższego nieobsadzonego poziomu. Opisz każdy poziom energetyczny w swoim diagramie odpowiednimi wartościami  $n_x, n_y$ . Nie zakładaj, że model cząstki w kwadratowym pudle, zastosowany w tym zadaniu, wytworzy takie same poziomy energetyczne, jak inne modele.

Nazwisko i imię:

Kod: POL-

iv. Często reaktywność PAHs wykazuje odwrotną korelację z odstępem energetycznym  $\Delta E$  między najwyższym poziomem obsadzonym przez elektrony  $\pi$  i najniższym nieobsadzonym poziomem energetycznym. Oblicz wielkość odstepu energetycznego  $\Delta E$  (w dżulach) między najwyższym obsadzonym i najniższym nieobsadzonym poziomem energetycznym dla benzenu, antracenu i pentacenu. Wykorzystaj swoje wyniki z części ii) i iii), odpowiednio, dla antracenu lub benzenu, lub wykorzystaj (2, 2) dla najwyższego obsadzonego poziomu energetycznego i (3, 2) dla najniższego nieobsadzonego poziomu energetycznego, dla tych dwóch cząsteczek (nie muszą to być prawdziwe wartości).

$\Delta E$  dla benzenu:

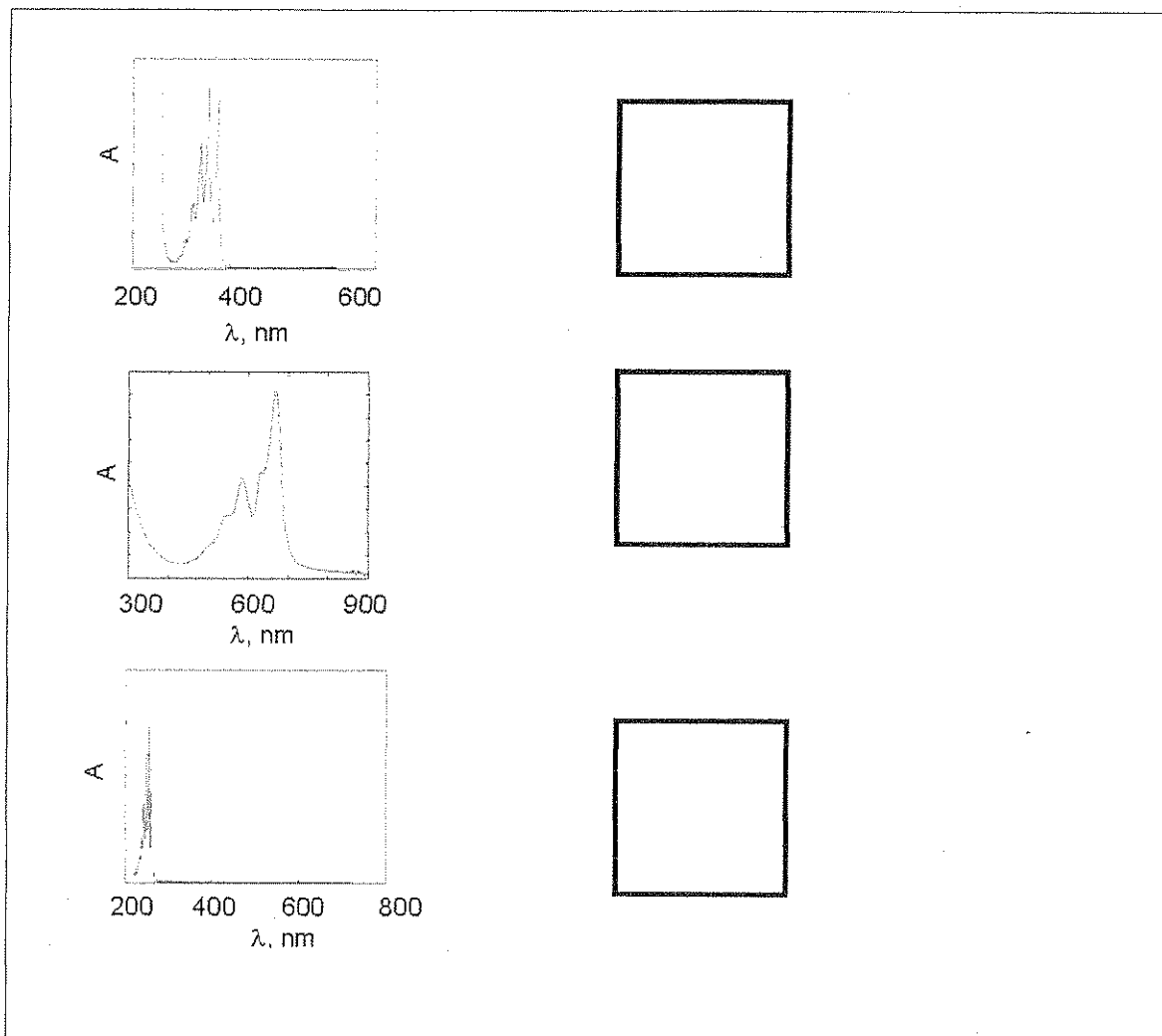
$\Delta E$  dla antracenu:

$\Delta E$  dla pentacenu:

Uzereguj benzen (**B**), antracen (**A**) i pentacen (**P**) w kierunku rosnącej reaktywności przez umieszczenie w polu poniżej powyższych liter w odpowiedniej kolejności, od lewej do prawej strony.

Najmniej reaktywny -----> Najbardziej reaktywny

v. Poniżej pokazane są elektronowe widma absorpcyjne (jako molowa absorbancja vs. długość fali) dla benzenu (**B**), antracenu (**A**) i pentacenu (**P**). Na podstawie jakościowego zrozumienia modelu cząstki w pudle, wskaż, która cząsteczka odpowiada któremu widmu, wstawiając odpowiednią literę w kwadracie po prawej stronie każdego widma.

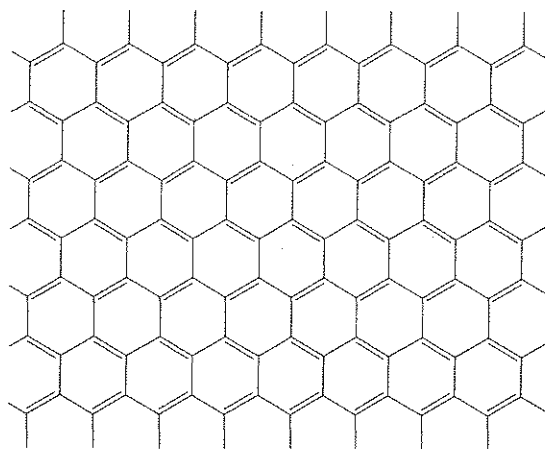


e. Grafen jest warstwą atomów węgla ułożonych na kształt dwuwymiarowego plastra miodu. Można go uważać za skrajny przypadek poliaromatycznego węglowodoru o zasadniczo nieskończonej długości w dwóch wymiarach. Za przełomowe eksperymenty z udziałem grafenu Andrei Geim i Konstantin Novoselov otrzymali w 2010 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

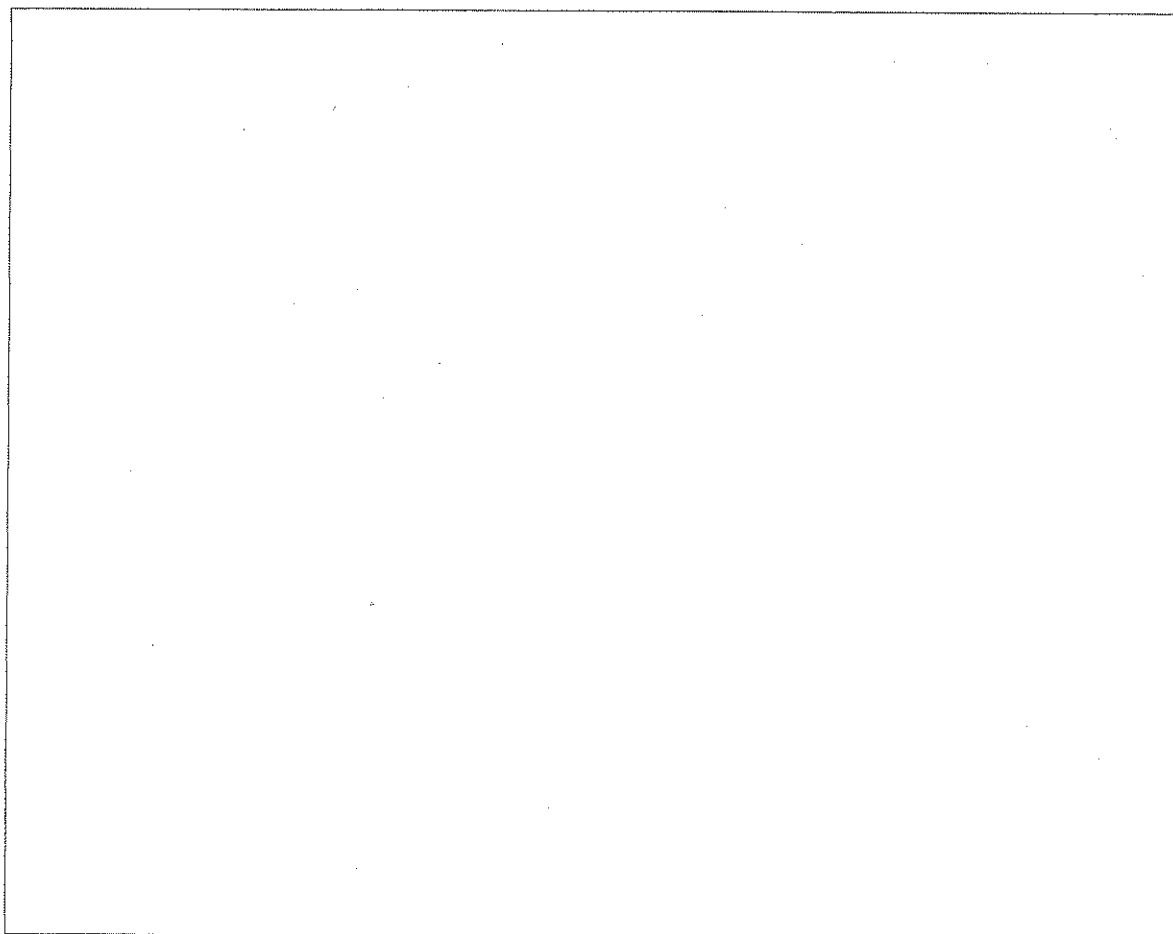
Nazwisko i imię:

Kod: POL-

Rozważ warstwę grafenu o wymiarach płaszczyzny  $L_x=25$  nm na  $L_y=25$  nm. Poniżej pokazany jest wycinek tej warstwy.



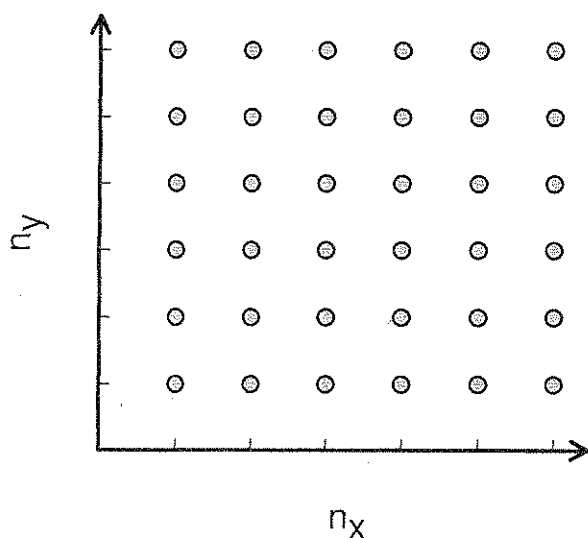
- i. Powierzchnia jednej heksagonalnej jednostki sześciowęglowej wynosi  $\sim 52400$  pm<sup>2</sup>. Oblicz liczbę elektronów  $\pi$  w warstwie grafenu o wymiarach (25 nm  $\times$  25 nm). Rozwiązując ten problem, możesz pominąć elektrony na brzegach warstwy (tzn. te, które leżą poza pełnymi sześciokątami na rysunku).





ii. Można uważać elektrony  $\pi$  w grafenie za swobodne elektrony w dwuwymiarowym pudle.

W układach zawierających duże liczby elektronów, nie ma pojedynczego najwyższego obsadzonego poziomu energetycznego. Jest za to wiele stanów o niemal tej samej energii, powyżej których pozostałe stany są nieobsadzone. Te najwyższe obsadzone stany wyznaczają tzw. poziom Fermiego. Poziom Fermiego w grafenie składa się z wielokrotnych kombinacji liczb kwantowych  $n_x$  i  $n_y$ . Wyznacz wartość energii poziomu Fermiego dla kwadratowej warstwy grafenu o wymiarach  $25 \text{ nm} \times 25 \text{ nm}$ , względem najniższego obsadzonego poziomu. Ten najniższy obsadzony poziom ma niezerową energię, która jest jednak pomijalna i może być przyjęta za równą zero. W rozwiązywaniu tego problemu pomocna może być reprezentacja stanów kwantowych  $(n_x, n_y)$  jako punktów dwuwymiarowej (2-D) sieci (jak pokazano niżej) i rozważenie, jak poziomy energetyczne są obsadzone przez pary elektronowe. Dla określenia liczby elektronów wykorzystaj swoje wyniki z części (i) lub użyj wartości 1000 (nie musi to być wartość prawdziwa).



Nazwisko i imię:

Kod: POL-

iii. Przewodnictwo materiałów typu grafenu wykazuje odwrotną korelację z wielkością odstępów energetycznych między najniższym nieobsadzonym i najwyższym obsadzonym poziomem energetycznym. Na podstawie swojej analizy i zrozumienia sytuacji elektronów  $\pi$  w PAHs i grafenie, odpowiedz na pytanie, czy przewodnictwo kwadratowej ( $25 \text{ nm} \times 25 \text{ nm}$ ) warstwy grafenu, w danej temperaturze, jest mniejsze, równe, czy większe od przewodnictwa kwadratowej ( $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) warstwy grafenu (która jest największą, dotychczas otrzymaną). Obwiedź kółkiem prawidłową odpowiedź.

mniejsze	równe	większe
----------	-------	---------