



### EXERCISE: Calculations on the Formation of Pollutants in I.C.E (10 Pts)

We consider the combustion of **octane** (fuel approximated as gasoline):  $C_8H_{18}$

Air is composed of **21%  $O_2$**  and **79%  $N_2$**  by volume, giving a ratio:  $N_2/O_2=3.76$

We first study **stoichiometric combustion**, then a **rich combustion** ( $\lambda=0.90$ ) to analyze the formation of pollutants.

#### A. Stoichiometric combustion of octane

1. Write the complete stoichiometric combustion equation of octane (producing  $CO_2$  and  $H_2O$  only).
2. Calculate the theoretical amount of oxygen (in moles) required to burn 1 mole of  $C_8H_{18}$
3. Deduce the corresponding amount of **stoichiometric air** (in moles).

#### B. Rich combustion: $\lambda=0.90$

The engine now receives only 90% of the stoichiometric air.

1. Calculate the actual amount of oxygen available.
2. Since oxygen is insufficient, part of the carbon forms **carbon monoxide (CO)** instead of carbon dioxide ( $CO_2$ ). Assume that all hydrogen burns to  $H_2O$  and all oxygen is consumed. Calculate:
  3. the amount of  $CO_2$  formed
  4. the amount of CO formed

*Remarque: forming 1 mole of CO instead of  $CO_2$  saves 0.5 mole of  $O_2$ .*

ندرس احتراق الأوكتان (وقود يُقارب البنزين)  $C_8H_{18}$  :

يتكون الهواء من 21% أكسجين و79% نيتروجين حجمياً، بنسبة  $N_2/O_2 = 3.76$  :

ندرس أولاً الاحتراق المتكافئ، ثم الاحتراق الغني ( $\lambda = 0.90$ ) لتحليل تكوين الملوثات.

**أ. الاحتراق المتكافئ للأوكتان**

1. اكتب معادلة الاحتراق المتكافئ الكاملة للأوكتان (منتجاً ثاني أكسيد الكربون والماء فقط).

2. احسب الكمية النظرية للأكسجين (بالمولات) اللازمة لاحتراق مول واحد من  $C_8H_{18}$ .

3. استنتج الكمية المقابلة للهواء المتكافئ (بالمولات).

**ب. الاحتراق الغني  $\lambda=0.90$  :**

يتلقى المحرك الآن 90% فقط من الهواء المتوازن.

1. احسب كمية الأكسجين المتاحة فعلياً.

2. نظراً لعدم كفاية الأكسجين، يتحول جزء من الكربون إلى أول أكسيد الكربون (CO) بدلاً من ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ).

افترض أن جميع الهيدروجين يحترق إلى ماء ( $H_2O$ ) وأن جميع الأكسجين يُستهلك.

احسب:

. كمية ثاني أكسيد الكربون المتكونة

. كمية أول أكسيد الكربون المتكونة

ملاحظة : إن تكوين 1 مول من CO بدلاً من  $CO_2$  يوفر 0.5 مول من  $O_2$ .

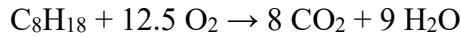


## SOLUTION

### EXERCISE 5 (10 pts)

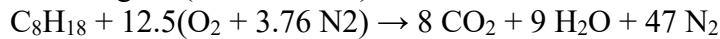
#### A. Stoichiometric combustion of octane

1. Complete stoichiometric combustion:



2

Including air ( $\text{N}_2/\text{O}_2 = 3.76$ ):



2. Theoretical oxygen required

12.5 mol  $\text{O}_2$  per mol of  $\text{C}_8\text{H}_{18}$

2

3. Stoichiometric air requirement

Air =  $12.5 \times 100/21 = 59.5$  mol air per mol fuel

2

#### B. Rich combustion ( $\lambda = 0.90$ )

$$\lambda = \frac{\text{actual air}}{\text{stoichiometric air}}$$

1. Actual oxygen available:

$$\text{O}_2 = 0.90 \times 12.5 = 11.25 \text{ mol}$$

2

Hydrogen oxidation:

9  $\text{H}_2\text{O}$  formed  $\rightarrow$  4.5 mol  $\text{O}_2$  consumed

Remaining oxygen for carbon =  $11.25 - 4.5 = 6.75$  mol

2

### QUIZ (10 pts)

10 x 1 = 10

Quiz: Pollutants from Internal Combustion Engines

Question 1

Which pollutant is mainly responsible for toxic effects on the blood?

- A)  $\text{CO}_2$
- B) CO
- C) ND)  $\text{SO}_2$

Answer: B) CO (carbon monoxide)

Question 2

Which pollutant is mainly responsible for the greenhouse effect?

- A)  $\text{NO}_x$
- B) CO

اختبار: ملوثات محركات الاحتراق الداخلي SA

السؤال 1

ما هو الملوث المسؤول أساسًا عن التأثير السام على الدم؟

- A) ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$
  - B) أول أكسيد الكربون CO
  - C) ثاني أكسيد النيتروجين  $\text{NO}_2$
  - D) ثاني أكسيد الكبريت  $\text{SO}_2$
- (CO) أول أكسيد الكربون B: الإجابة

السؤال 2

ما هو الملوث المسؤول أساسًا عن ظاهرة الاحتباس الحراري؟

- A) أكاسيد النيتروجين  $\text{NO}_x$
- B) CO
- C)  $\text{CO}_2$



- C) CO<sub>2</sub>  
D) Particulate matter

**Answer: C) CO<sub>2</sub>**

Question 3

Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) are mainly formed:

- A) At low temperature  
B) During incomplete combustion  
C) At high temperature inside the cylinder  
D) During exhaust gas cooling

**Answer: C) At high temperature inside the cylinder**

Question 4

Which pollutant is responsible for acid rain?

- A) CO<sub>2</sub>  
B) HC  
C) NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>  
D) Particulate matter

**Answer: C) NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>**

Question 5

Unburned hydrocarbons (HC) mainly come from:

- A) Incomplete combustion  
B) Over-rich combustion  
C) Excess air  
D) Both A and B

**Answer: D) Both A and B**

Question 6

Which type of engine generally emits more particulate matter?

- A) Naturally aspirated gasoline engine  
B) Diesel engine  
C) Electric motor  
D) Hybrid engine

**Answer: B) Diesel engine**

Question

Which device mainly reduces NO<sub>x</sub> emissions?

- A) Particulate filter  
B) Catalytic converter  
C) EGR valve  
D) Muffler

**Answer: C) EGR valve**

Question 8

Which pollutant is carcinogenic and penetrates deep into the lungs?

- A) CO<sub>2</sub>  
B) NO

الجسيمات الدقيقة D)

(CO<sub>2</sub>) ثاني أكسيد الكربون C): الإجابة

السؤال 3

أساساً (NO<sub>x</sub>) تتكوّن أكاسيد النيتروجين:

- A) عند درجات حرارة منخفضة  
B) أثناء الاحتراق غير الكامل  
C) عند درجات حرارة مرتفعة داخل الأسطوانة  
D) أثناء تبريد غازات العادم  
عند درجات حرارة مرتفعة داخل الأسطوانة C): الإجابة

السؤال 4

ما هو الملوث المسؤول عن الأمطار الحمضية؟

- A) CO<sub>2</sub>  
B) الهيدروكربونات HC  
C) NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub>  
D) الجسيمات الدقيقة

(NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub>) C): الإجابة

السؤال 5

تنتج أساساً عن (HC) الهيدروكربونات غير المحترقة:

- A) احتراق غير كامل  
B) احتراق غني بالوقود  
C) زيادة في الهواء  
D) A و B الإجابتان

(A و B الإجابتان) D): الإجابة

السؤال 6

أي نوع من المحركات يصدر عادةً كمية أكبر من الجسيمات الدقيقة؟

- A) محرك بنزين طبيعي السحب  
B) محرك ديزل  
C) محرك كهربائي  
D) محرك هجين

(محرك ديزل) B): الإجابة

السؤال 7

NO<sub>x</sub> أي جهاز يساهم أساساً في تقليل انبعاثات

- A) مرشح الجسيمات  
B) المحول الحفّاز  
C) صمام إعادة تدوير غازات العادم (EGR)  
D) كاتم الصوت

(EGR صمام) C): الإجابة

السؤال 8

ي ملوث يُعد مسرطناً ويخترق الرئتين بعمق؟

- A) CO<sub>2</sub>  
B) NO  
C) الجسيمات الدقيقة (PM)  
D) O<sub>2</sub>  
(PM) الجسيمات الدقيقة C): الإجابة



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>C) Fine particles (PM)<br/>D) O<sub>2</sub><br/>Answer: <b>C) Fine particles (PM)</b></p> <p>Question 9<br/>Which fuel produces the least CO<sub>2</sub> per unit of energy?<br/>A) Gasoline<br/>B) Diesel<br/>C) LPG / Natural gas<br/>D) Fuel oil<br/>Answer: <b>C) LPG / Natural gas</b></p> <p>Question 10<br/>The three-way catalytic converter acts on:<br/>A) CO only<br/>B) NO<sub>x</sub> only<br/>C) HC only<br/>D) CO, HC and NO<sub>x</sub><br/>Answer: <b>D) CO, HC and NO<sub>x</sub></b></p> | <p>السؤال 9<br/>لكل وحدة طاقة؟ CO<sub>2</sub> أي وقود ينتج أقل كمية من<br/>A) البنزين<br/>B) الديزل<br/>C) غاز البترول المسال / الغاز الطبيعي<br/>D) زيت الوقود<br/>غاز البترول المسال / الغاز الطبيعي C) :الإجابة<br/>السؤال 10<br/>المحوّل الحفّاز ثلاثي الاتجاهات يؤثر على<br/>A) فقط CO<br/>B) فقط NO<sub>x</sub><br/>C) فقط HC<br/>D) CO و HC و NO<sub>x</sub><br/>الإجابة: D) CO و HC و NO<sub>x</sub></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|