University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024

Internal Combustion Engine (Advanced Course)

The content of the course

Chapter 01: New Techniques and Engine Efficiency Improvement
1-1 Under-sizing
1-2 Variable Valve Timing
1-3 Variable Compression Ratio
1-4 Miller-Atkinson Cycle
1-5 Stratified Charge
1-6 HCCI Concept (Homogeneous Charge Compression Ignition)
1-7 PCCI Concept (Premixed Charge Compression Ignition)

Chapter 02: Gasoline Injection Techniques
2-1 Electronic Engine Management and Diagnostics
2-2 K-Jetronic System
2-3 D-Jetronic System
2-4 L-Jetronic System

Chapter 03: Combustion Modeling in Engines
3-1 Single Zone Model
3-2 Two-Zone Model
3-3 Multi-Zone Model

Chapter 04: Formation of Pollutants
4-1 Carbon Monoxide (CO)
4-2 Unburned Hydrocarbons
4-3 Formation of Aromatics
4-4 Formation of Soot
4-5 Formation of Nitrogen Oxides (NOx)

Chapter 05: Supercharging of Internal Combustion Engines with Turbochargers
5-1 Mapping (Turbine, Compressor, Engine) and Functional Characteristics
5-2 Engine-Turbocharger Matching

محرك الاحتراق الداخلي (دوروس متقدمة)

محتوى المادة

الفصل 01: تقنيات جديدة وتحسين كفاءة المحركات

1-1 التصغير الزائد

2-1 توقيت صمام متغير

3-1 نسبة ضغط متغيرة

4-1 دورة ميلر-أتكينسون

5-1 الشحن بالطبقات

6-1 مفهوم) HCCIالاشتعال المتجانس بالضغط)

7-1 مفهوم) PCCIالاشتعال المتجانس المسبق بالضغط)

الفصل 02: تقنيات حقن البنزين

1-2 إدارة المحرك الإلكترونية والتشخيص

2-2 نظام K-Jetronic

2-3نظام D-Jetronic

2-4نظام L-Jetronic

الفصل 03: نموذج منطقة واحدة

1-3 النموذج منطقة واحدة

2-3 النموذج منطقتين

3-3 النموذج متعدد المناطق

الفصل 04: تكون الملوثات

1-4 أول أكسيد الكربون ((CO

4-2الهيدروكربونات غير المحترقة

3-4 تكون المركبات العطرية

4-4 تكون السوت

5-4 تكون أكاسيد النيتروجين ((NOx

الفصل 05: تحميل المحركات الاحتراقية الداخلية بواسطة التوربوكمبريسورات

1-5 الرسم البياني (التوربينات والكمبريسورات والمحرك) والخصائص الوظيفية

2-5 توافق المحرك مع التوربوكمبريسور

CHAPITRE 01

New techniques and improvement of engine performance

1-1 Undersizing (downsizing)

Under-sizing is a set of processes aimed at reducing the displacement of an engine without compromising its specific power, with the goal of reducing fuel consumption.

The technical solutions implemented in both gasoline and diesel engines enable the reduction of engine displacement while maintaining sufficient power for the vehicle's requirements.

To achieve this goal, several methods are employed, such as direct injection and turbocharging.

الفصل الأول

تقنيات جديدة وتحسين أداء المحركات

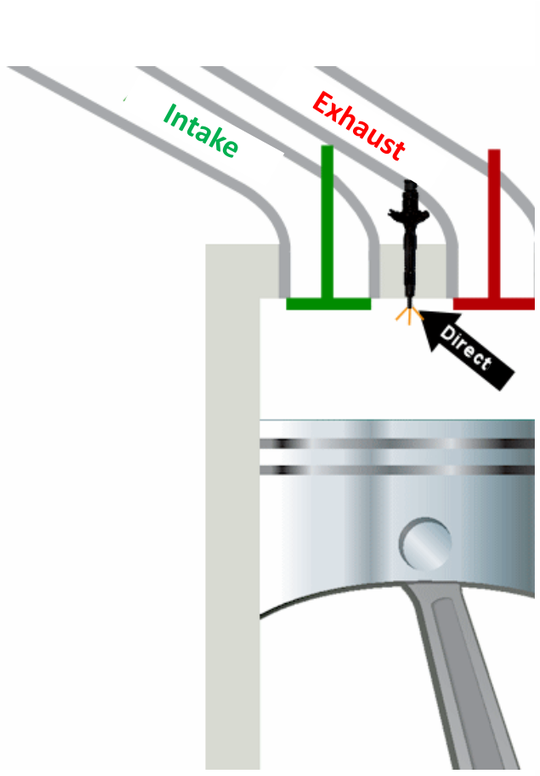
1-1 تقليص الحجم

التقليل من الحجم هو عبارة عن مجموعة من العمليات التي تهدف إلى تقليل حجم المحرك دون المساس بقوته المحددة ، بهدف تقليل استهلاك الوقود. تتيح الحلول التقنية المطبقة في كل من محركات البنزين والديزل تقليل إزاحة المحرك مع الحفاظ على طاقة كافية لمتطلبات السيارة.لتحقيق هذا الهدف ، يتم استخدام عدة طرق ، مثل الحقن المباشر والشحن التوربيني.

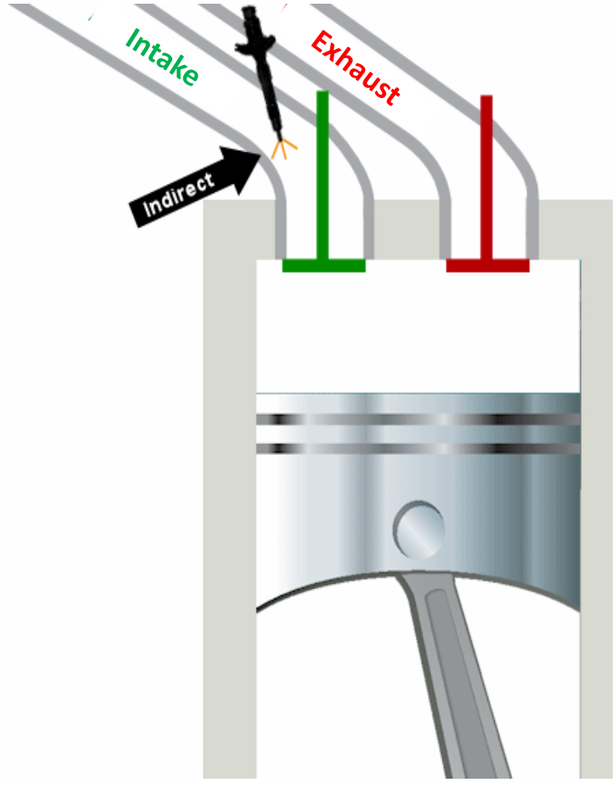
1.1.1 Direct Injection

This type of injection results in higher pressures as these engines have a higher compression ratio.

Modern gasoline engines, especially those equipped with a turbocharger, promote direct injection to reduce fuel consumption.



Direct Injection

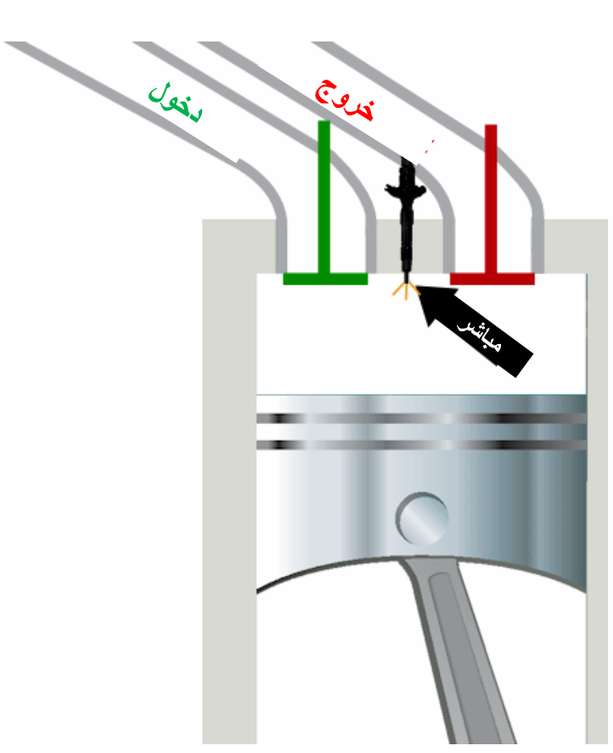


Indirect Injection

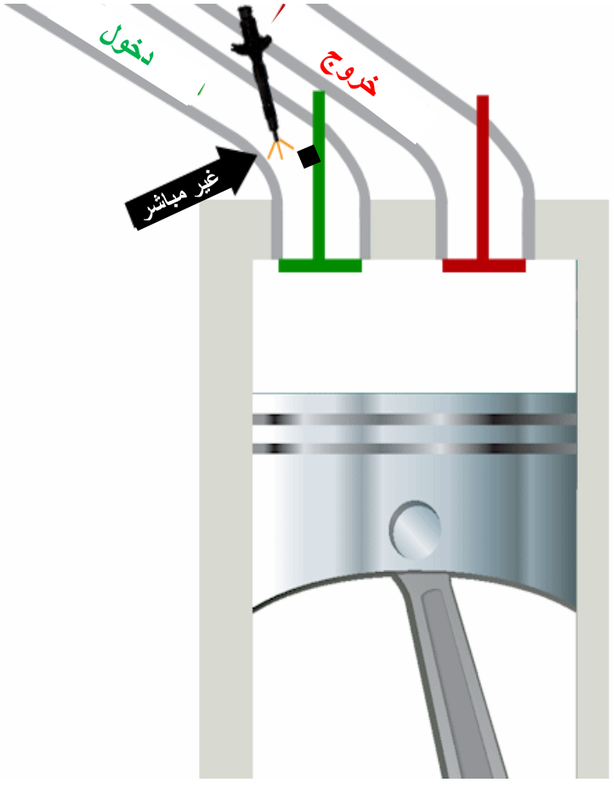
1.1.1 الحقن المباشر

هذا النوع من الحقن يؤدي إلى زيادة الضغط حيث تحتوي هذه المحركات على نسبة ضغط أعلى

المحركات الحديثة التي تعمل بالبنزين، خاصة تلك المجهزة بتوربوشاحن، تتبنى حقن المباشر للحد من استهلاك الوقود



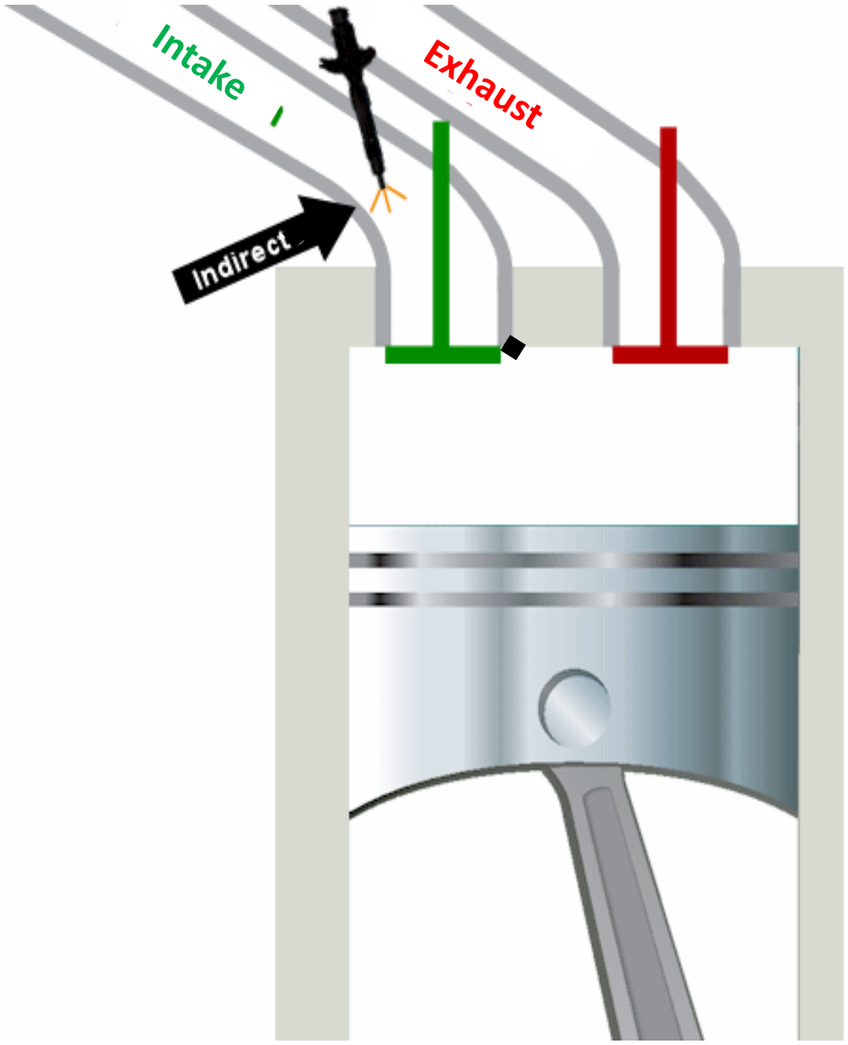
الحقن المباشر



الحقن الغيرالمباشر

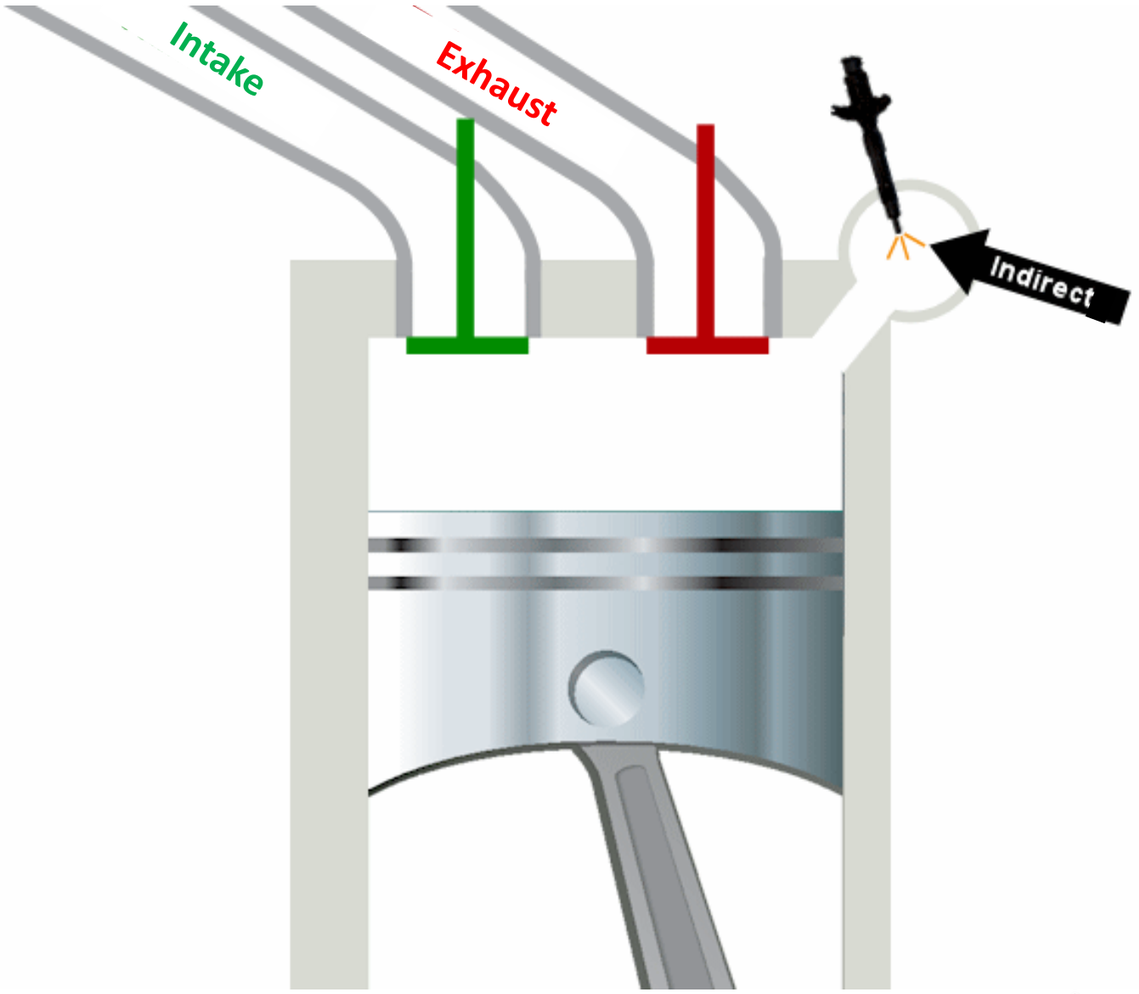
1.1.2 Indirect injection

Indirect Injection in ESSENCE Engine



On an indirect injection of a gasoline engine, the injector is placed upstream of the valve, ie in the intake manifold. The mixture is carried out by vaporization before entering the cylinder.

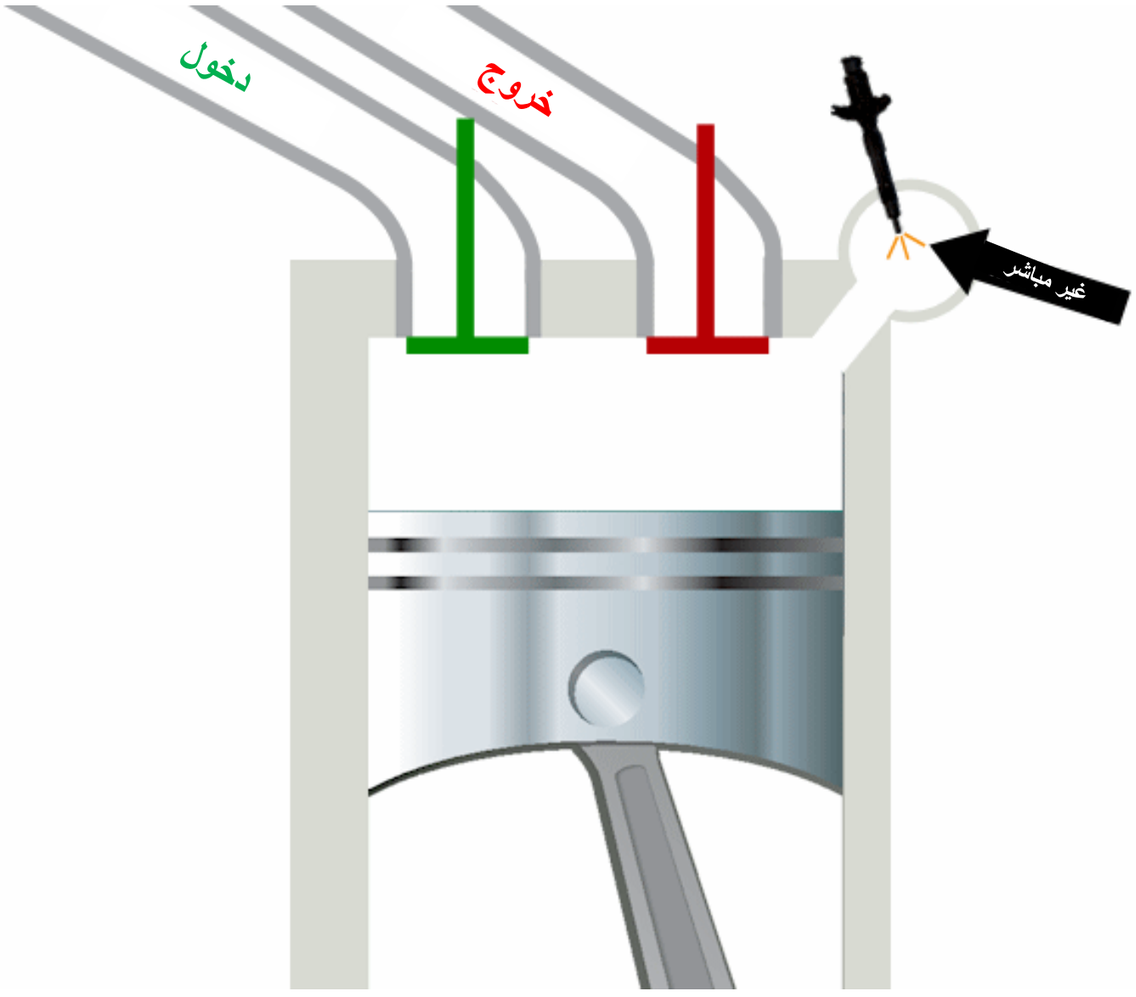
Indirect Injection in DIESEL Engine



In the case of a diesel, the injection takes place in a small separate chamber (pre-combustion chamber) which overlooks the cylinder, and not in the intake duct in the case of an indirect gasoline.

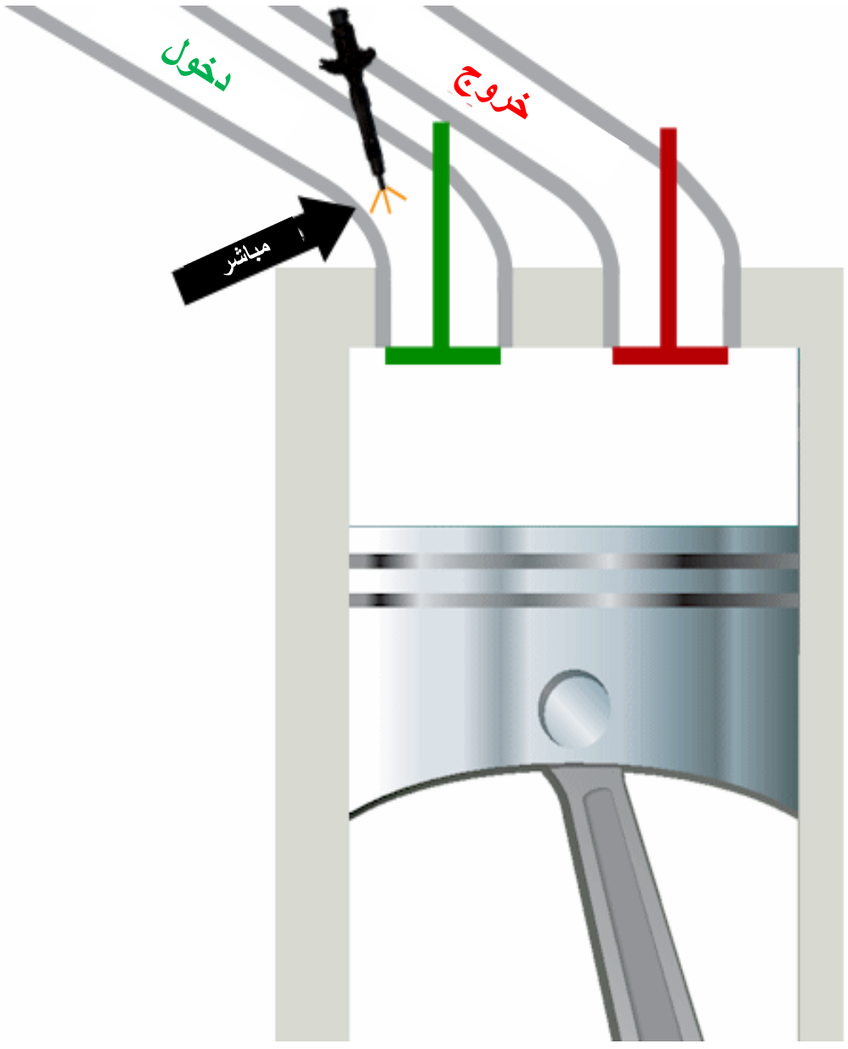
1.1.2 الحقن غير المباشر

الحقن غير المباشر في محركات الديزل

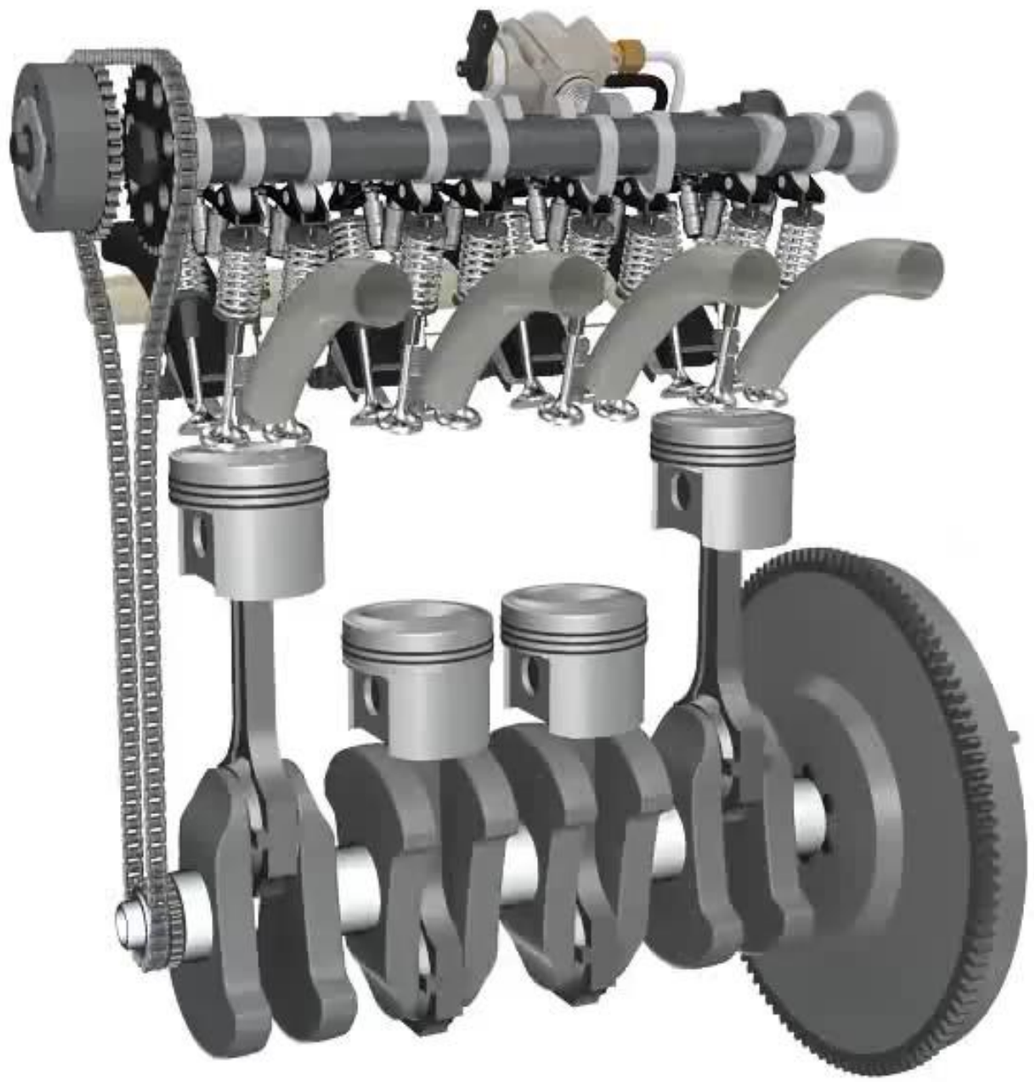


في حالة محرك الديزل، يتم الحقن في غرفة صغيرة منفصلة تسمى غرفة الاحتراق الأولي، والتي تكون متصلة بالأسطوانة. وهذا يختلف عن الحقن غير المباشر للبنزين، حيث يتم حقن الوقود في منظم السحب

الحقن غير المباشر في محركات البنزين

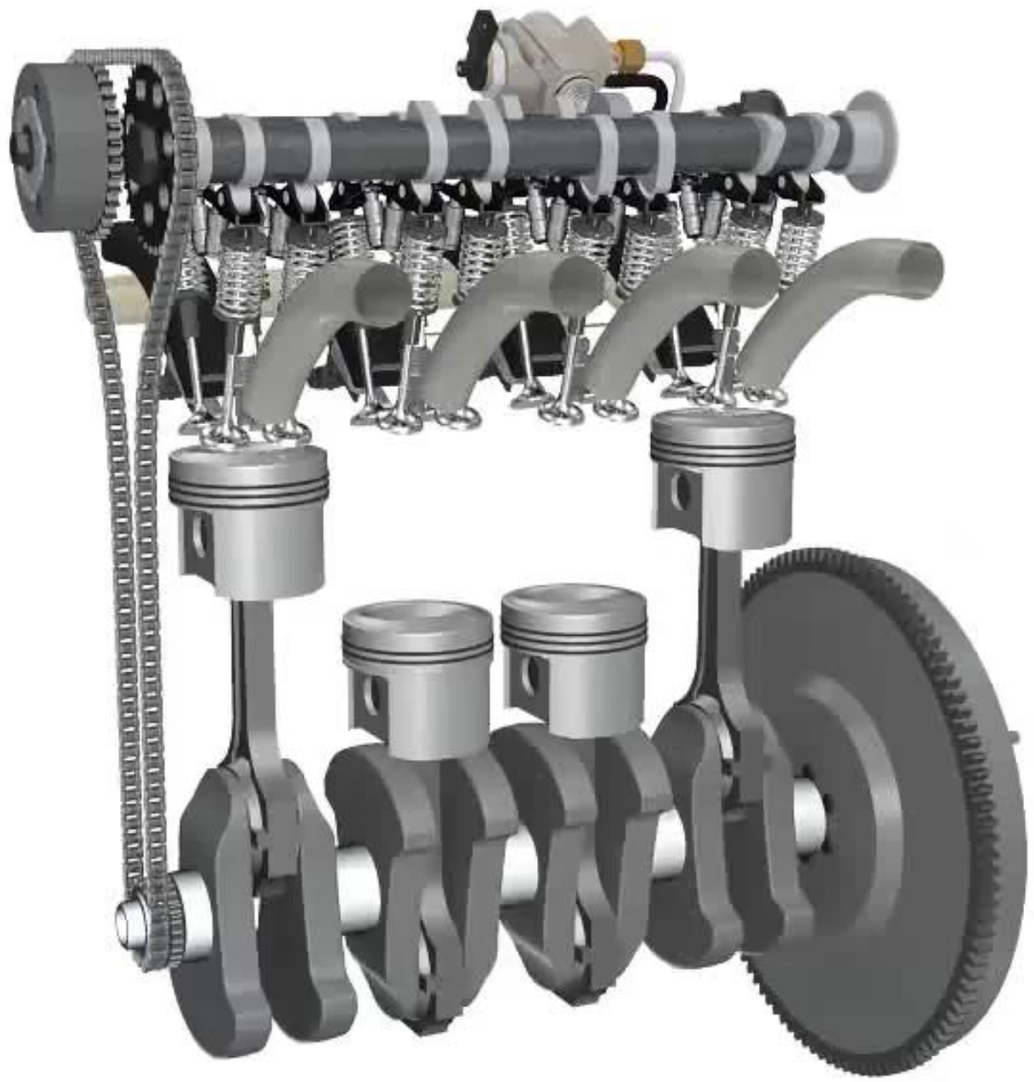


في أنظمة الحقن غير المباشر لمحركات البنزين، يتم وضع الحاقن في مكان يسبق صمام السحب، عادة في المنظم السحبي. يتم تجزئة الوقود وخلطه مع الهواء عن طريق التبخير قبل دخول الأسطوانة



© Techauto 2013

VIDEO INJECTION DIRECTE



© Techauto 2013

VIDEO INJECTION DIRECTE

1.1.3 Turbocharging with Turbocharger

It provides a power gain or a reduction in displacement while maintaining the same power output. For example, a turbocharged 1.6-liter engine can achieve the same torque performance as a 2.5-liter engine.

THE POWER OF AN ENGINE P

P=C.ω

P is the power

C is the couple

$$\omega = \frac{\pi N}{30}$$

(s^{-1} ; tr/min)

To increase the power of an engine, we can increase:

1. **its rotational speed**
2. **its couple:**
3. **ω is the rotational speed**

3.1.1 التوربوشحن بواسطة التوربوشاحن

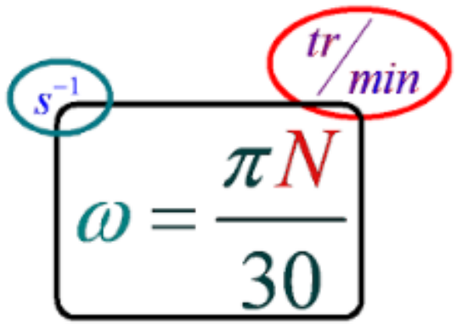
يوفر التوربوشحن زيادة في القوة أو تقليل في السعة مع الحفاظ على نفس إخراج القوة. على سبيل المثال، يمكن لمحرك سعة 1.6 لتر مع توربوشحن تحقيق نفس أداء عزم الدوران كمحرك سعة 2.5 لتر

قوة المحرك P

$$P=C.\omega$$

P هو القوة

C هو العزم



لزيادة قوة المحرك، يمكننا زيادة:

- **سرعة دورانه**
- **العزم**

حيث يُمثل الرمز ω سرعة دوران المحرك.

Increasing the rotational speed of an engine is limited by factors such as inertia and friction in the engine components. As a result, the speed cannot be increased arbitrarily.

The torque can be increased by increasing the quantity of fuel and oxidizer (air) through methods such as turbocharging or mechanical supercharging (forced induction).

The torque of the engine also depends on the mean effective pressure (or PME) This is the role of supercharging, which thus makes it possible to increase the PME and therefore the torque of the engine and therefore the power

زيادة سرعة دوران المحرك محدودة بعوامل مثل الاختام والاحتكاك في مكونات المحرك. نتيجة لذلك، لا يمكن زيادة السرعة بشكل عشوائي

يمكن زيادة العزم عن طريق زيادة كمية الوقود والمؤكسد (الهواء) باستخدام طرق مثل التوربوشحن أو التعزيز الميكانيكي (التعزيز القسري)

العزم للمحرك يعتمد أيضًا على الضغط الفعال المتوسط (PME)، وهذا هو دور التوربوشحن (Supercharging)، حيث يسمح بزيادة الضغط الفعال المتوسط وبالتالي العزم للمحرك وبالتالي القوة

1.1.4 *ISO-consumption curves*

For an internal combustion engine, the amount of fuel depends on the following factors:

Power (P):

Torque (C):.

Rotational speed (N):

The iso-consumption curves indicate the areas where the motor is economical and those which generate high consumption.

These curves allow for the comparison of different engines based on specific fuel consumption (Cse) expressed in grams per kilowatt-hour (g/kWh).

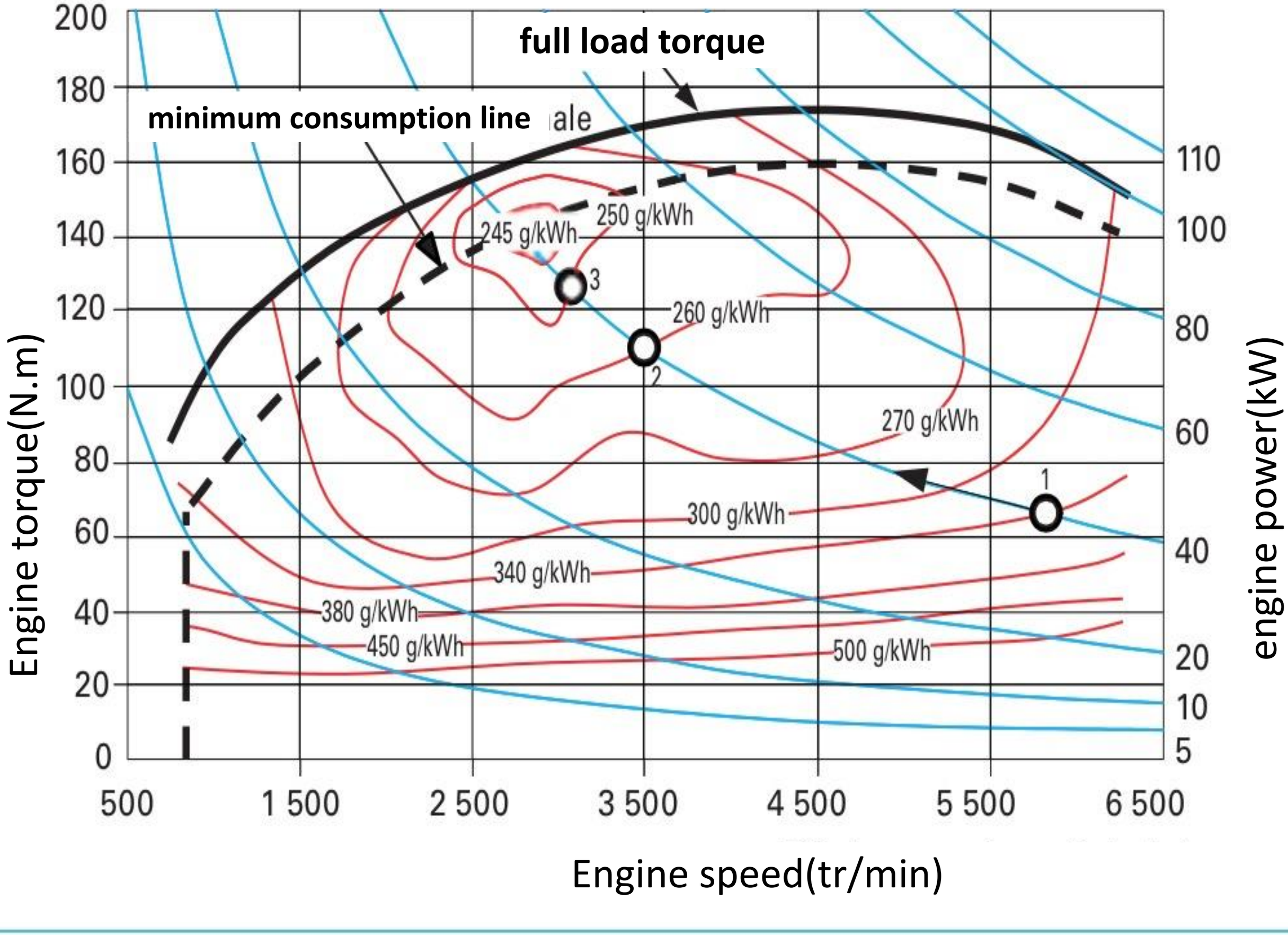
1. 1. 4 منحنيات الاستهلاك المتساوي

بالنسبة لمحرك الاحتراق الداخلي، تعتمد كمية الوقود على العوامل التالية:

1. **القوة P**
2. **العزم C**
3. **سرعة الدوران N**

تُشير المنحنيات الإيزو-استهلاك إلى المناطق التي يكون فيها المحرك اقتصاديًا وتلك التي تُولد استهلاكًا عاليًا

تتيح هذه المنحنيات مقارنة محركات مختلفة بناءً على استهلاك الوقود المحدد (Cse) المعبر عنه بالجرامات لكل كيلووات-ساعة (g/kWh)


full load torque
minimum consumption line
ale
245 g/kWh
250 g/kWh
260 g/kWh
270 g/kWh
300 g/kWh
340 g/kWh
380 g/kWh
450 g/kWh
500 g/kWh
1
2
3
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
110
100
80
60
40
20
10
5
500
1 500
2 500
3 500
4 500
5 500
6 500
Engine torque(N.m)
engine power(kW)
Engine speed(tr/min)

1.1.5 fuel consumption

Fuel consumption depends on:

- **Vehicle mass,**
- **Geometry or shape to take into account the forces of penetration in the air,**
- **Forces due to rolling of the vehicle, etc.**
- **Power**
- **Couple**
- **Speed in revolutions per minute.**

5.1.1 استهلاك الوقود

استهلاك الوقود يعتمد على:

- **وزن المركبة،**
- **الهندسة أو الشكل لأخذ بعين الاعتبار قوى التسلل في الهواء،**
- **القوى الناتجة عن تدحرج المركبة، إلخ**
- **القوة**
- **العزم**
- **السرعة بالدورات في الدقيقة.**

CO_2 (carbon dioxide) Emission

The type of fuel used in the vehicle will also be taken into consideration to determine the quantity of CO_2 emitted per kilometer.

EXEMPLE

Calculate the consumption in liters/100km of a Diesel vehicle that emits 120 gCO_2/kmData:
the mass of diesel fuel contains 85% carbon
The density of diesel being 830 kg/m^3

انبعاث ثاني أكسيد الكربون (CO2)

سيتم أيضًا أخذ نوع الوقود المستخدم في المركبة في الاعتبار لتحديد كمية ثاني أكسيد الكربون (CO2) المنبعثة لكل كيلومتر.

مثال

قم بحساب استهلاك الوقود باللتر / 100 كم لسيارة ديزل تنبعث منها 120 غرام / CO2 كم.
البيانات المتاحة هي:

- **كتلة وقود الديزل تحتوي على 85٪ من الكربون.**
- **كثافة الديزل هي 830 كجم / متر مكعب**

1.1.6 Consumption reduction elements

The consumption of a vehicle depends on various parameters

1. **Those inherent to the vehicle:**

- **the mass, the resistance to movement (friction of the air)**

2. **Those inherent in use:**

- **acceleration, speed, elevation of the course...**

The mass of vehicles is a determining factor in fuel consumption, the higher it is, the more energy the vehicle will need to move.

6.1.1 عناصر تقليل الاستهلاك

استهلاك المركبة يعتمد على معاملات مختلفة.

1. **تلك المرتبطة بالمركبة ذاتها: الكتلة، مقاومة التحرك (احتكاك الهواء).**
2. **تلك المرتبطة بالاستخدام: التسارع، السرعة، ارتفاع المسار**

كتلة المركبات هي عامل حاسم في استهلاك الوقود، فكلما كانت الكتلة أعلى، ستحتاج المركبة إلى المزيد من الطاقة للتحرك

1.1.6.1 drag coefficient (Cx)

The drag coefficient (Cx) or the resistance to advancement accounts for the resistance force of a surface. It depends on the geometry of the vehicle.

1.1.6.2 drag force (Fx)

The drag force is the resisting force that a fluid exerts on an object when the fluid or the object are moving relative to each other. The drag force opposes the motion of the object and acts as a frictional force. It is deined according to the characteristics of the vehicle and its speed of movement:

$$F_x = \frac{1}{2} . \rho . S . C_x . v^2$$

ρ: Fluid density (ρ air = 1.25 kg/m3 at +10°C)

S: Frontal area of the vehicle in m2 (or reference area)

Cx: Drag coefficient

v: Relative velocity of the vehicle with respect to the fluid in m/s.

1.6.1.1 معامل السحب (Cx)

يمثل معامل السحب ((Cxأو مقاومة التقدم قوة مقاومة السطح. ذلك يعتمد على الشكل الهندسي للسيارة.

2.6.1.1 قوة السحب (Fx)

قوة السحب هي القوة المقاومة التي يمارسها السائل على جسم ما عندما يتحرك المائع أو الجسم بالنسبة لبعضهما البعض. تعارض قوة السحب حركة الجسم وتعمل كقوة احتكاك. يتم تحديدها حسب خصائص المركبة وسرعة حركتها:

$$F_x = \frac{1}{2} . \rho . S . C_x . v^2$$

ρ:كثافة السوائل (ρالهواء = 1.25 كجم / م 3 عند + 10 درجة مئوية)

S : المنطقة الأمامية للسيارة م 2 (أو منطقة مرجعية) :Cxمعامل السحب :vالسرعة النسبية للمركبة بالنسبة للسائل بوحدة m / s.

EXEMPLE

1- Calculate the force Fx required for a vehicle with a drag coefficient Cx = 0.40 and a reference area S = 2.70 m2 to travel at 100 km/h.

2- Calculate the energy consumed over 100 km.

3- Calculate the specific fuel consumption (Cse) over 100 km.

Given: Lower Calorific Value = 38.08 MJ/l

Overall efficiency from tank to wheel = 40%

مثال

1- احسب القوة Fxالمطلوبة لمركبة ذات معامل جر Cx = 0.40ومنطقة مرجعية S = 2.70 m2للتنقل بسرعة 100 كم / ساعة.

2- احسب الطاقة المستهلكة لأكثر من 100 كم

3- احسب استهلاك الوقود المحدد ((Cseلأكثر من 100 كم.المعطى: القيمة الحرارية المنخفضة = 38.08 ميجا جول / لترالكفاءة العامة من الخزان إلى العجلة = 40٪

$$F_x = \frac{1}{2}.\rho.S.C_x.v^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 2,70 * 0,4 * 27,8^2 = 521,7\,N$$

The energy W(work) of displacement = force x distance traveled

W=FxL=521.7x100000=52.17MJ.The Net Calorific Value or NCV designates the quantity of heat released during the complete combustion of a fuel, the water formed being evacuated in the form of vapour.Considering a diesel engine (Lower Calorific Value = 38.08MJ/l)

1L ⟶ 38,08 MJ.

Cse ⟶ 52,17 MJ.

Cse = 52,17/ 38,08= 1,37 litre

and if we have an overall efficiency from the tank to the wheel of 40%, then the consumption actual effective specific Cse(actual) = Cse/0.4= 3.42 liters

We therefore conclude that this vehicle will consume 3.42 liters on the 100km trip only to overcome the aerodynamic resistance to the advancement

$$F_x = \frac{1}{2}.\rho.S.C_x.v^2 = \frac{1}{2} * 1{,}25 * 2{,}70 * 0{,}4 * 27{,}8^2 = 521{,}7\,N$$

الطاقة (Wالشغل) للإزاحة = القوة × المسافة المقطوعة

W=F x L = 521,7x100000=52,17 MJ.

القيمة الحرارية الصافية أو الـ NCVتشير إلى كمية الحرارة التي تحرر خلال احتراق كامل للوقود، حيث يتم إخراج الماء المتكون على شكل بخار

بالنظر إلى محرك ديزل (القيمة الحرارية الدنيا = 38.08 ميجا جول / لتر).

1L ⟶ 38,08 MJ.

Cse ⟶ 52,17 MJ.

Cse = 52,17/ 38,08= 1,37 litre

وإذا كان لدينا كفاءة عامة من خزان الوقود إلى العجلة تبلغ 40٪، فإن استهلاك الوقود الفعلي النوعي الفعال (Cse(real)) = Cse/0.4 = 3.42 لتر.

نستنتج بذلك أن هذه السيارة ستستهلك 3.42 لتر فقط على مسافة 100 كم للتغلب على المقاومة الهوائية للتقدم

Resistance to rule

Fuel consumption also depends on rolling resistance (Rr). Rolling resistance takes into account tire characteristics, their condition, pressure, and the type of road surface the vehicle is traveling on.

These characteristics and all the forces give us an expression for the vehicle Toyota PRIUS's resistance force with respect to its moving speed.

$$F\,(en\,N) = 188 + 0{,}32\,.\,v + 0{,}456\,.\,v^2$$

مقاومة السير

يعتمد استهلاك الوقود أيضًا على مقاومة الدوران (Rr) تأخذ مقاومة التدحرج في الاعتبار خصائص الإطارات وحالتها وضغطها ونوع سطح الطريق الذي تسير عليه السيارة.

هذه الخصائص وجميع القوى تعطينا تعبيرًا عن قوة مقاومة السيارة Toyota PRIUSفيما يتعلق بسرعة حركتها

$$F\,(en\,N) = 188 + 0{,}32\,.\,v + 0{,}456\,.\,v^2$$

$$F\,(en\,N)=188+0{,}32\,.\,v+0{,}456\,.\,v^{2}$$

The vehicle requires an energy of 48.175 MJ for a journey of 100 km at a speed of 90 km/h, resulting in a fuel consumption of 3.4 liters (with a Lower Calorific Value of gasoline at 35.45 MJ/l and an overall efficiency of 40%). The vehicle requires 48.175 MJ of energy for a 100 km journey at a speed of 90 km/h, which corresponds to a fuel consumption of 3.4 liters (considering the Lower Calorific Value of gasoline at 35.45 MJ/l and an overall efficiency of 40%).

Speed of 90 km/h=90*1000/3600=25m/s

$F=188+0{,}32*25+0{,}456*25^{2}$ =481 N

$$F\,(en\ N) = 188 + 0{,}32\,.\,v + 0{,}456\,.\,v^2$$

تتطلب السيارة طاقة قدرها 48.175 ميجا جول لرحلة 100 كم بسرعة 90 كم / ساعة ، مما ينتج عنه استهلاك وقود يبلغ 3.4 لتر (مع انخفاض قيمة السعرات الحرارية للبنزين عند 35.45 ميجا جول / لتر وكفاءة إجمالية تبلغ 40٪)

تتطلب السيارة 48.175 ميجا جول من الطاقة لرحلة 100 كم بسرعة 90 كم / ساعة ، وهو ما يتوافق مع استهلاك وقود يبلغ 3.4 لتر (مع الأخذ في الاعتبار القيمة الحرارية المنخفضة للبنزين عند 35.45 ميجا جول / لتر وكفاءة إجمالية تبلغ 40٪)

Speed of 90 km/h=90*1000/3600=25m/s

$F=188+0{,}32*25+0{,}456*25^2 = 481$ N

- **1-2 Variable distribution**
- Variable distribution allows for the modulation of certain parameters of the intake and exhaust valves (often only the intake valves), including...
- *Variable valve timing enables the adjustment of the following parameters of the intake and exhaust valves:*
  - *Valve opening timing (more or less advanced)*
  - *Valve opening duration (more or less extended)*
  - *Valve opening degree (more or less open)*

these are systems known as VTEC in Honda engines, VANOS in BMW engines, and VVT-i in Toyota engines

2-1 التوزيع المتغير

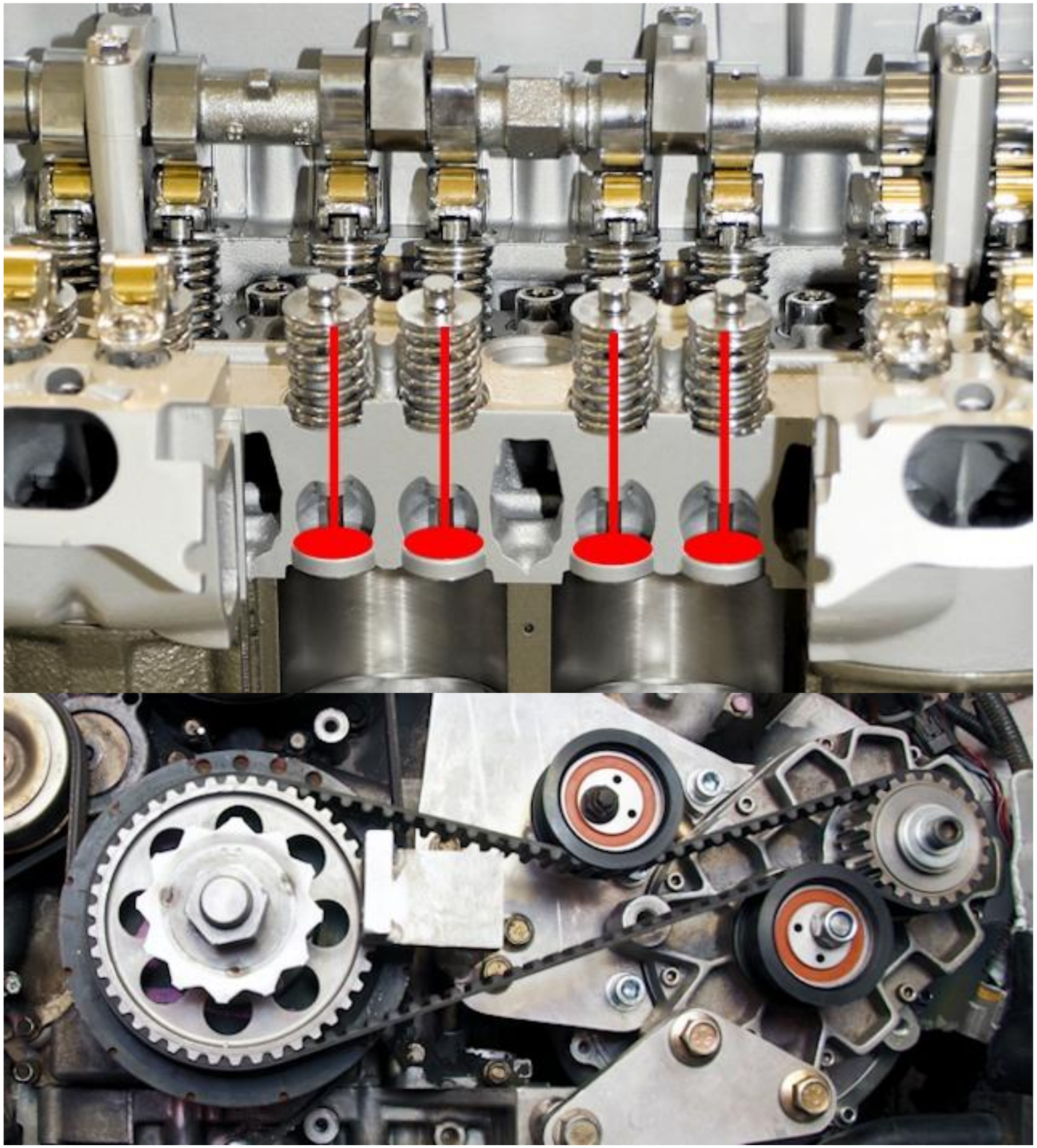
يسمح التوزيع المتغير بتعديل معلمات معينة لصمامات السحب والعادم (غالبًا ما تكون فقط صمامات السحب) ، بما في ذلك ...

تيح توقيت الصمام المتغير تعديل المعلمات التالية لصمامات السحب والعادم

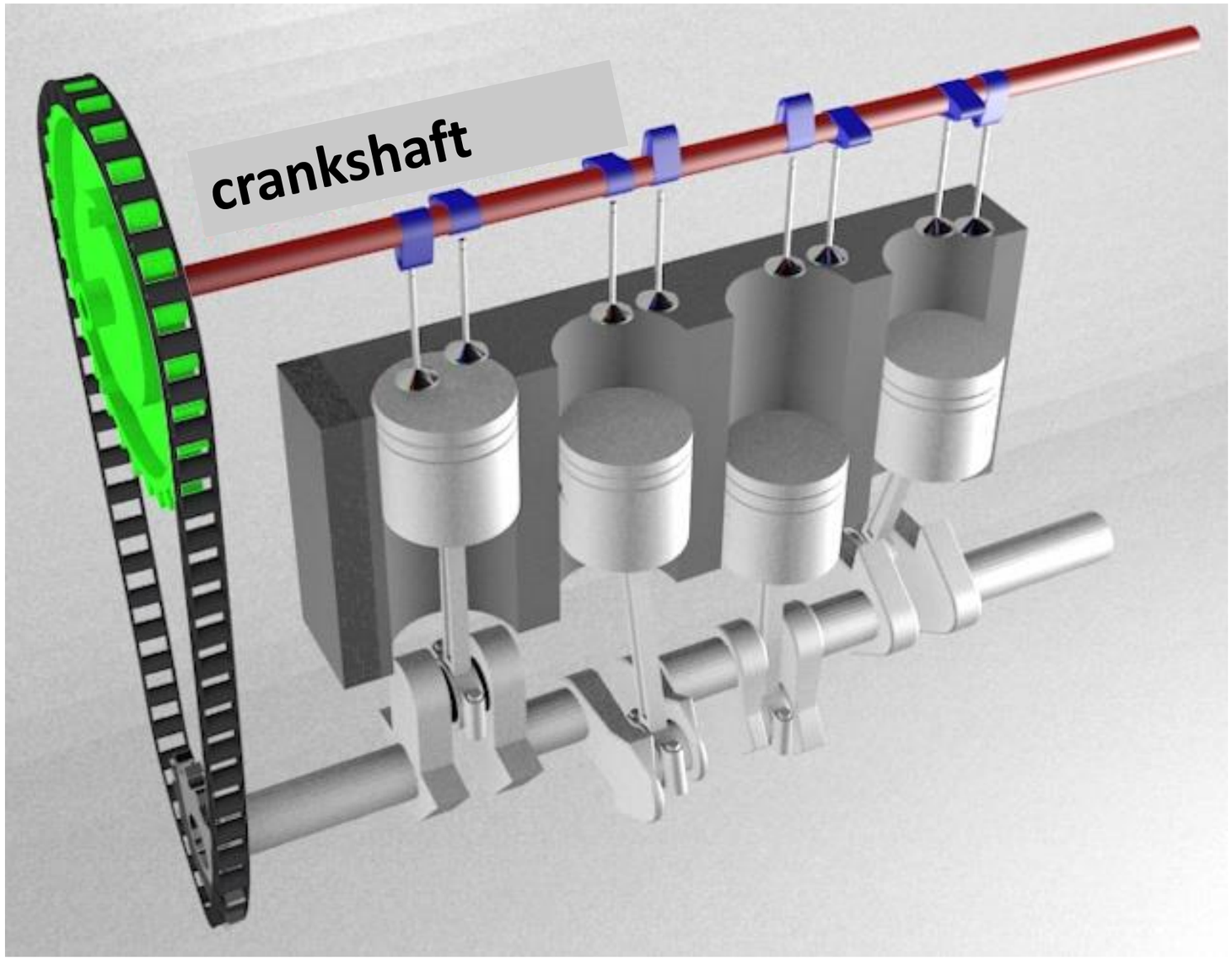
- توقيت فتح الصمام (أكثر أو أقل تقدمًا)
- مدة فتح الصمام (ممتدة أكثر أو أقل)
- درجة فتح الصمام (مفتوحة أكثر أو أقل)

هذه هي الأنظمة المعروفة باسم VTECفي محركات هوندا ، و VANOSفي محركات BMW، و VVT-iفي محركات تويوتا.

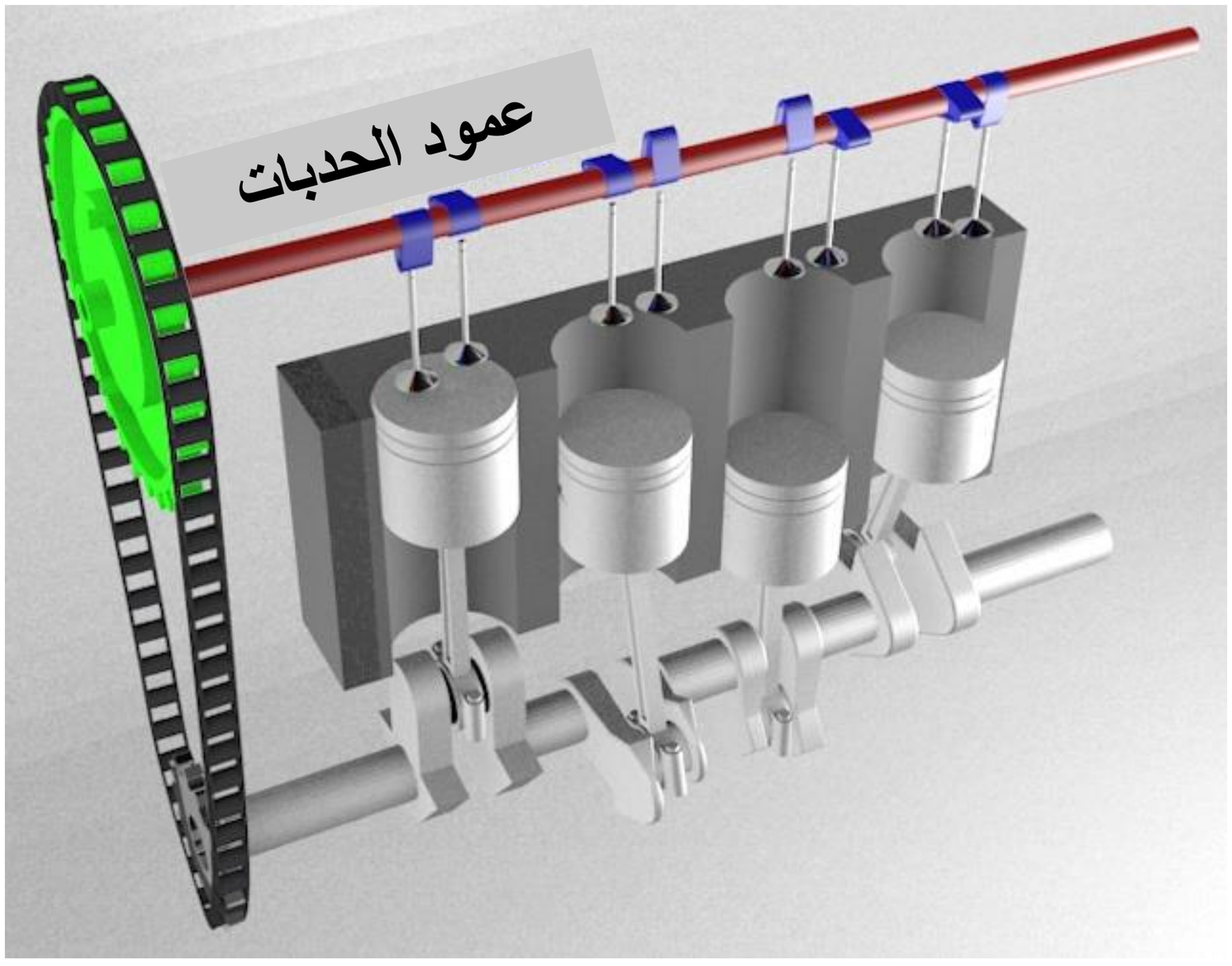
University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024



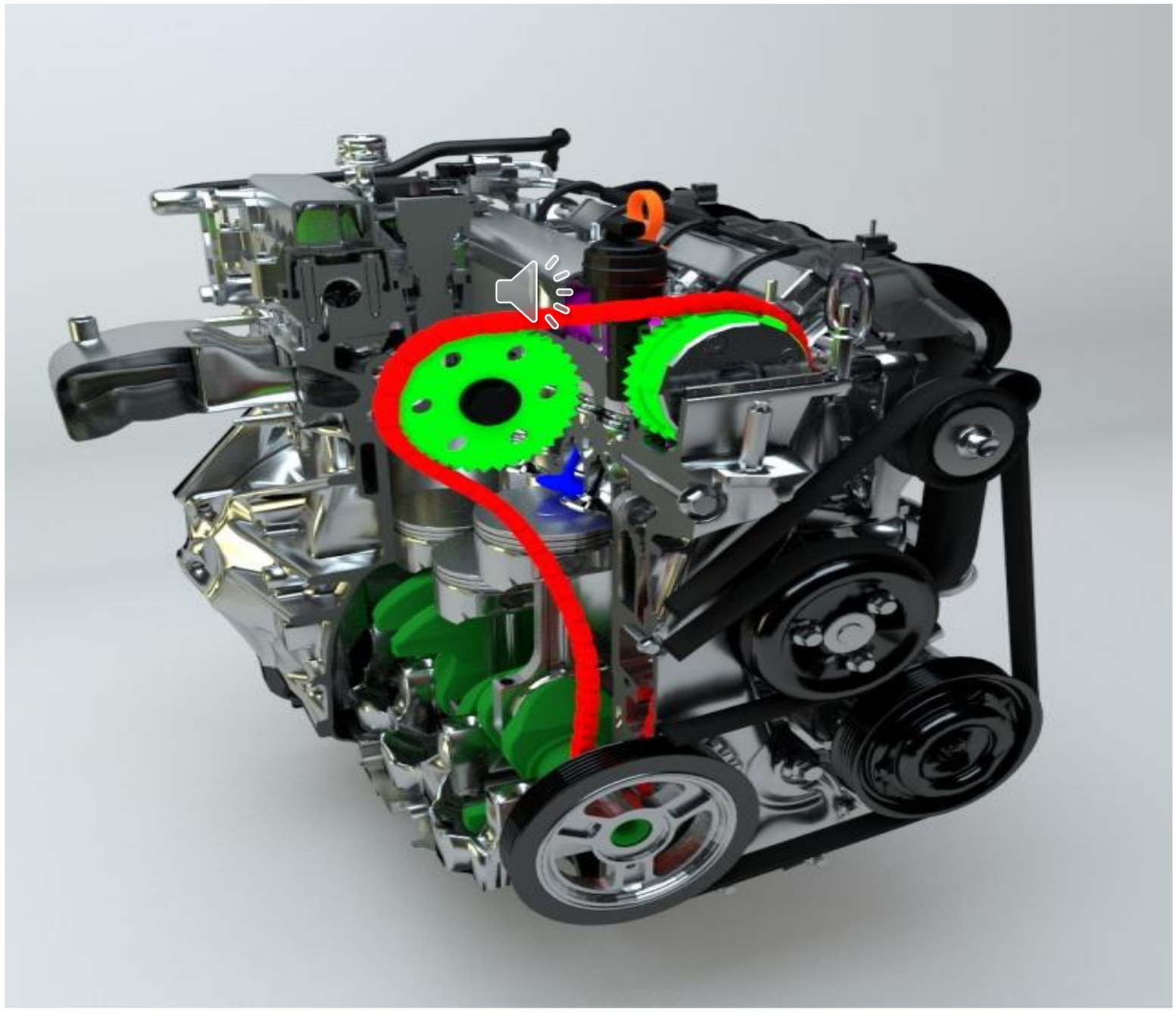
In synchronized rotation with the crankshaft (synchronized by the timing system), the camshaft's role is to move the intake valves (where air and fuel enter) and exhaust valves (where the exhaust gases exit).



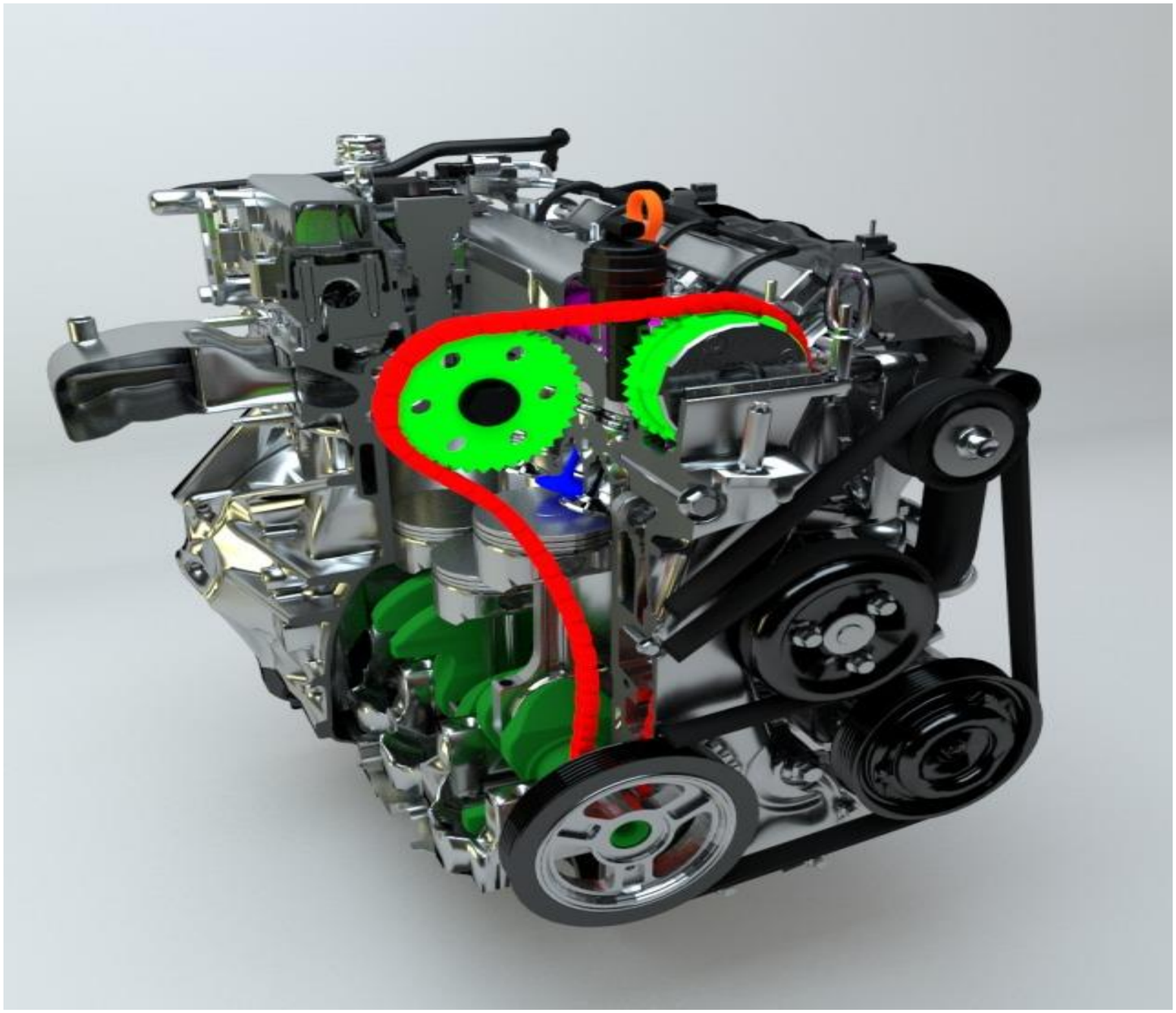
في الدوران المتزامن مع العمود المرفقي (متزامن مع نظام التوقيت) ، يتمثل دور عمود الكامات في تحريك صمامات السحب (حيث يدخل الهواء والوقود) وصمامات العادم (حيث تخرج غازات العادم).



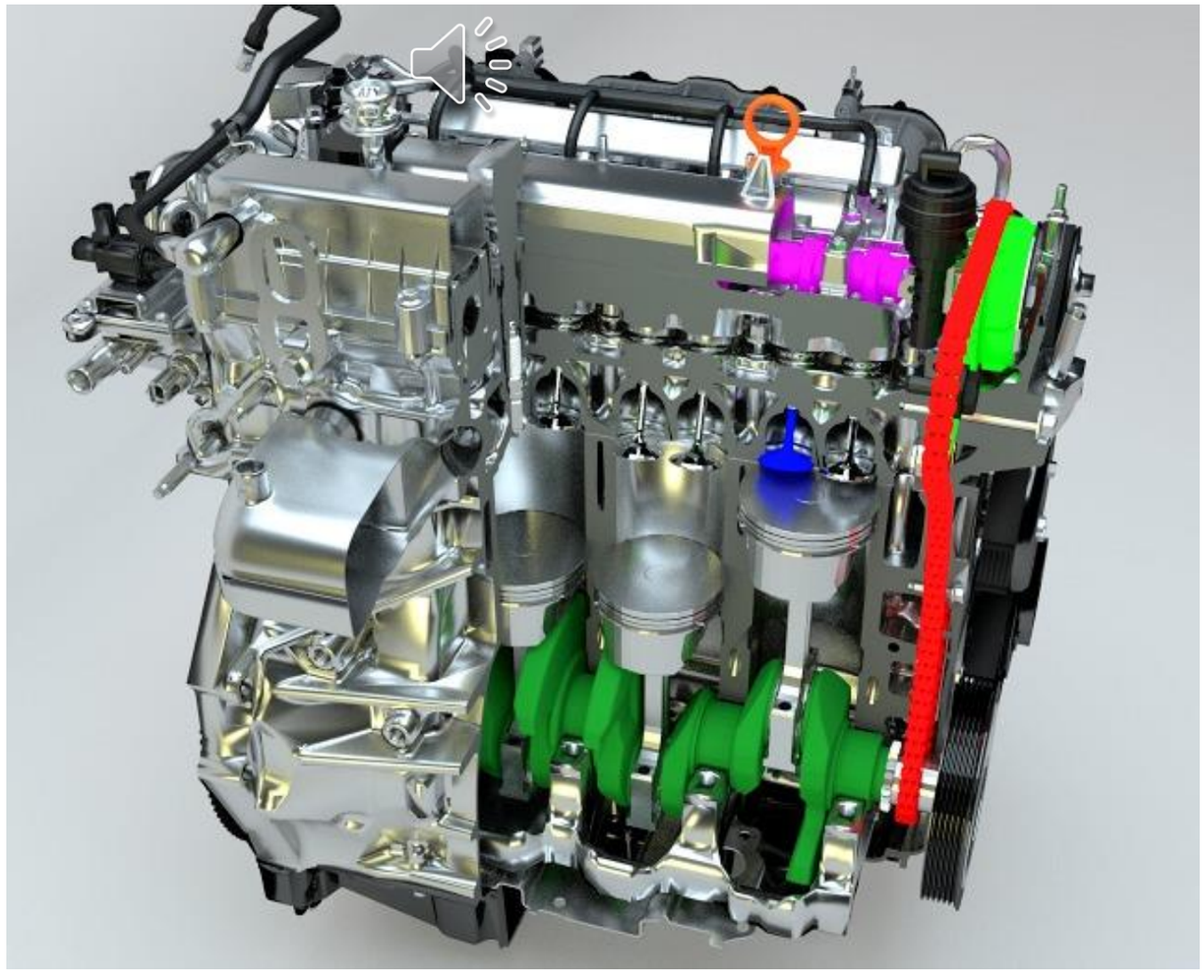
Normally, in "conventional" engines, there is only one pulley (light green) visible. However, in this Mazda engine, it is evident that there are two pulleys, indicating that two camshafts are being actuated.



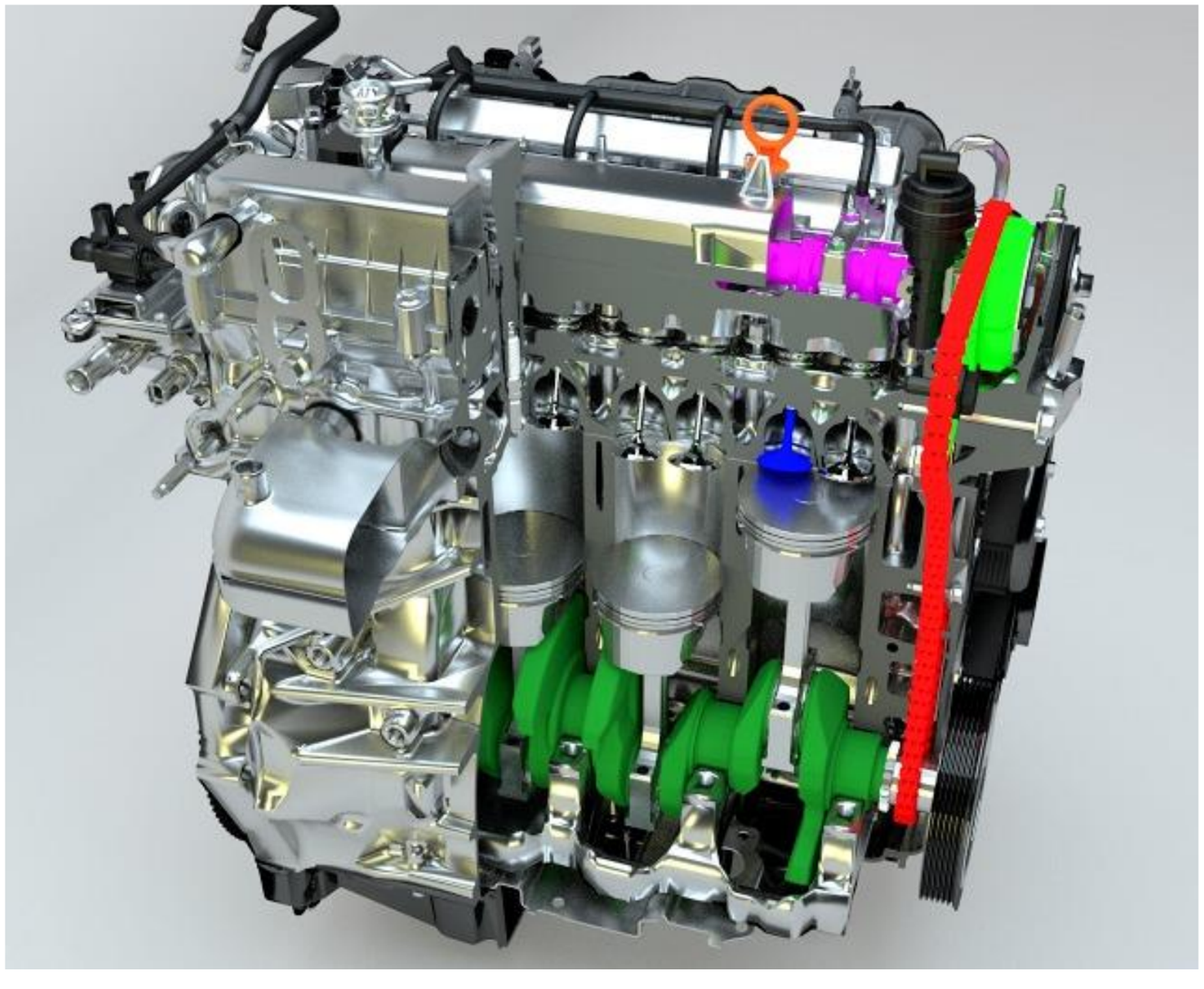
عادة ، في المحركات "التقليدية" ، هناك بكرة واحدة فقط (خضراء فاتحة) مرئية. ومع ذلك ، في محرك Mazdaهذا ، من الواضح أن هناك بكرتين ، مما يشير إلى أنه يتم تشغيل اثنين من أعمدة الكامات.

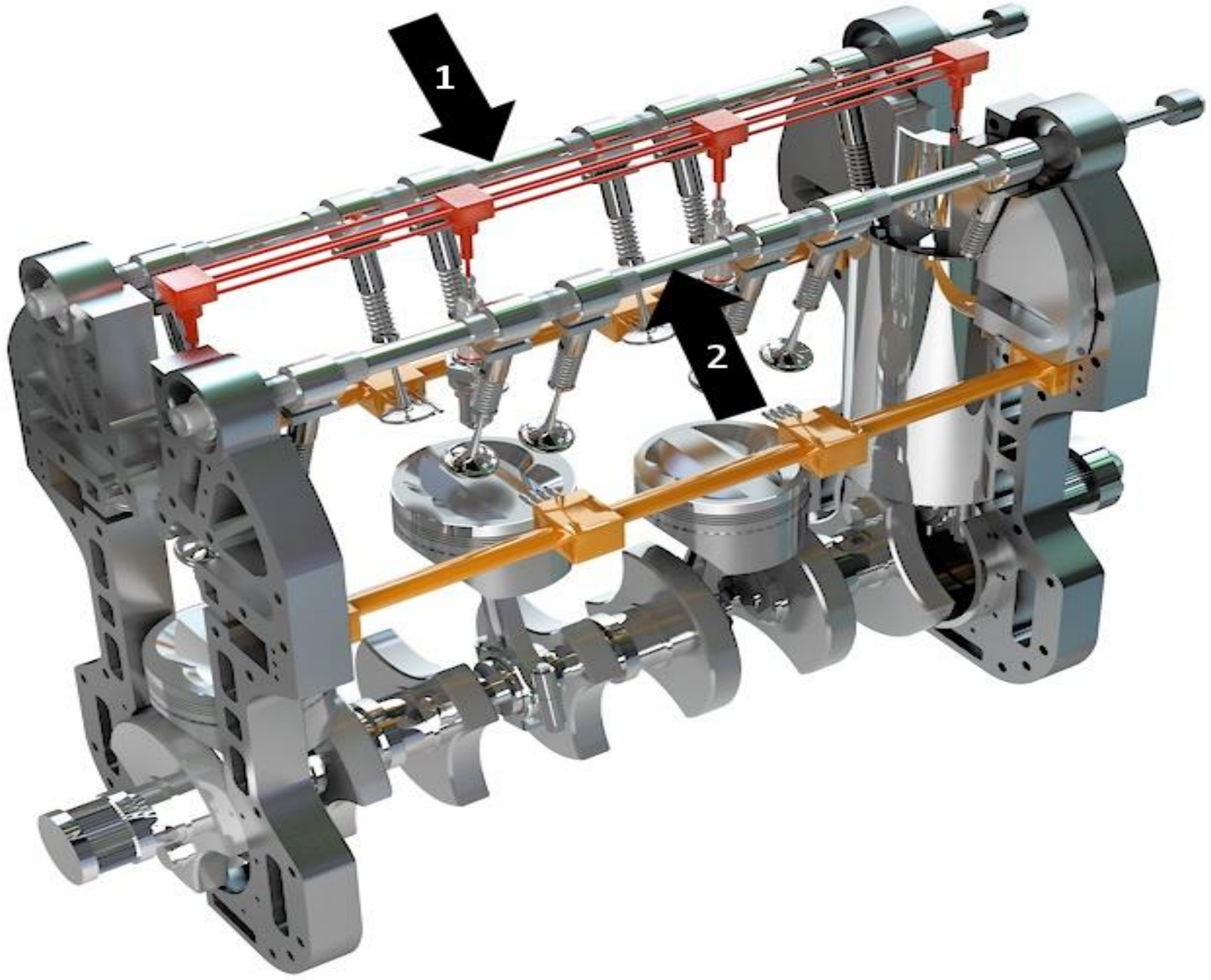


In this other view (moving to the left), we can briefly glimpse one of the two camshafts (in pink). The second one is not visible because it is "cut out" to allow a view inside the engine (you can see the hole where it inserts, take a look). In dark green is the crankshaft, in blue is one of the exhaust valves, and in red is the timing chain. Please note that only the exhaust valves are visible here because the others have been removed for the same reason as the second camshaft.



في هذا المنظر الآخر (الانتقال إلى اليسار) ، يمكننا أن نلمح بإيجاز أحد عمودي الكامات (باللون الوردي). الثانية غير مرئية لأنها "مقطوعة" للسماح برؤية داخل المحرك (يمكنك رؤية الفتحة حيث يتم إدراجها ، ألق نظرة). باللون الأخضر الداكن العمود المرفقي ، باللون الأزرق أحد صمامات العادم ، واللون الأحمر هو سلسلة التوقيت. يرجى ملاحظة أن صمامات العادم هي وحدها المرئية هنا لأنه تمت إزالة الصمامات الأخرى لنفس سبب عمود الكامات الثاني.



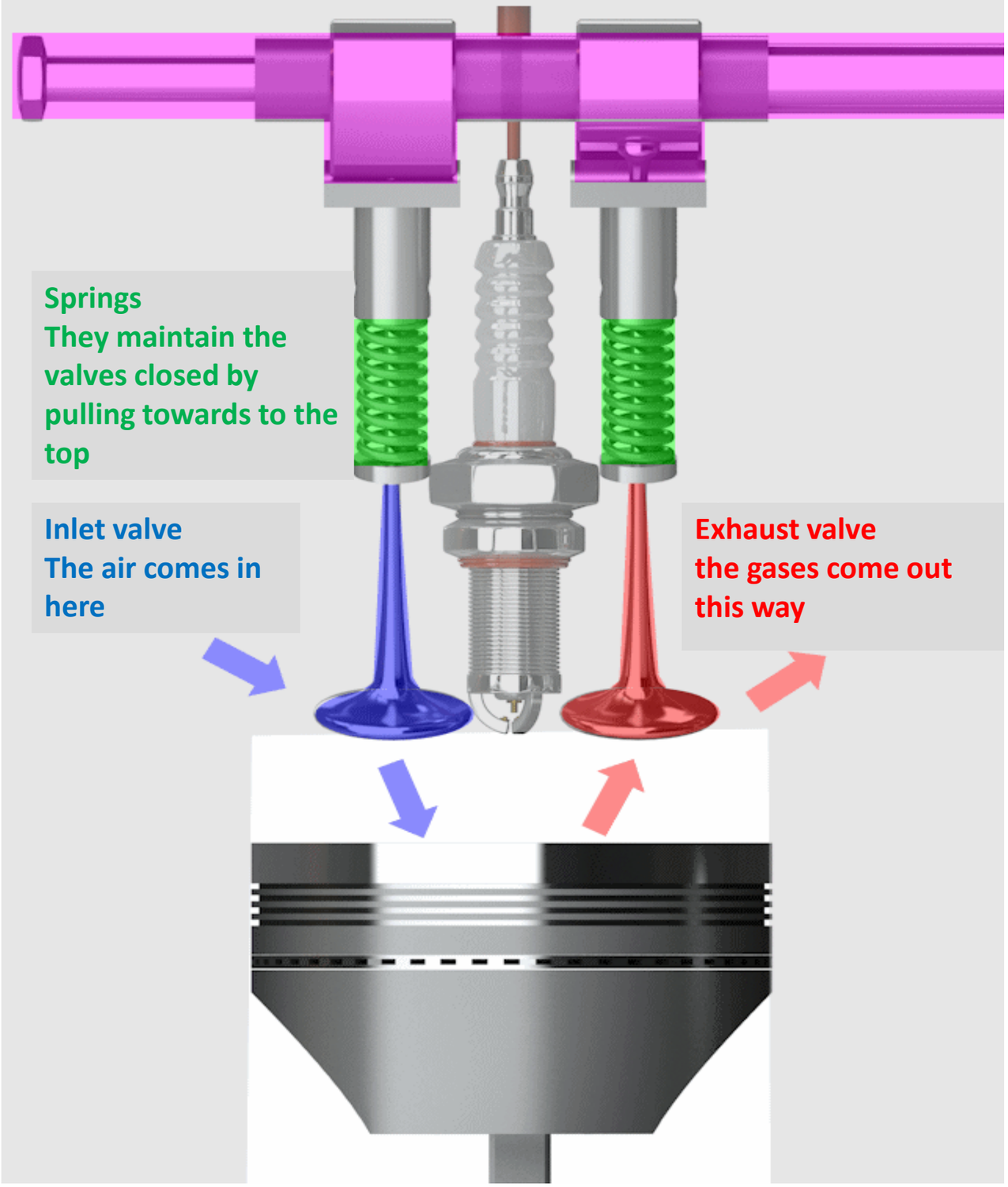

1
2

University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024

VALVE صمام

The camshaft

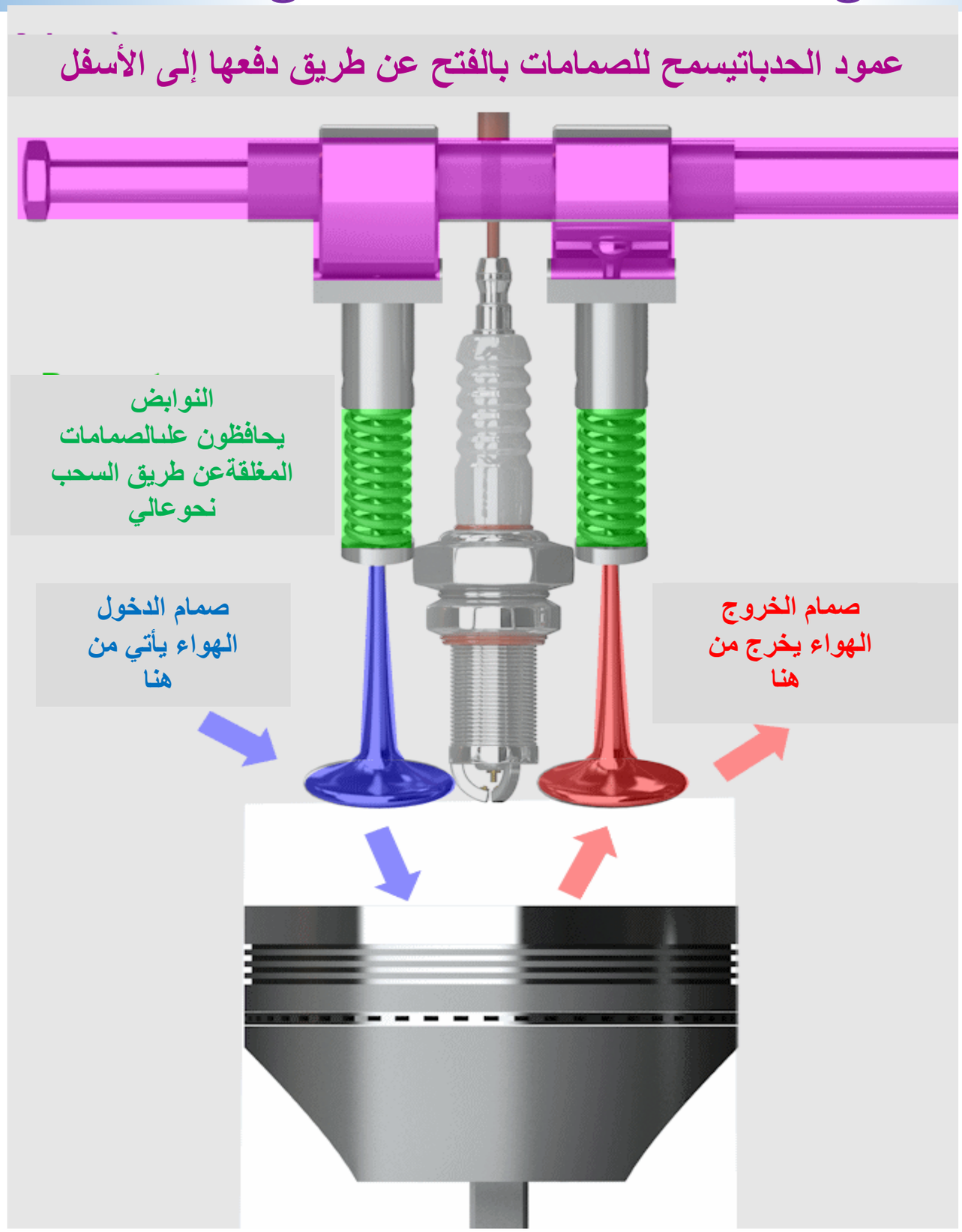
It allows the valves to open by pushing them downwards



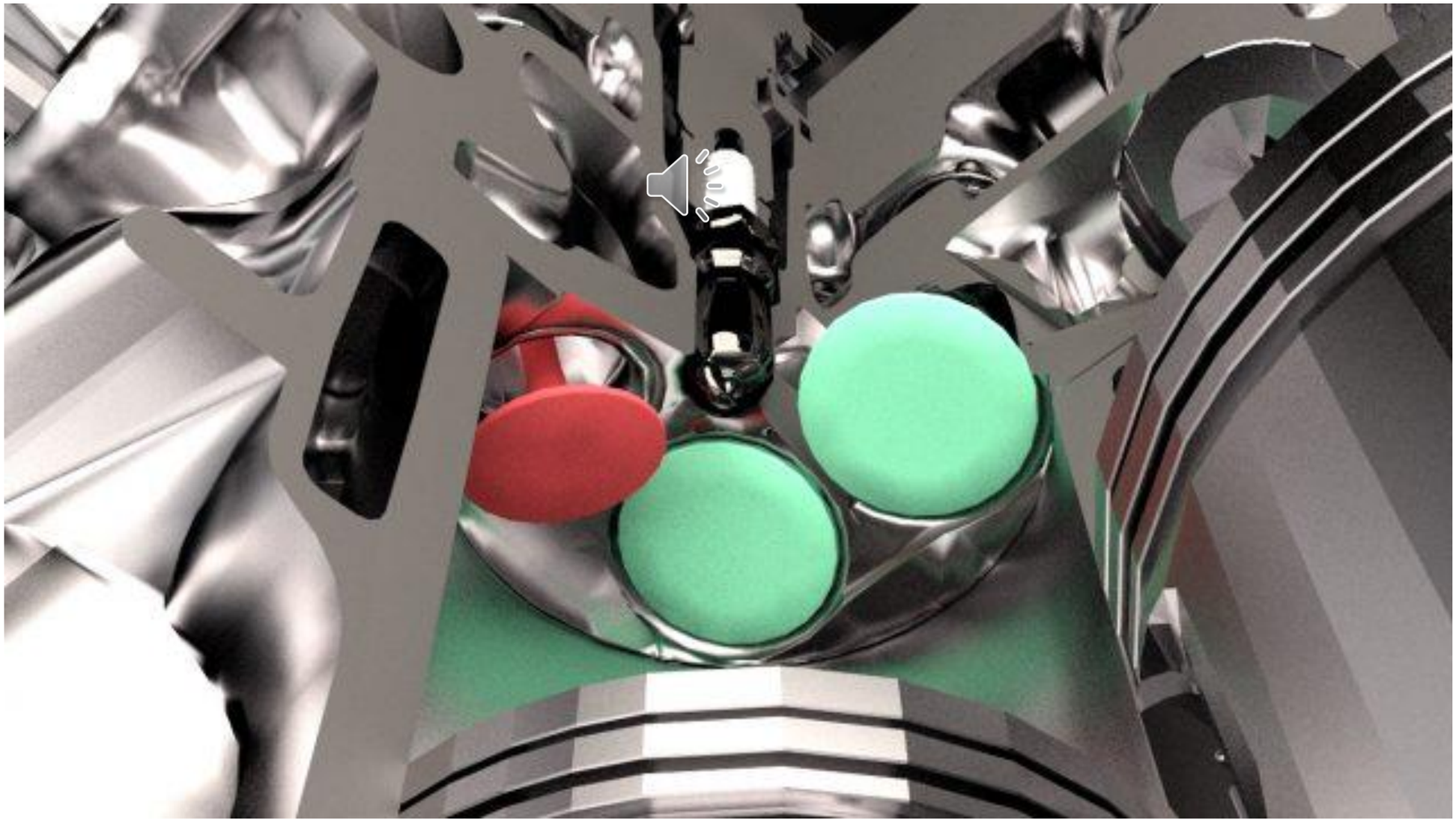
Springs
They maintain the valves closed by pulling towards to the top

Inlet valve
The air comes in here

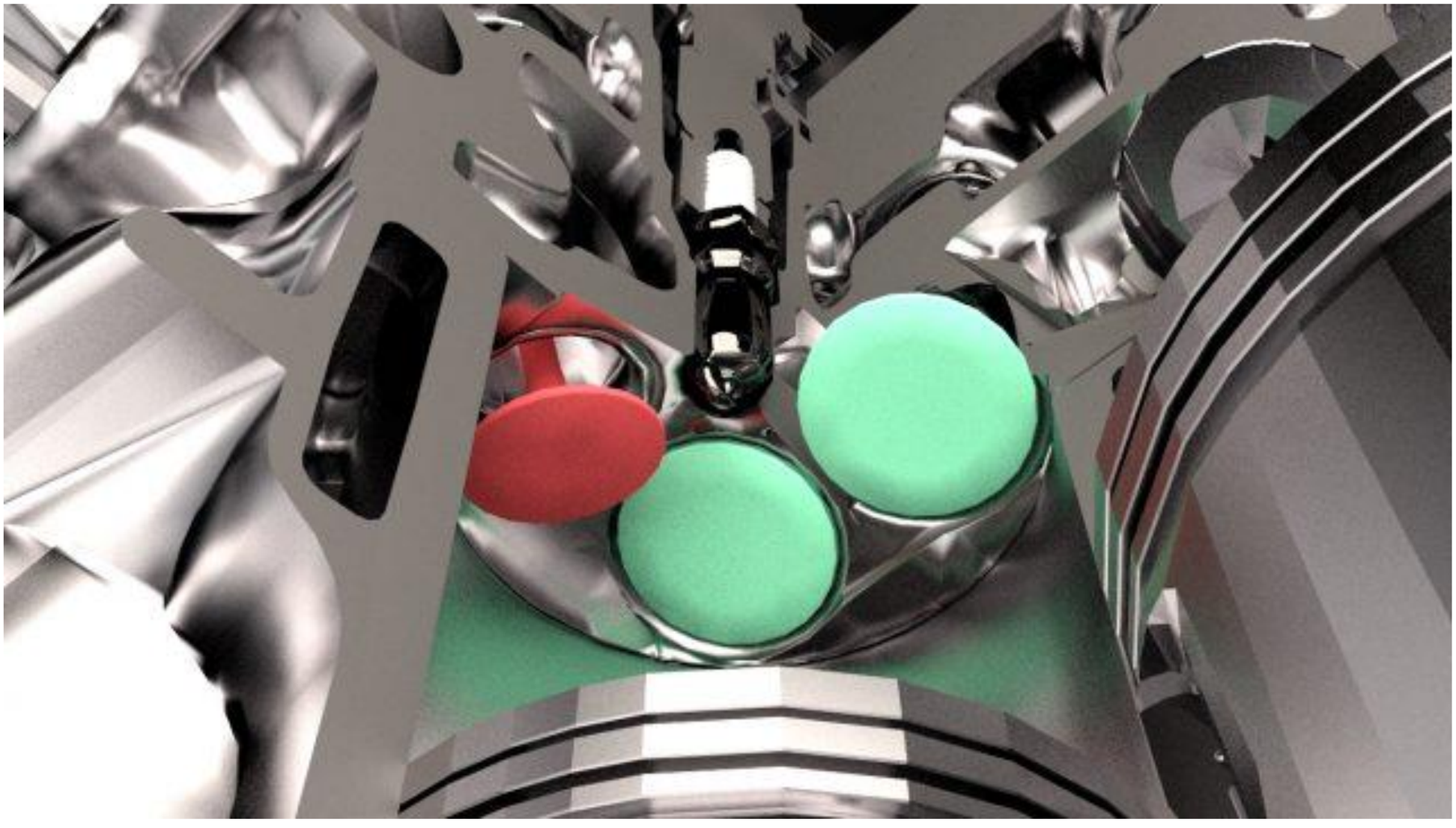
Exhaust valve
the gases come out this way

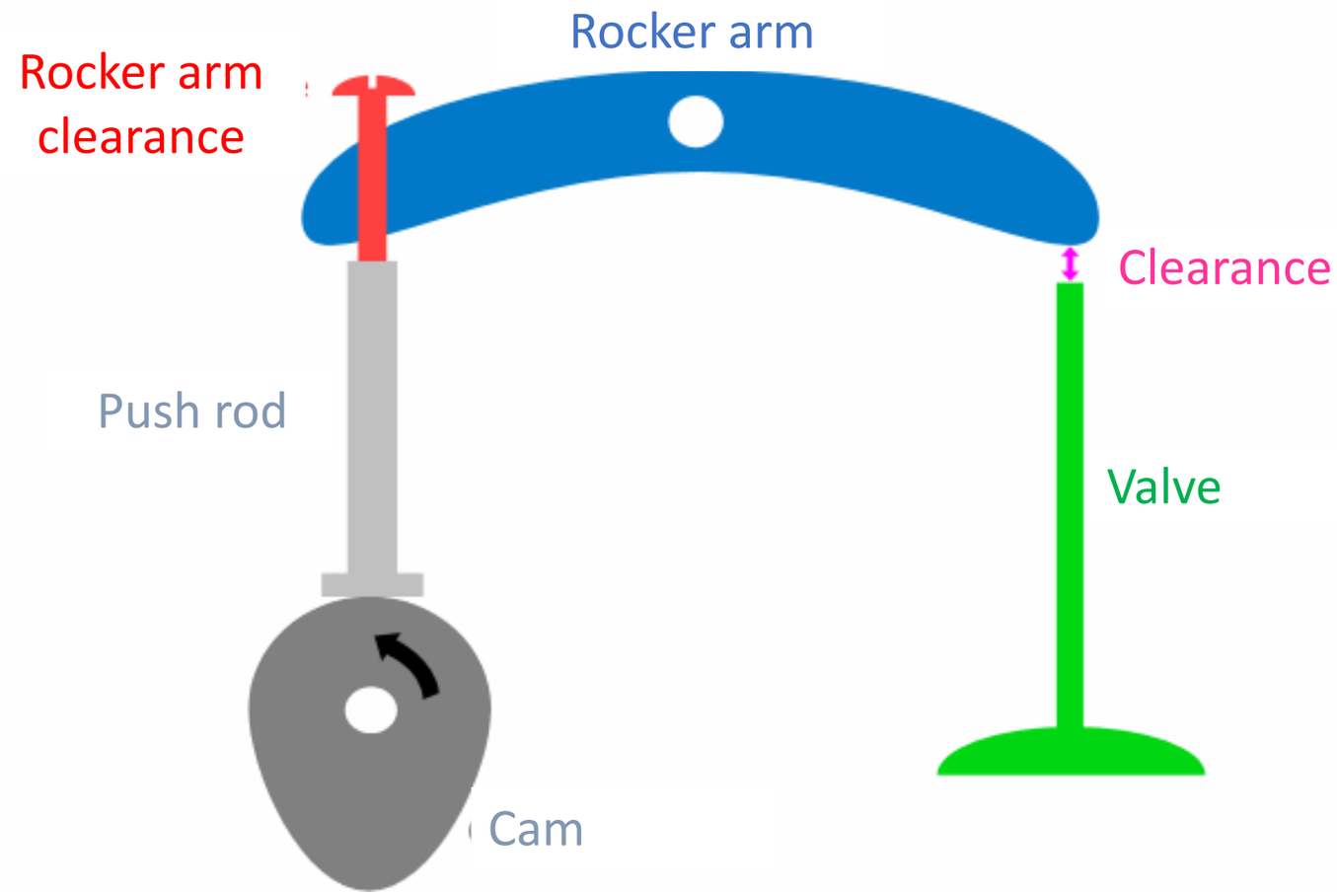

عمود الحدباتيسمح للصمامات بالفتح عن طريق دفعها إلى الأسفل
النوابض
يحافظون علىالصمامات
المغلقةعن طريق السحب
نحوعالي
صمام الدخول
الهواء يأتي من
هنا
صمام الخروج
الهواء يخرج من
هنا

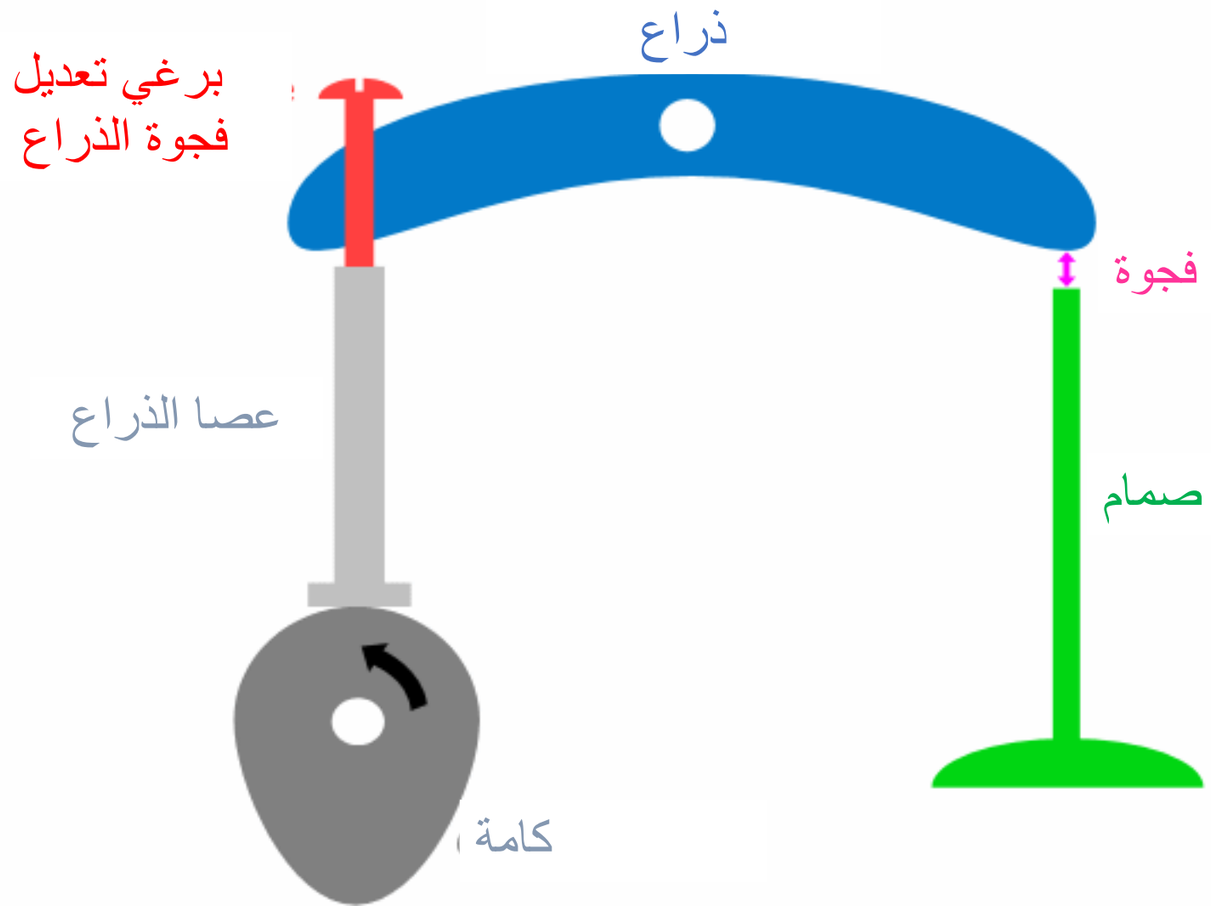
Here we are in the combustion chamber (what is right after the top image). If you only see 3 valves it is because the engine has been cut up to be able to see inside. So there is indeed another red valve that exists in reality. Regarding the colors, the green ones represent the intake valves while the red ones are exhaust valves. We see the spark plug in the middle which indicates that it is a petrol engine (2.0 Mazda).

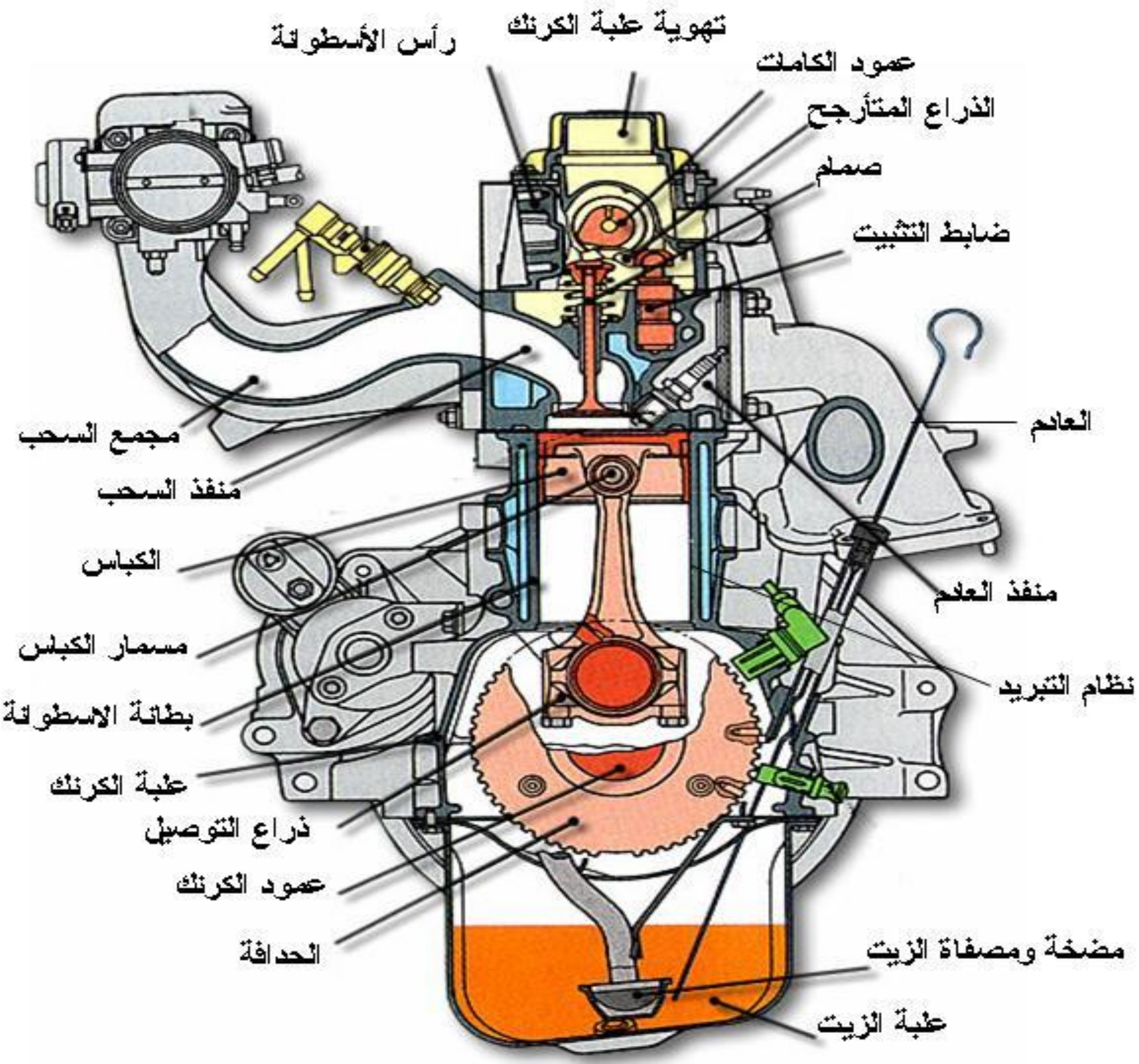


نحن هنا في غرفة الاحتراق (ما بعد الصورة العلوية مباشرة). إذا كان بإمكانك رؤية 3 صمامات فقط ، فهذا يعني أن المحرك قد تم قطعه ليتمكن من رؤية الداخل. لذلك يوجد بالفعل صمام أحمر آخر موجود في الواقع. فيما يتعلق بالألوان ، تمثل الألوان الخضراء صمامات السحب بينما تمثل الأحمر صمامات العادم. نرى شمعة الإشعال في المنتصف مما يدل على أنه محرك بنزين (2.0 Mazda).

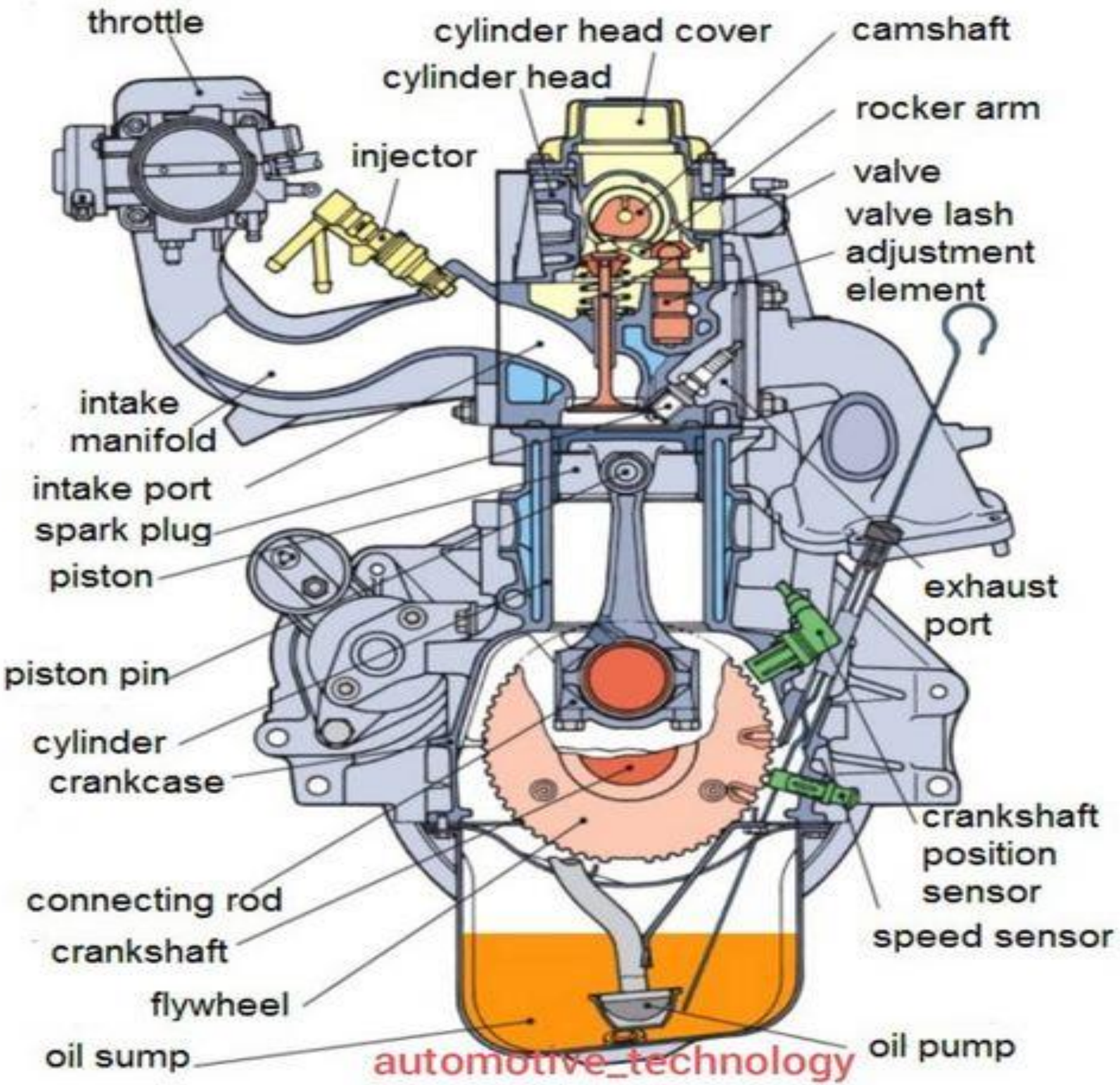



Rocker arm
Rocker arm clearance
Clearance
Push rod
Valve
Cam

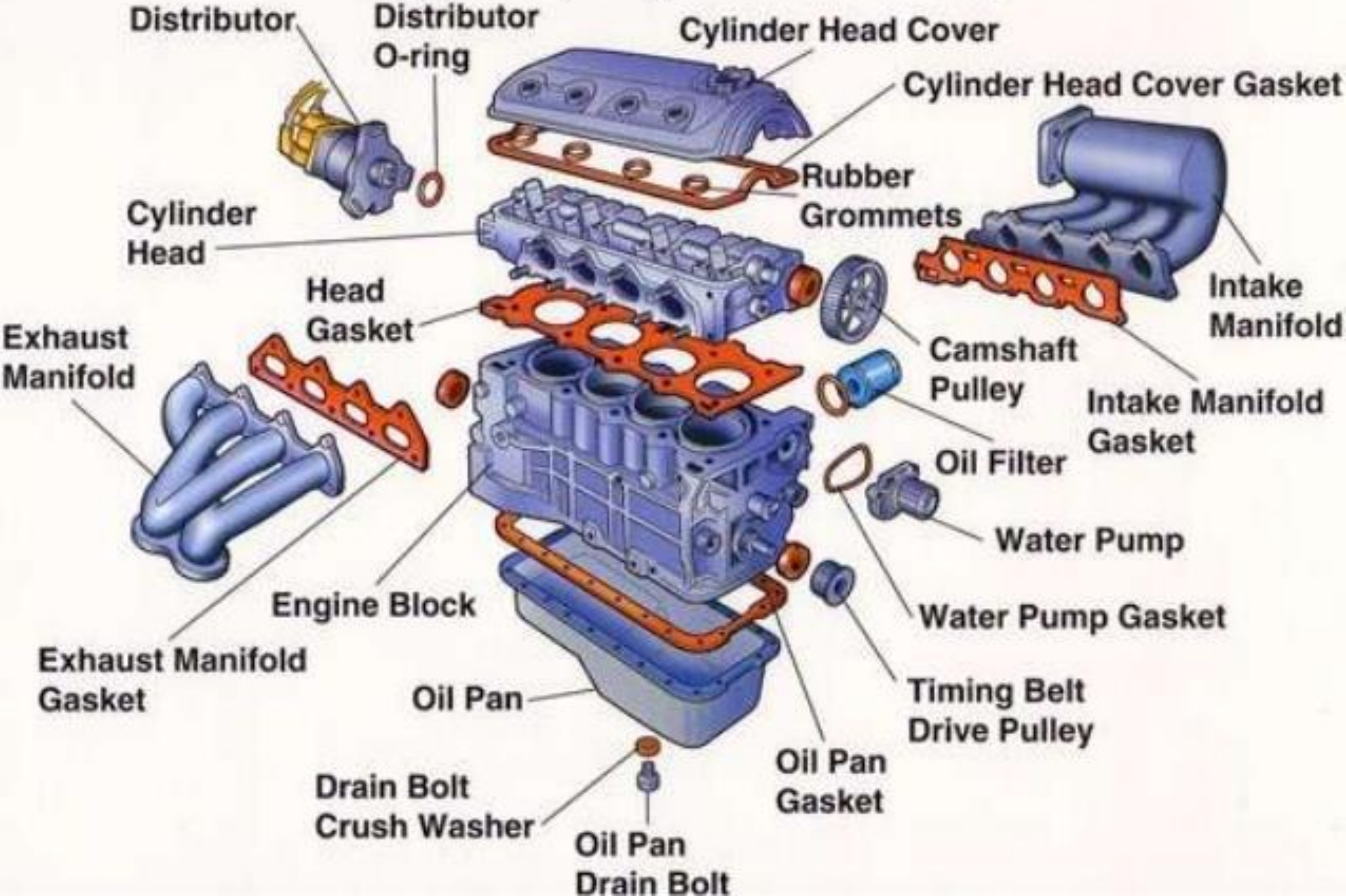

ذراع
برغي تعديل
فجوة الذراع
فجوة
عصا الذراع
صمام
كامة


رأس الأسطوانة
تهوية علبة الكرنك
عمود الكامات
الذراع المتأرجح
صمام
ضابط التثبيت
العادم
مجمع السحب
منفذ السحب
الكباس
مسمار الكباس
بطانة الاسطوانة
علبة الكرنك
ذراع التوصيل
عمود الكرنك
الحدافة
منفذ العادم
نظام التبريد
مضخة ومصفاة الزيت
علبة الزيت

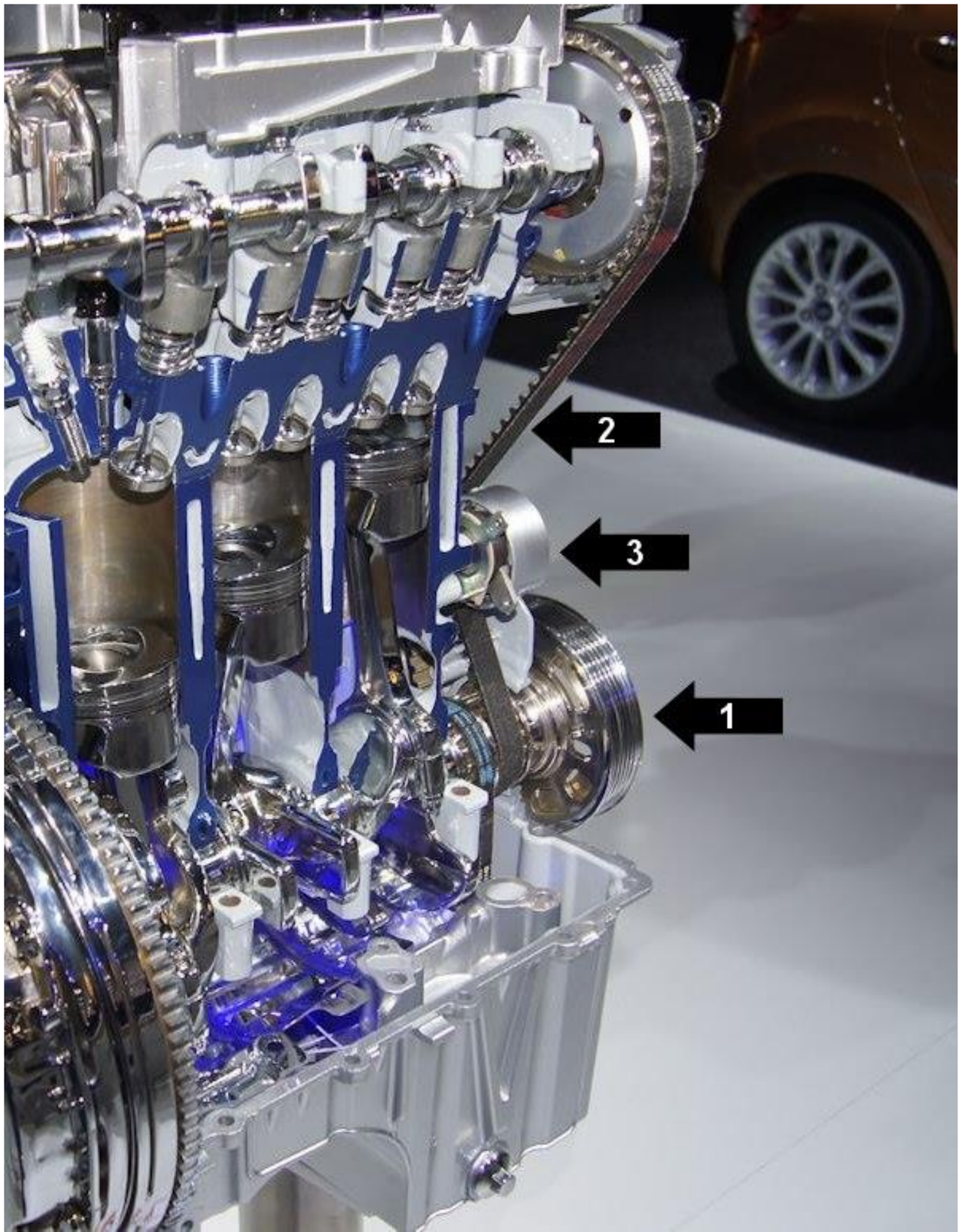
Parts of IC Engine



Engine (Exploded View)

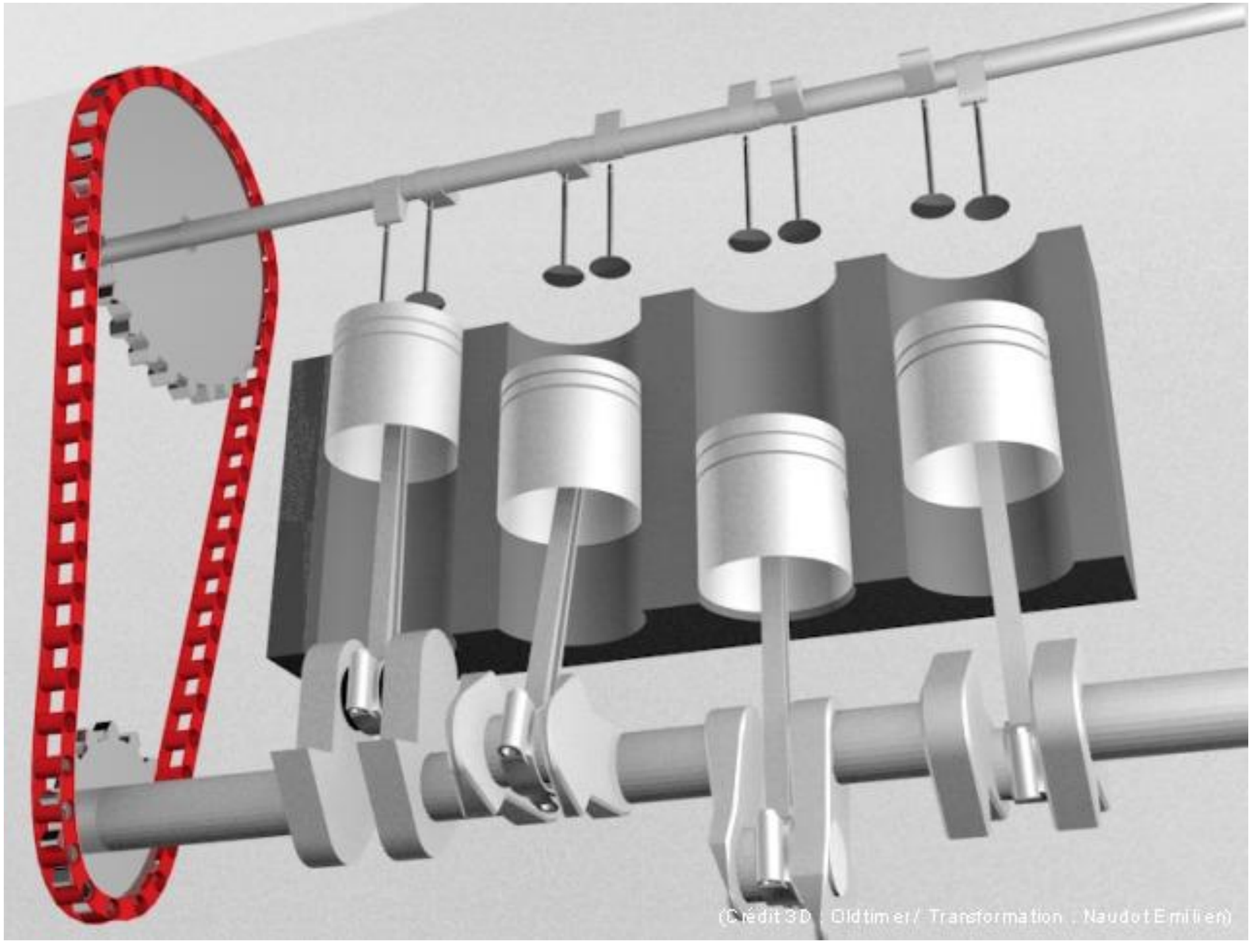


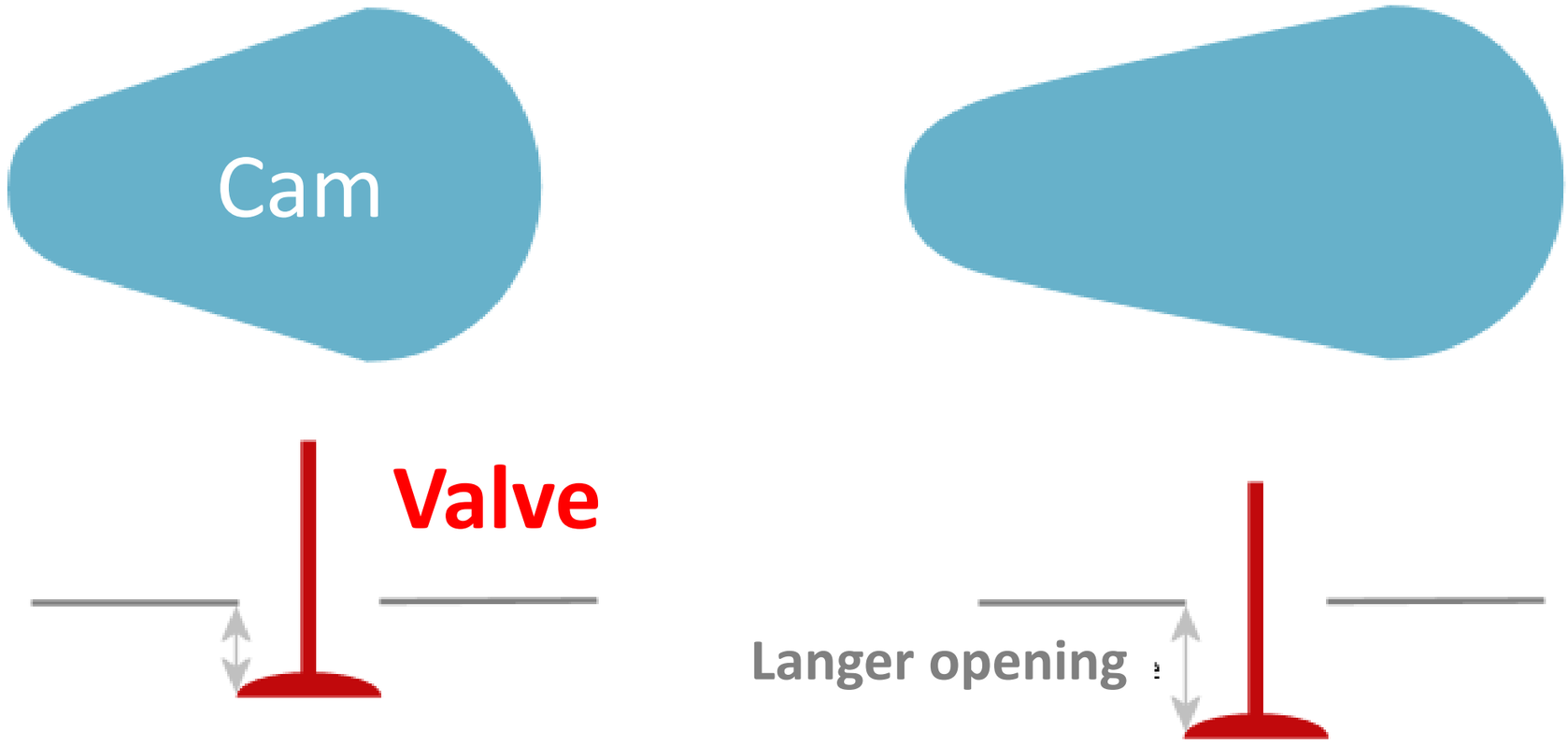
University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024



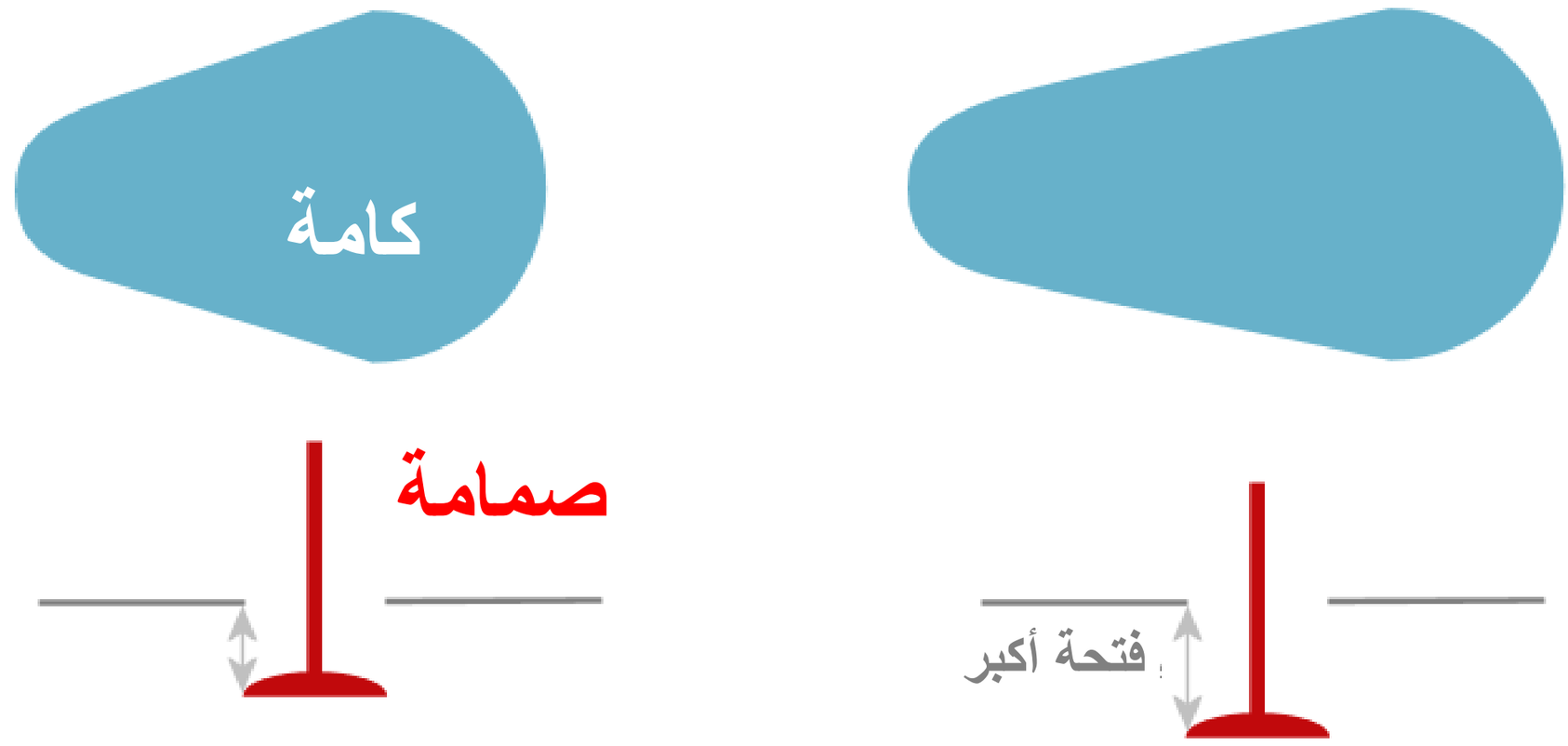
University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024

University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024

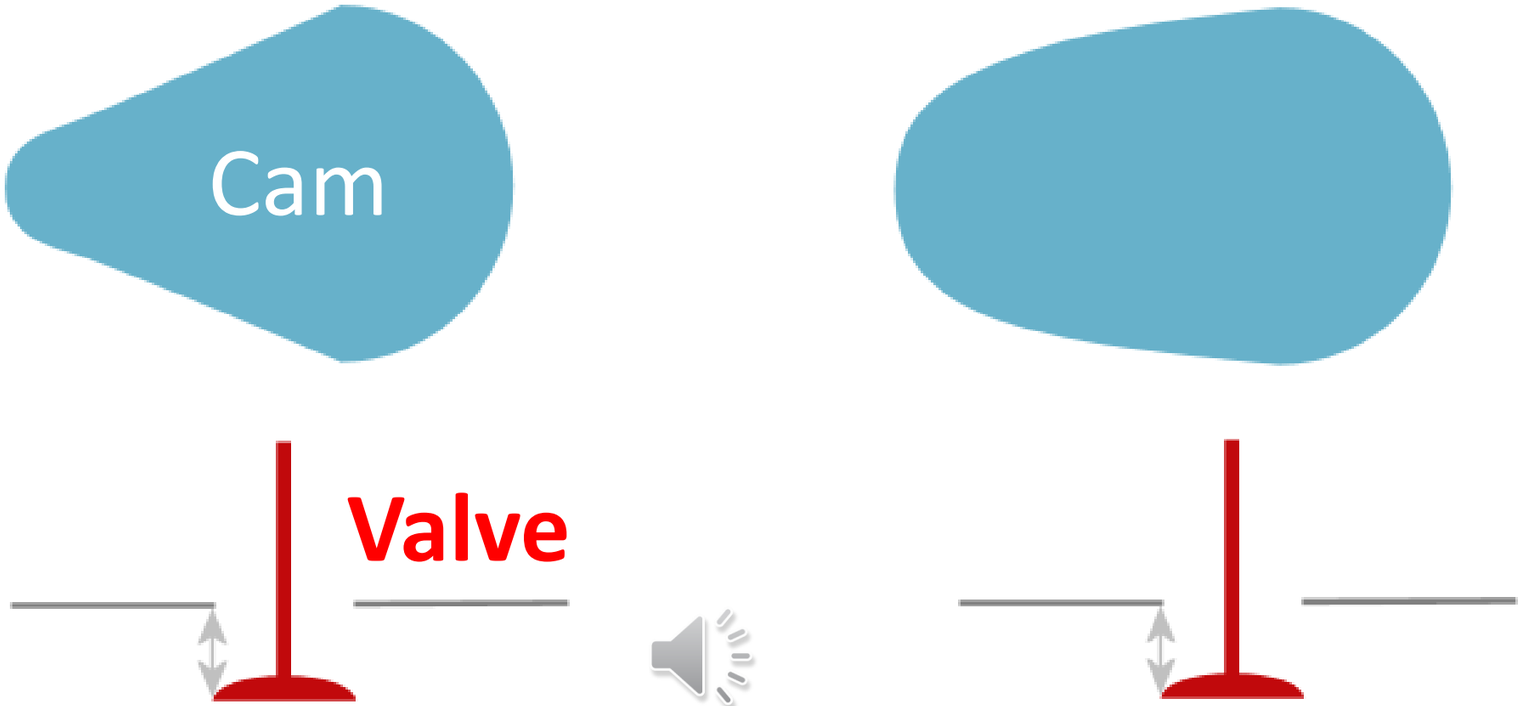




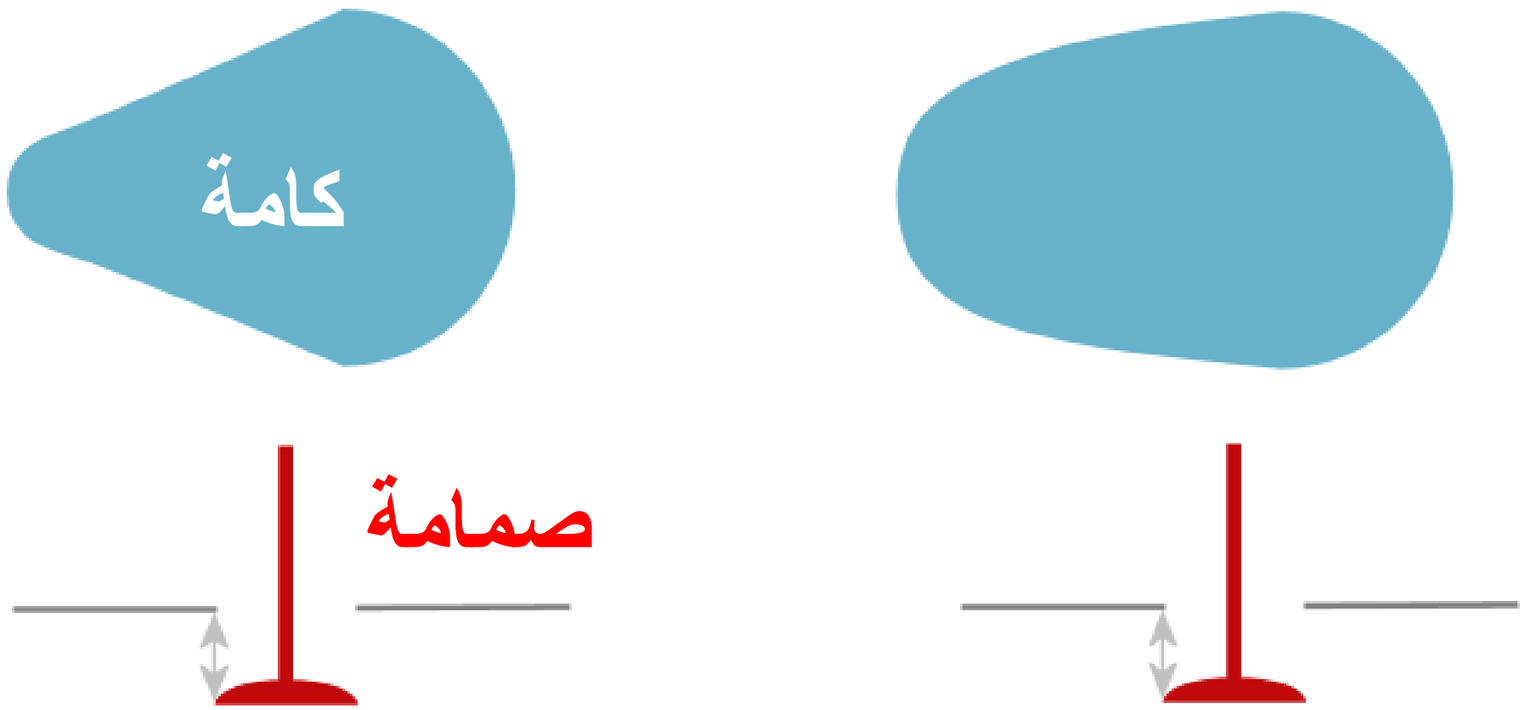
If the tip is the same size but the cam is larger, then the valve will be pushed further down (but the open time will not change).



إذا كانت نهاية الصمام نفس الحجم ولكن المنحدر (الكام) أكبر، فإن الصمام سيتم دفعه بعيدًا بشكل أكبر (لكن زمن الفتح لن يتغير).

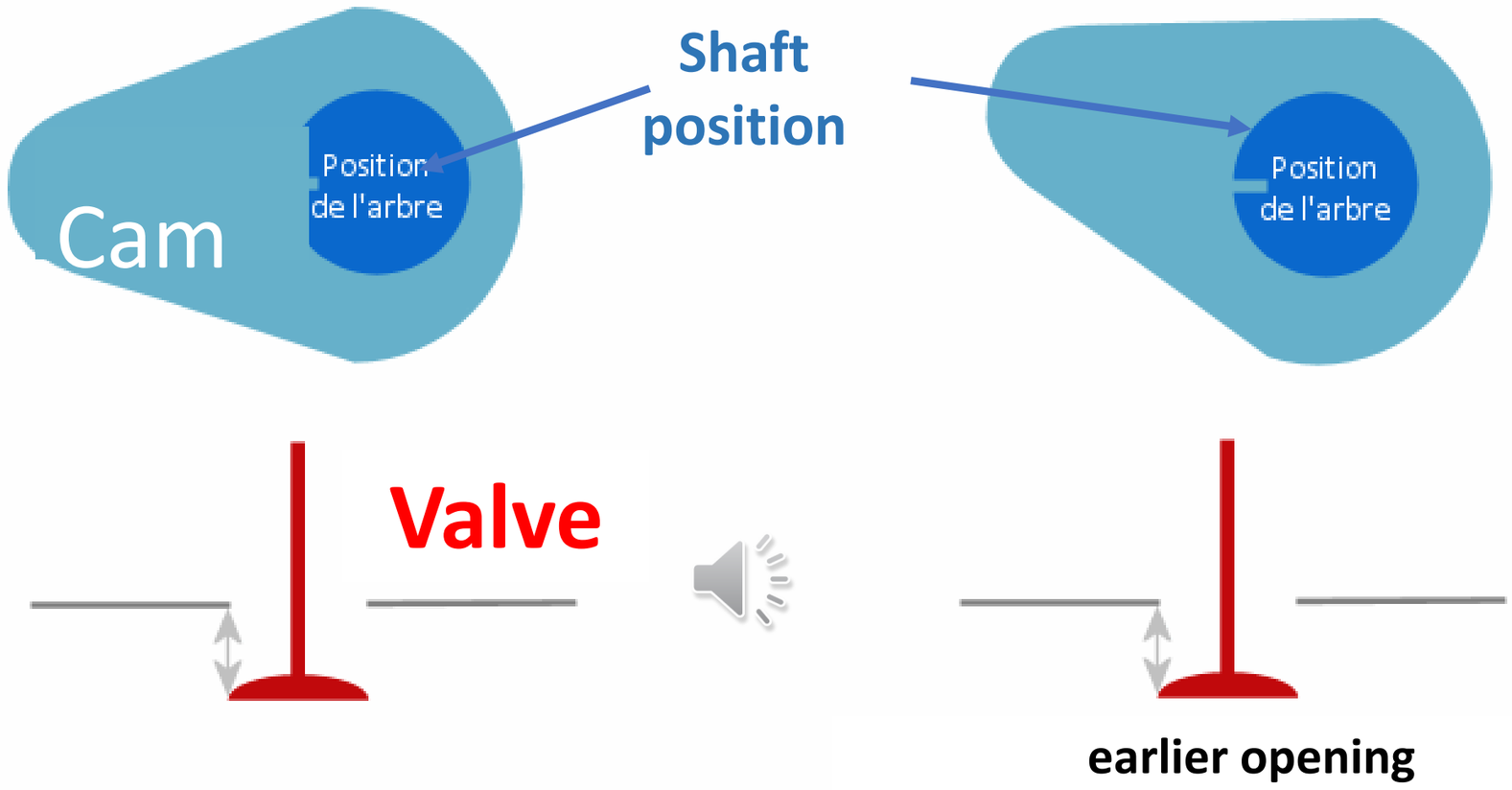


The sharper the cam, the shorter the valve opening duration. In contrast, the cam on the right will inevitably open the valve for a longer duration because its narrower end will be in contact with the valve for a longer time (pressing on the valve for a longer period), resulting in a longer valve opening time.

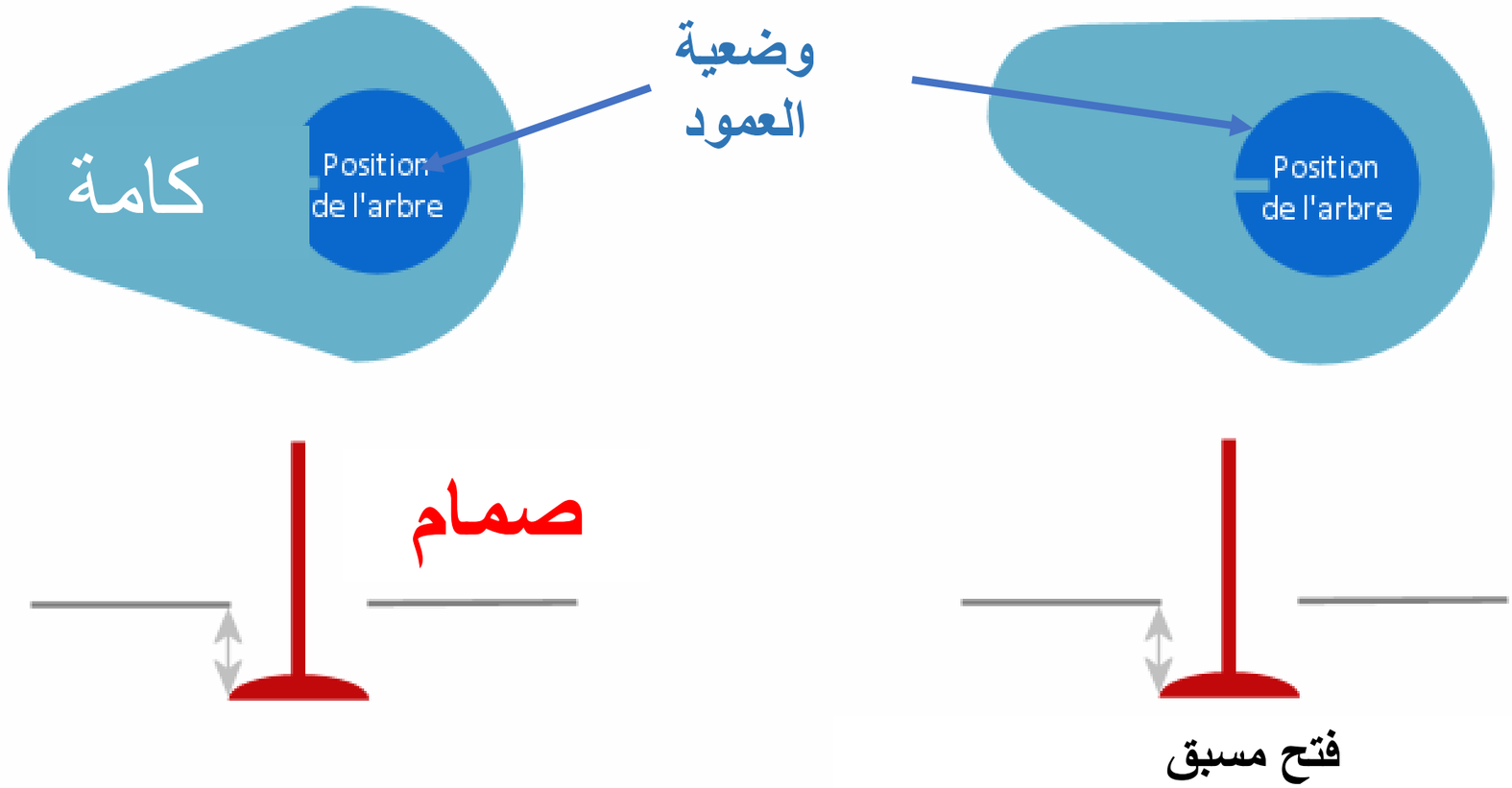


زمن الفتح أطول

كلما كان المنحدر (الكام) أكثر حدة، كلما كانت مدة فتح الصمام أقصر. بالمقابل، فإن المنحدر (الكام) على اليمين سيفتح الصمام بالضرورة لفترة أطول لأن نهاية أضيق ستكون في اتصال مع الصمام لفترة أطول (يضغط على الصمام لفترة أطول)، مما يؤدي إلى زمن فتح أطول للصمام



Here, we are simply adjusting the position of the camshaft relative to the shaft (hence the small mark placed on the axis of the shaft for you to see).



هنا ، نقوم ببساطة بضبط موضع عمود الحدبات بالنسبة للعمود (ومن هنا جاءت العلامة الصغيرة الموضوعة على محور العمود لتراها).

Variable valve timing allows for...

Variable valve timing allows for the modulation of the quantity of air/fuel mixture based on the engine's load, that is, the rotational speed!

Variable valve timing aims to open and close the valves differently depending on the engine's rotational speed. When the engine is operating at lower RPMs, some intake valves will only open partially. On the other hand, at higher RPMs, the valves will open fully to allow a greater flow of air/fuel mixture.

Furthermore, the timing of valve opening and closing is also crucial. Essentially, at lower engine speeds, to optimize certain laws of physics, the intake valves are given a slight "delay" and the exhaust valve is given a slight "advance." This timing adjustment helps improve engine efficiency and performance at different RPM ranges.

يسمح توقيت الصمام المتغير بـ ...

التوقيت المتغير للصمامات يسمح بتعديل كمية الخليط الهواء / الوقود بناءً على حمل المحرك ، أي سرعة الدوران

التوقيت المتغير للصمامات يهدف إلى فتح وإغلاق الصمامات بطريقة مختلفة اعتمادًا على سرعة دوران المحرك. عندما يعمل المحرك بسرعات دوران منخفضة، قد تفتح بعض الصمامات الشخصية جزئيًا فقط. بالمقابل، عندما تكون السرعات الدورانية عالية، ستفتح الصمامات بالكامل للسماح بتدفق أكبر للخليط الهواء / الوقود

بالإضافة إلى ذلك، فإن توقيت فتح وإغلاق الصمامات أمر بالغ الأهمية أيضًا. في الأساس، عند سرعات المحرك المنخفضة، يتم منح الصمامات الشخصية تأخير طفيف لتحسين بعض قوانين الفيزياء، بينما يتم منح الصمام العادم تقدم طفيف. يساعد هذا التعديل في تحسين كفاءة المحرك وأدائه عند مجموعات سرعات دوران مختلفة

1-3 Variable Compression Rate

An MCE-5 engine (from the English "Multi Cycle Engine - 5 parameters") is a combustion engine, more specifically a type of variable compression engine VCR (Variable Compression Ratio)

VCR ("Variable Compression Ratio") engine whose compression ratio varies with engine speed and load by varying the volume of the combustion chamber

These engines have better thermodynamic efficiency due to increased pressure during combustion

3-1 معدل ضغط متغير

محرك) MCE-5من "محرك متعدد الدورات - 5 معلمات") هو محرك احتراق ، وبشكل أكثر تحديدًا نوع من محرك الضغط المتغير) VCRنسبة الضغط المتغيرة)

محرك ") VCRنسبة الضغط المتغيرة") الذي تختلف نسبة ضغطه باختلاف سرعة المحرك والحمل عن طريق تغيير حجم غرفة الاحتراق

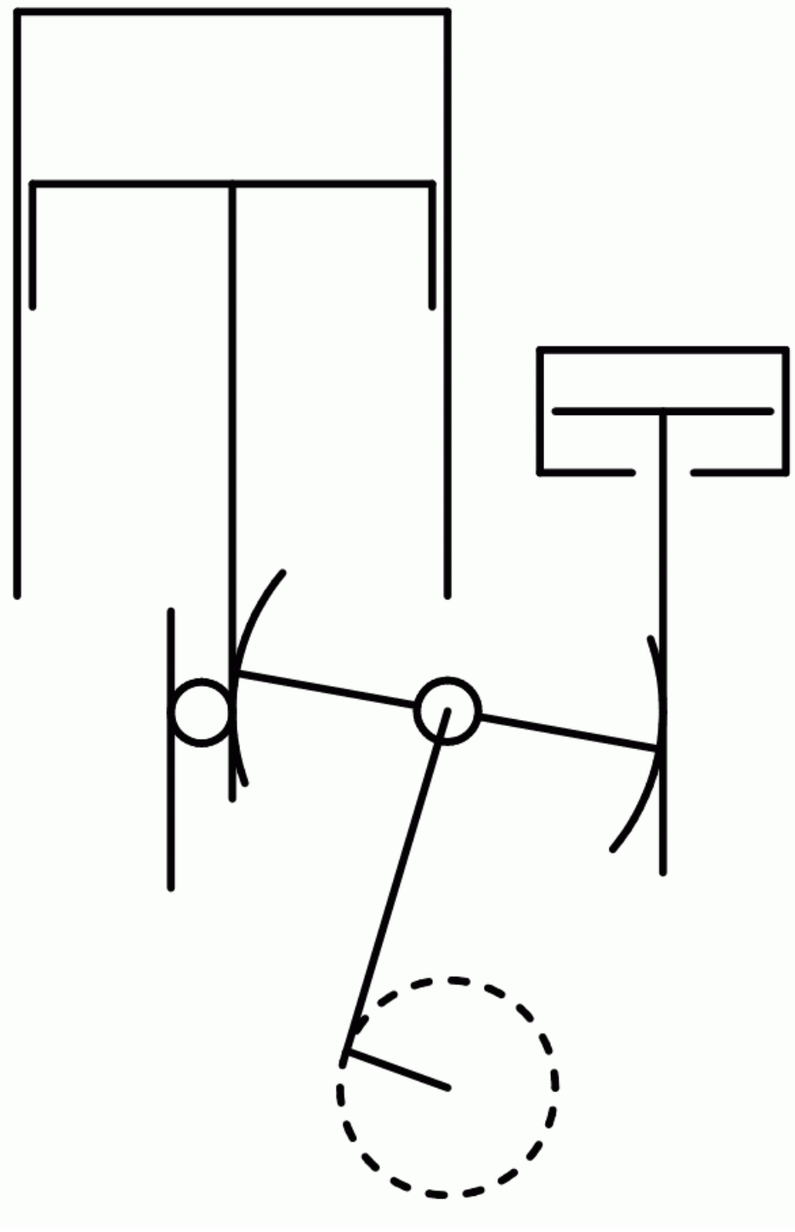
تتمتع هذه المحركات بكفاءة ديناميكية حرارية أفضل بسبب زيادة الضغط أثناء الاحتراق

Principle of the MCE-5 engine.

On the left, a conventional piston of an internal combustion engine.

On the right, the cylinder-piston assembly is a double-acting hydraulic actuator whose movement regulates the compression ratio in the left cylinder.

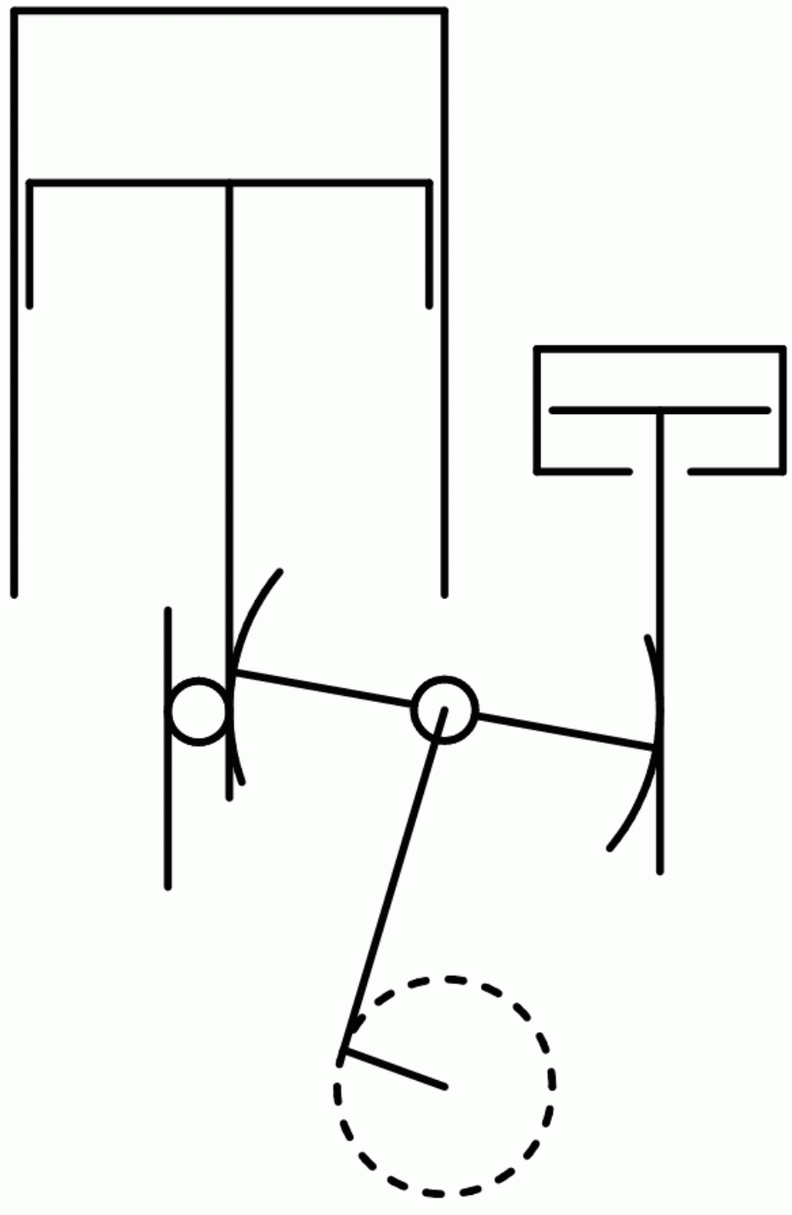
At the bottom, a connecting rod-crank system. The translational movements are converted into rotational motion, and vice versa, by racks and gears.



video

MCE-5. مبدأ محرك

على اليسار مكبس تقليدي لمحرك احتراق داخلي.
على اليمين ، مجموعة مكبس الأسطوانة عبارة عن مشغل هيدروليكي مزدوج المفعول تنظم حركته نسبة الضغط في الأسطوانة اليسرى.
في الجزء السفلي ، ربط نظام قضيب كرنك. يتم تحويل الحركات الترجمية إلى حركة دورانية ، والعكس بالعكس ، عن طريق الرفوف والتروس.



video

1-4 Miller-Atkinson Cycle

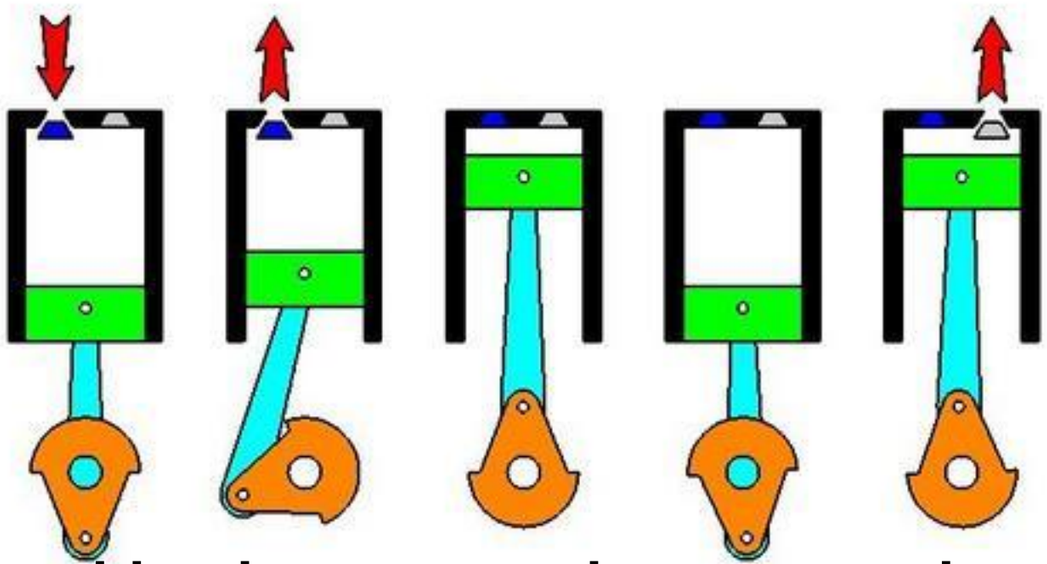
The Atkinson Cycle is a thermodynamic cycle used in an internal combustion engine. It was discovered by James Atkinson in 1882. This cycle, which employs a longer expansion stroke than compression stroke, improves efficiency at the expense of lower power output. It is commonly used in modern hybrid vehicles.

The expansion ratio is greater than the compression ratio, which improves the engine's efficiency compared to the Beau de Rochas cycle. The thermodynamic cycle with extended expansion stroke has been adopted by Toyota for its hybrids and by Mazda for its Sky-Active engines, allowing for a higher compression ratio (14:1) compared to an Otto cycle. This improvement offers better efficiency, reduced fuel consumption, and lower emissions of CO2 and pollutants (NOx, particles).

4-1 دورة ميلر-أتكينسون

دورة أتكينسون هي دورة ديناميكية حرارية تستخدم في محرك الاحتراق الداخلي. اكتشفه جيمس أتكينسون في عام 1882. هذه الدورة ، التي تستخدم شوط تمدد أطول من ضربة الضغط ، تعمل على تحسين الكفاءة على حساب إنتاج طاقة أقل. يستخدم بشكل شائع في المركبات الهجينة الحديثة.

نسبة التمدد أكبر من نسبة الضغط ، مما يحسن من كفاءة المحرك مقارنة بدورة Beau de Rochas.تم اعتماد الدورة الديناميكية الحرارية مع شوط التمدد الممتد من قبل تويوتا من أجل سياراتها الهجينة و Mazdaلمحركات Sky-Active، مما يسمح بنسبة ضغط أعلى (14: 1) مقارنة بدورة أوتو. يوفر هذا التحسين كفاءة أفضل ، واستهلاكًا أقل للوقود ، وانبعاثات أقل لثاني أكسيد الكربون والملوثات (أكاسيد النيتروجين ، والجسيمات).



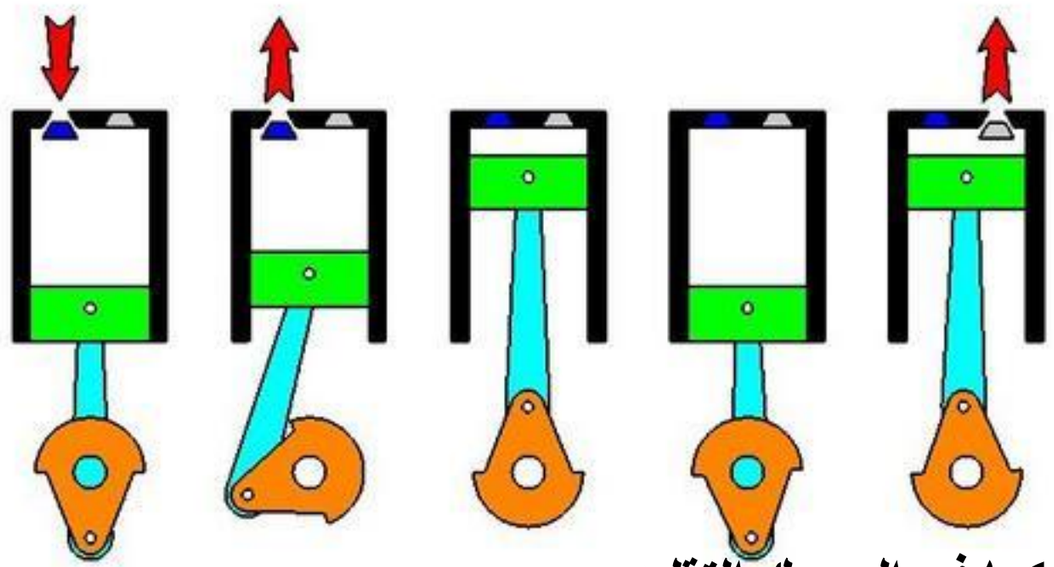
Intake: Everything happens as in a conventional engine.

Compression: As a portion of the mixture has been pushed back, only a fraction of the cylinder volume is compressed.

Expansion: The combustion gases, on the other hand, are expanded throughout the entire piston stroke.

Exhaust: Everything happens as in a conventional engine.

This type of operation, combined with the addition of a compressor at the intake, constitutes the Miller cycle.



سحب الهواء: يحدث كل شيء كما في المحرك التقليدي.

الانضغاط: نظرًا لأن جزءًا من الخليط قد دُفِعَ إلى الوراء، يتم ضغط جزء فقط من حجم الأسطوانة.

التمدد: بالمقابل، تمدد غازات الاحتراق على طول نطاق ضربة المكبس بأكمله.

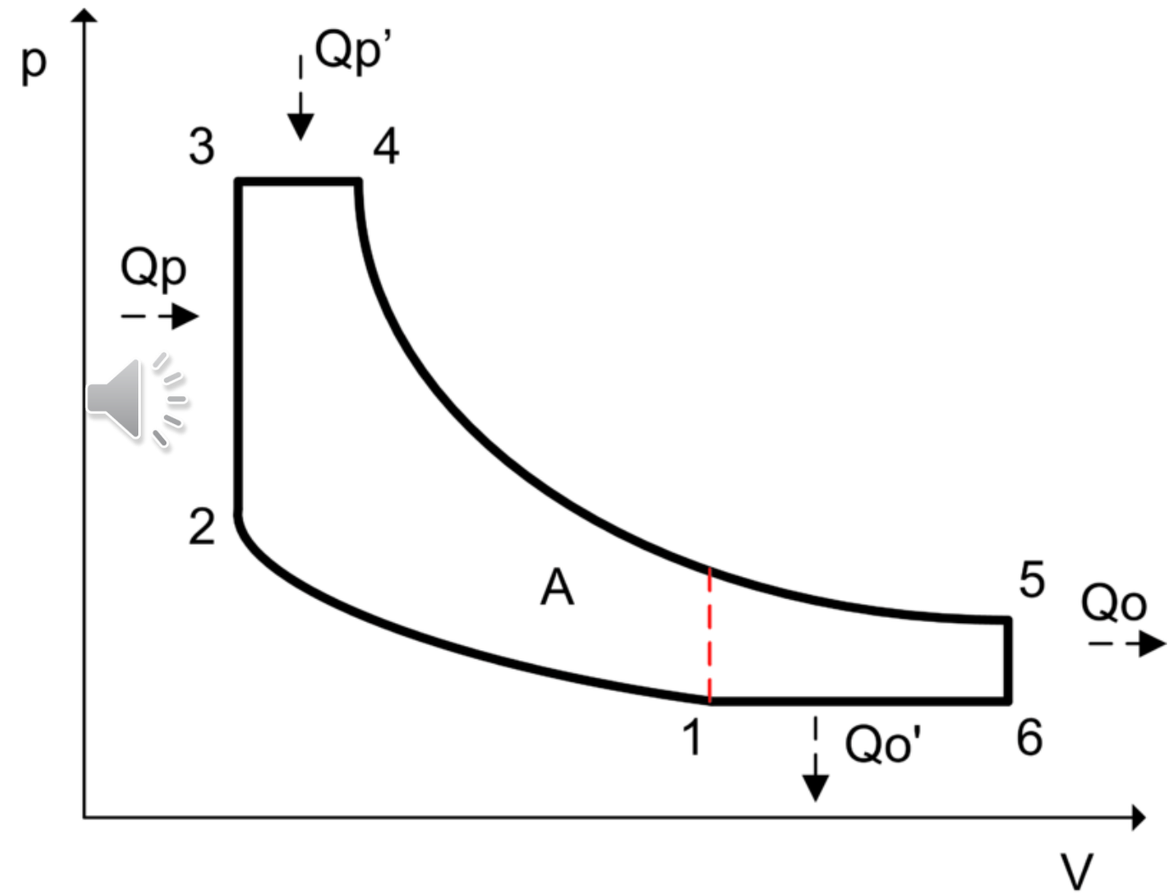
العادم: يحدث كل شيء كما في المحرك التقليدي

هذا النوع من التشغيل، بالاقتران مع إضافة ضاغط عند المدخل، يشكل دورة ميلر (Miller cycle).

The ideal Atkinson cycle.

The ideal Atkinson cycle is composed of the following processes:

1-2 Adiabatic (or isentropic) compression,
2-3 Isochoric heat absorption (pressure increases rapidly, but the piston remains stationary),
3-4 Isobaric heat absorption (combustion continues, and the piston moves),
4-5 Isentropic expansion,
5-6 Isochoric heat release,
6-1 Isobaric heat release.



الدورة الأتكنسون النموذجية.

الدورة الأتكنسون النموذجية تتألف من مراحل التالية:

2-1 الضغط المضغوط النموذجي أو الانضغاط النموذجي،

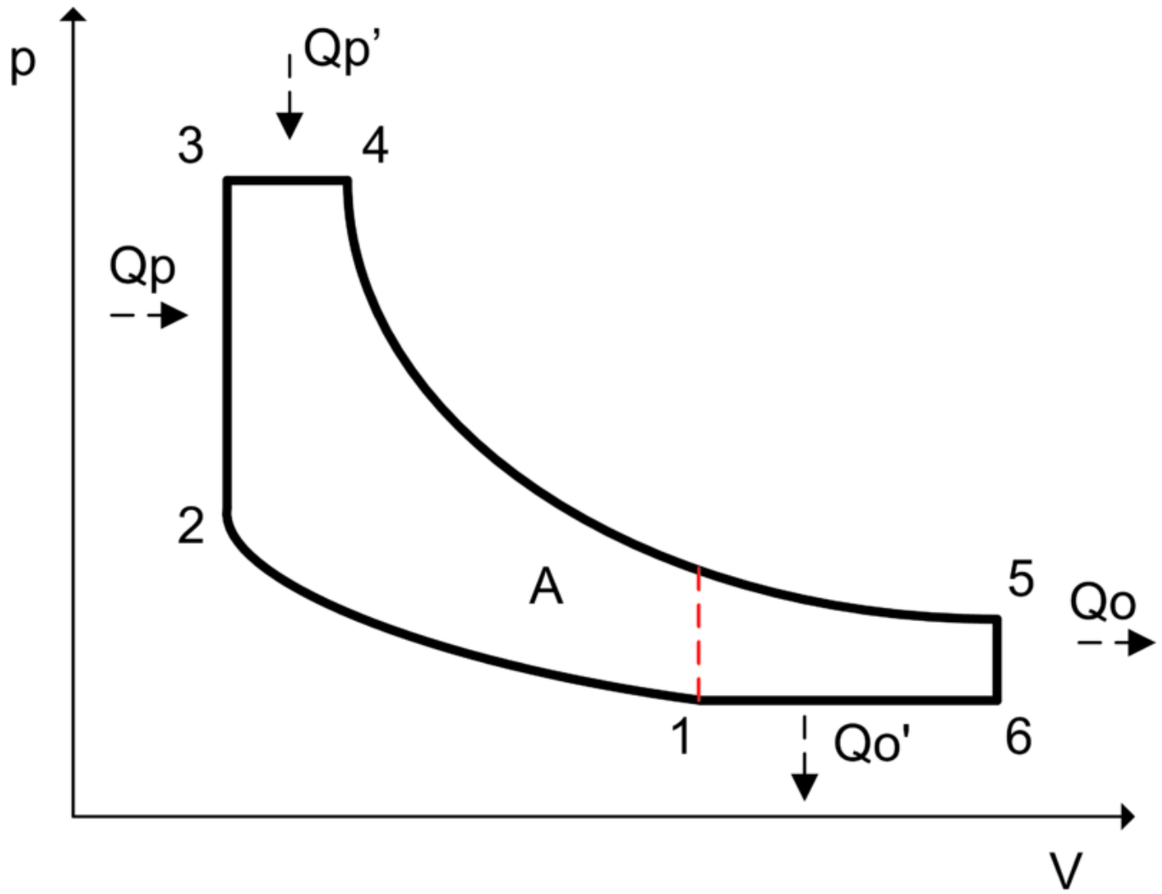
3-2 امتصاص الحرارة بحجم ثابت، حيث يزداد الضغط بسرعة لكن المكبس لم يبدأ بالحركة بعد؛

4-3 امتصاص الحرارة بضغط ثابت، حيث تستمر الاحتراق ويبدأ المكبس بالتحرك؛

5-4 التوسع النموذجي،

6-5 تحرر الحرارة بحجم ثابت،

1-6 تحرر الحرارة بضغط ثابت



Difference between the Atkinson cycle and the Otto cycle.

In the Otto cycle, the intake of the air/fuel mixture.

The intake valve opens at TDC (Top Dead Center) and closes at BDC (Bottom Dead Center).

In the Atkinson cycle, the intake valve closes after BDC, thus pushing back a portion of the mixture into the intake manifold. As a result, less mixture and less fuel are needed to complete a cycle. The compression of the engine is also lower due to the smaller volume of air being compressed.

The main drawback of a four-stroke engine with an Atkinson cycle is its reduced power output compared to a conventional Beau de Rochas cycle. This is because the Atkinson cycle admits less air and, consequently, less fuel.

الفرق بين دورة أتكنسون ودورة أوتو:

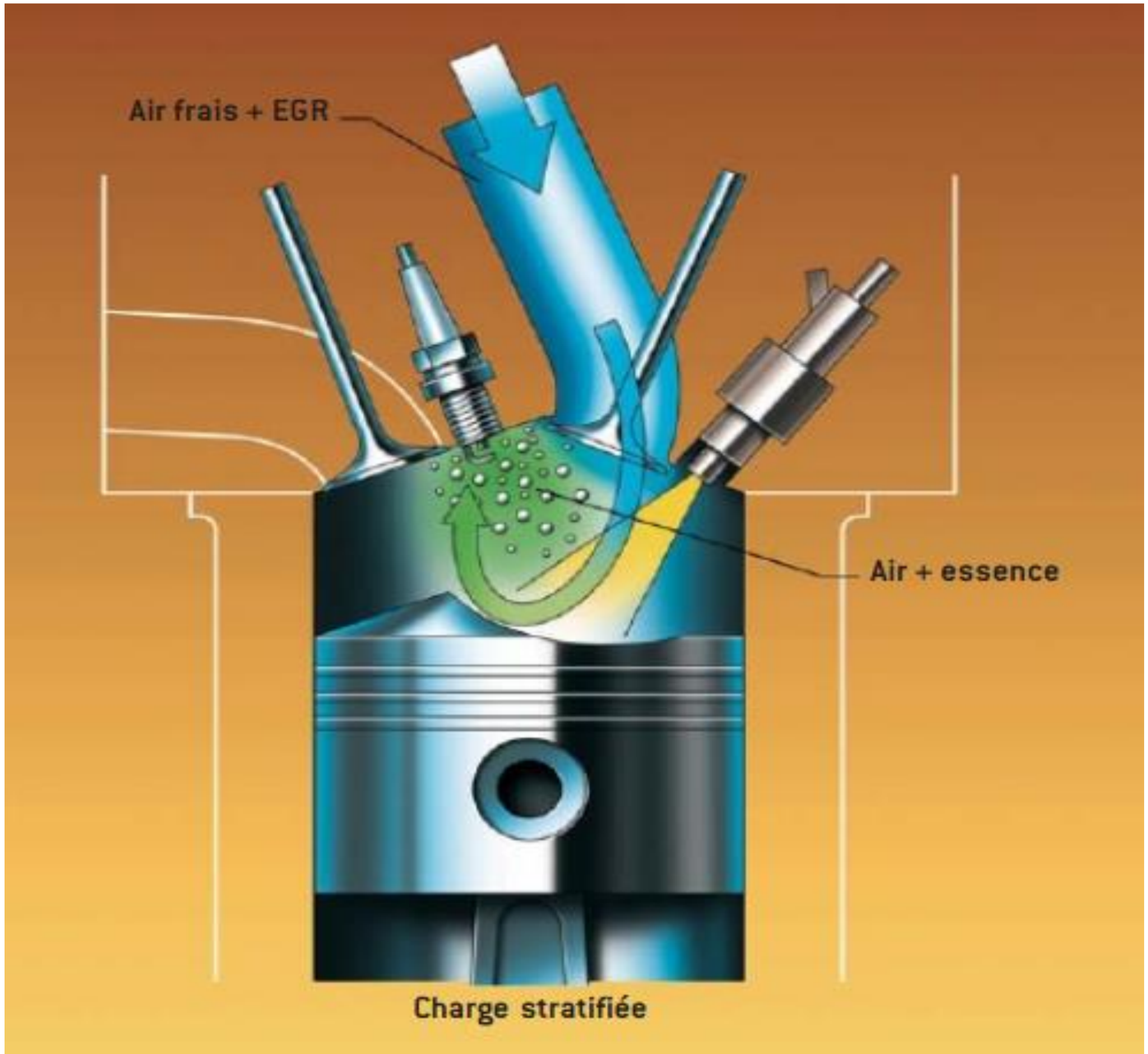
في دورة أوتو، يحدث امتصاص خليط الهواء / الوقود. تفتح صمام السحب عند TDC (أعلى نقطة للمكبس) وتغلق عند BDC (أسفل نقطة للمكبس).

في دورة أتكنسون، يتم إغلاق صمام السحب بعد BDC، مما يدفع جزءًا من الخليط إلى مجمع السحب. نتيجة لذلك، يكون هناك حاجة إلى كمية أقل من الخليط والوقود لاستكمال دورة واحدة. يكون ضغط الضاغط في المحرك أقل أيضًا بسبب حجم الهواء الأقل المضغوط.

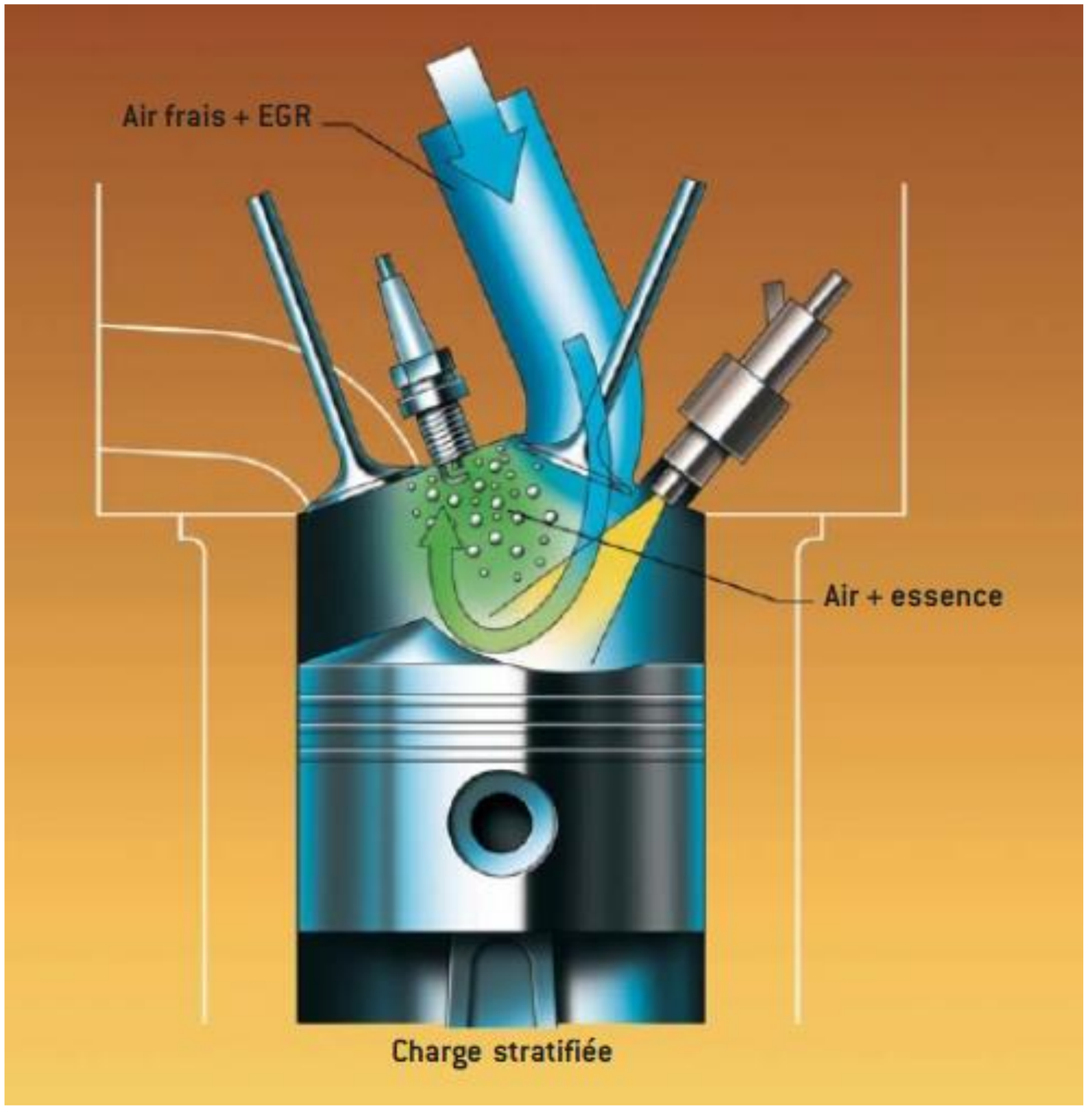
العيب الرئيسي لمحرك ذو أربعة أشواط بدورة أتكنسون هو إنتاج قدرة أقل مقارنةً بدورة بو دو روشا التقليدية. يحدث ذلك لأن دورة أتكنسون تسمح بكمية أقل من الهواء وبالتالي أقل من الوقود

1-5 Stratified Charge

The principle of stratified charge applies to direct injection gasoline engines. It involves concentrating the fuel vaporization near the spark plug rather than throughout the entire combustion chamber. This operating mode allows for a reduction in engine fuel consumption, which can reach up to 40% when running at low loads.



5-1 الشحن الطبقي



ينطبق مبدأ الشحن الطبقي على محركات البنزين ذات الحقن المباشر. إنه ينطوي على تركيز تبخير الوقود بالقرب من شمعة الإشعال بدلاً من تركيزه في غرفة الاحتراق بأكملها. يسمح وضع التشغيل هذا بتقليل استهلاك وقود المحرك ، والذي يمكن أن يصل إلى 40٪ عند التشغيل بأحمال منخفضة.

The principle of the stratified charge engine.

The principle of the stratified charge engine is to have a rich mixture, which is inflammable, in close proximity to the spark plug, and a leaner mixture, so low in fuel that it could not be used in a traditional engine, in the rest of the cylinder. In a stratified charge engine, the power output is no longer controlled by the quantity of air admitted but by the amount of injected gasoline, similar to a diesel engine.

مبدأ محرك الشحن الطبقي.

مبدأ محرك الشحنة الطبقية هو أن يكون لديك خليط غني ، قابل للاشتعال ، على مقربة من شمعة الإشعال ، وخليط أقل رشاقة ، منخفض الوقود لدرجة أنه لا يمكن استخدامه في المحرك التقليدي ، في بقية الأسطوانة. في محرك الشحن الطبقي ، لم يعد يتم التحكم في خرج الطاقة بكمية الهواء المسموح بها ولكن بكمية البنزين المحقون ، على غرار محرك الديزل.

Stratified charge means that the air/fuel mixture in the cylinder is distributed into several layers with different fuel concentrations.
A stratified mixture is a heterogeneous and structured (organized) mixture that is generally poor to very poor $0.1 \ll R_{globale} < 0.7$

Air coefficient and richness

For gasoline (essence), the ratio that ensures total combustion (stoichiometric ratio) is approximately 14.5, i.e. it takes approximately 14.5 kg of air to completely burn 1 kg of fuel.

Air coefficient λ is the ratio $\frac{m_{air}}{m_{essence}}$ /14,5

Wealth r =1/λ is the ratio $\frac{m_{essence}}{m_{air}}$ /0,07

at stochiometry λ = r = 1
A lean mixture (λ>1) (r<1) contains more air.
A rich mixture contains less air

تعني الشحنة الطبقية أن خليط الهواء / الوقود في الأسطوانة يتم توزيعه على عدة طبقات بتركيزات وقود مختلفة. الخليط الطبقي هو خليط غير متجانس ومنظم (منظم) يكون عمومًا خفيفًا إلى هزيل للغاية:

$$0.1 \ll R_{globale} < 0.7$$

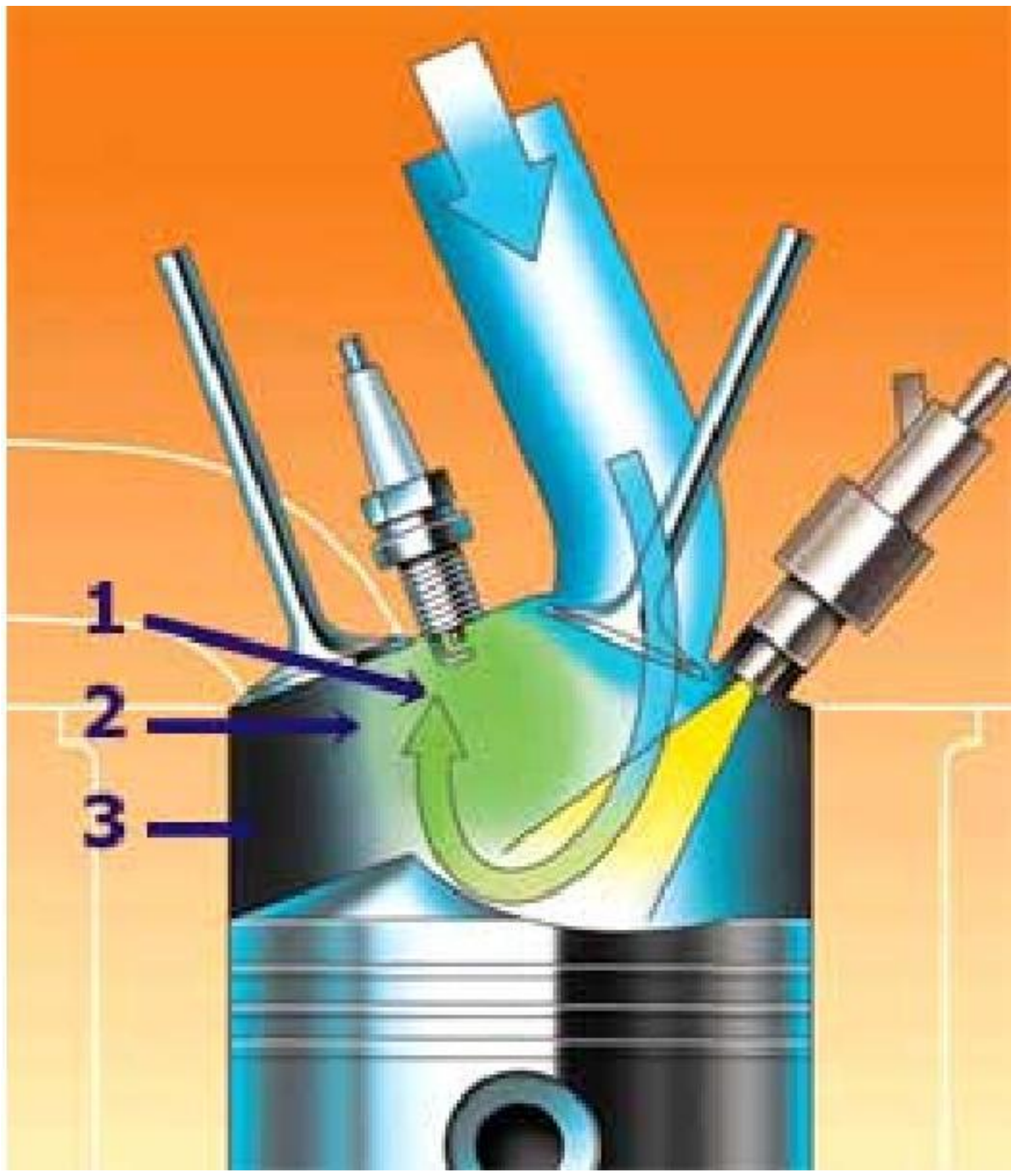
معامل الهواء والغنى

بالنسبة للبنزين، النسبة التي تضمن احتراقًا كاملاً (النسبة الكيميائية المثلى) هي تقريبًا 14.5، أي يتطلب تقريبًا 14.5 كجم من الهواء لاحتراق 1 كجم من الوقود بالكامل

معامل الهواء λ هو النسبة $\frac{m_{air}}{m_{essence}}$ /14,5

الغنا $1/\lambda$ هي النسبة $\frac{m_{essence}}{m_{air}}$ /0,07

- **The air-fuel ratio is 1 (stoichiometric) around the spark plug. The spark initiates combustion (1).**
- **The combustion then propagates to the leaner layers and results in lower fuel consumption (2).**
- **The last layer can, if necessary, be exhaust gas recirculation (3).**



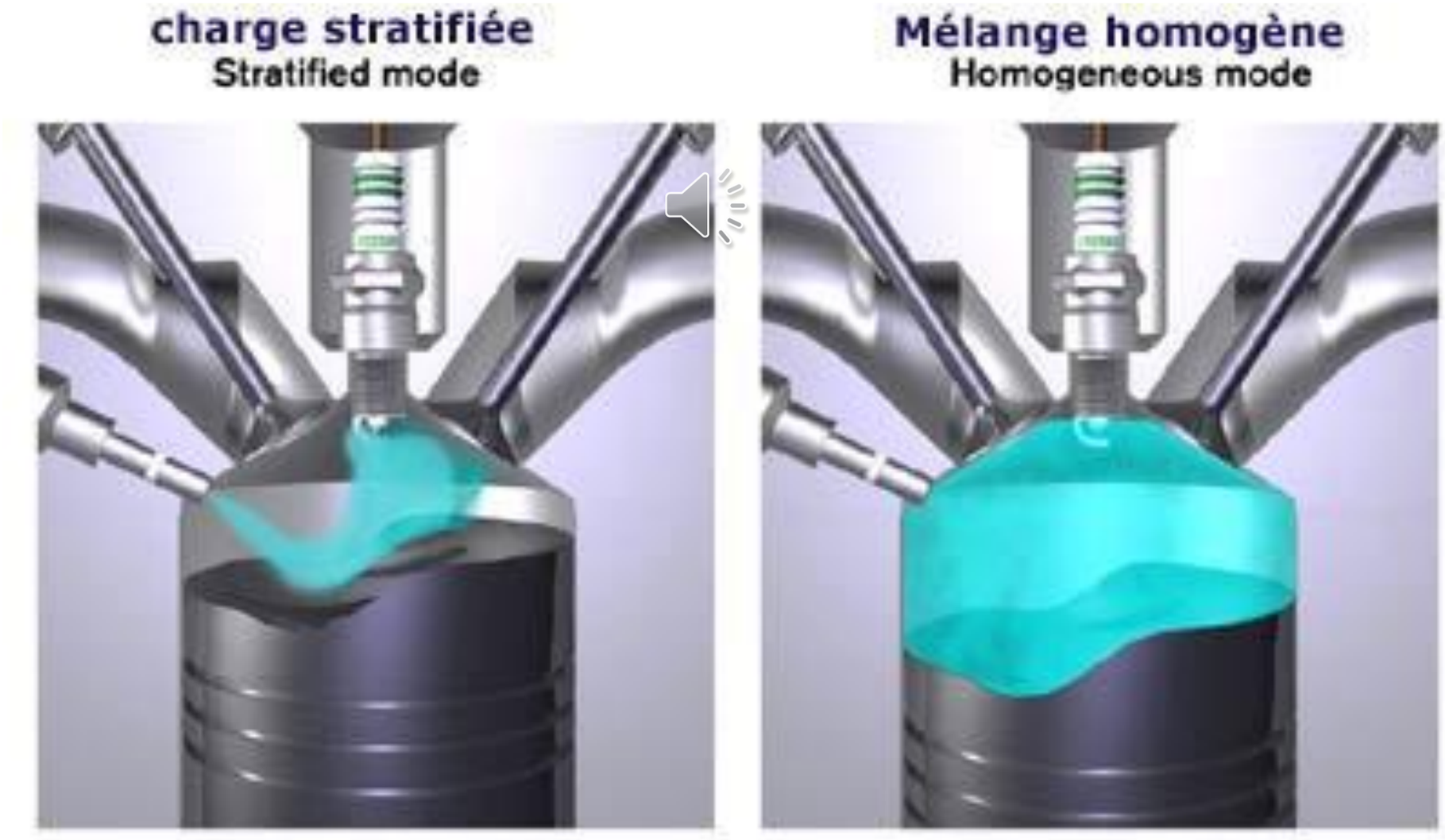
- نسبة الهواء إلى الوقود تكون متساوية (النسبة الكيميائية المثلى) حول شمعة الإشعال. تقوم الشرارة بتحفيز الاحتراق (1).

- ثم ينتقل الاحتراق إلى الطبقات الأكثر فقرًا بالوقود ويؤدي إلى استهلاك وقود أقل (2).

- يمكن أن تكون الطبقة الأخيرة، إن لزم الأمر، إعادة دورة الغازات المنبعثة (3)

**The stratified mode only operates at low engine load and low RPM.
As soon as higher power is required, the engine management switches to "homogeneous mixture" mode.**

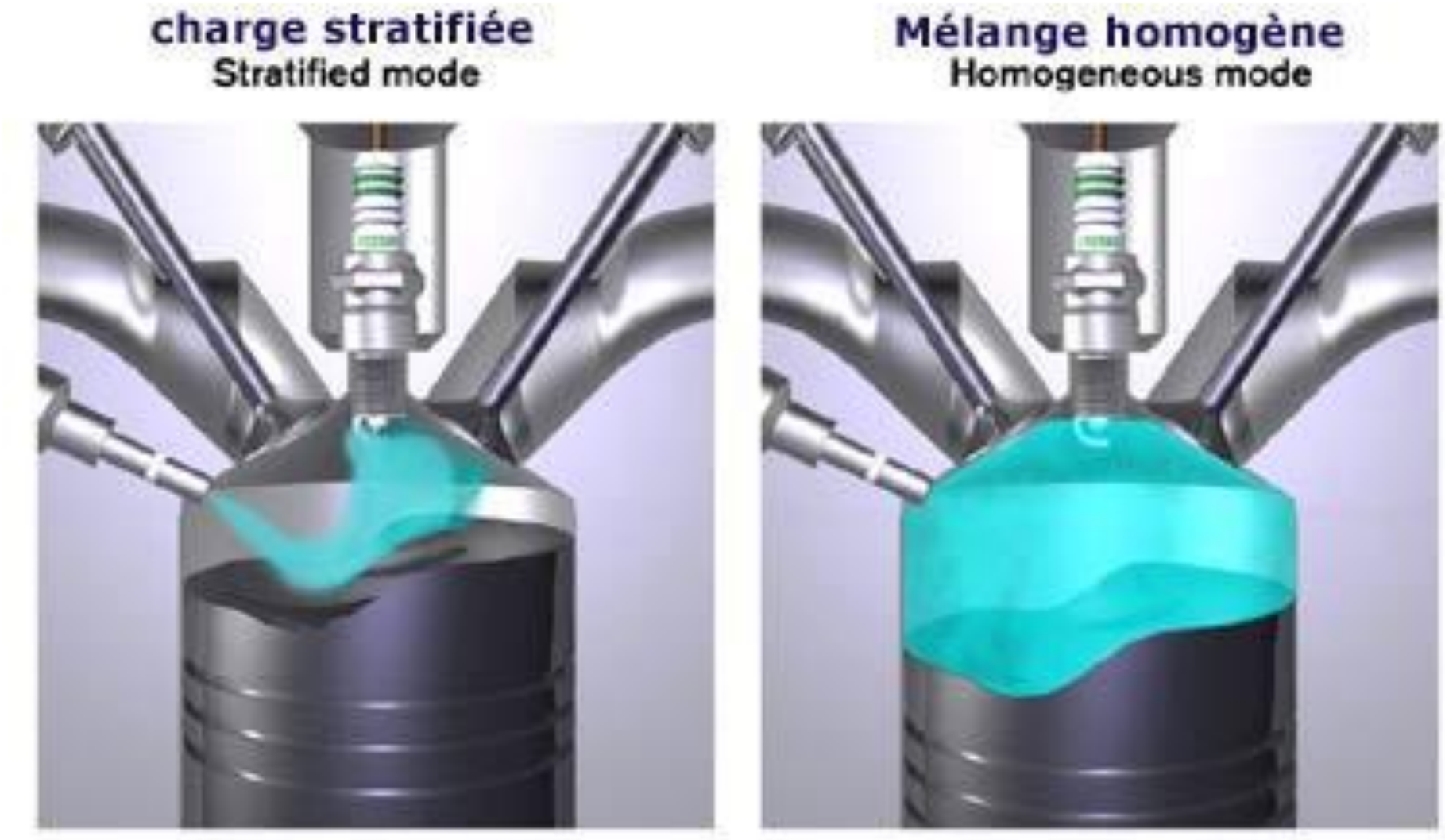
The injection is advanced and carried out during the intake of the air.



The two operating modes

الوضع الطبقي يعمل فقط عند تحميل المحرك منخفض وسرعة المحرك منخفضة. فور طلب طاقة أعلى، يقوم إدارة المحرك بالتحول إلى وضع "خليط متجانس".

تتم الحقن مبكرًا وأثناء الامتصاص للهواء



The two operating modes

The benefits of stratified combustion are:

1) To reduce fuel consumption at low load.

Homogeneous: Operating range: AFR (Air-Fuel Ratio) 0.7 to 1 (and higher).

Minimum consumption for AFR around 0.85.

Stratified: AFR → 0.3.

2) To reduce pollutant emissions.

فوائد الاحتراق الطبقي هي:

1 لتقليل استهلاك الوقود عند التحميل المنخفض.

متجانسة: نطاق التشغيل:) AFRنسبة الهواء إلى الوقود) 0.7 إلى 1 (وأعلى). الحد الأدنى لاستهلاك AFRحوالي 0.85.طبقي: .0.3 → AFR

2 للحد من الانبعاثات الملوثة.

1-6 Concept HCCI

The Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) engine is a type of internal combustion engine in which the air-fuel mixture is thoroughly homogeneously mixed and is compressed intensely enough to reach the point of auto-ignition.

HCCI AND CAI MOTORS

HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) for diesel and CAI (Controlled Auto Ignition) for gasoline,These engines partially reabsorb their burnt gases, which leads to instantaneous ignition of the entire mixture contained in the combustion chamber.

6-1 مفهوم HCCI

محرك الإشعال بضغط الشحنة المتجانس (HCCIهو نوع من محركات الاحتراق الداخلي حيث يتم خلط خليط الهواء والوقود تمامًا بشكل متجانس ويتم ضغطه بشكل مكثف بدرجة كافية للوصول إلى نقطة الاشتعال الذاتي

محركات HCCI وCAI

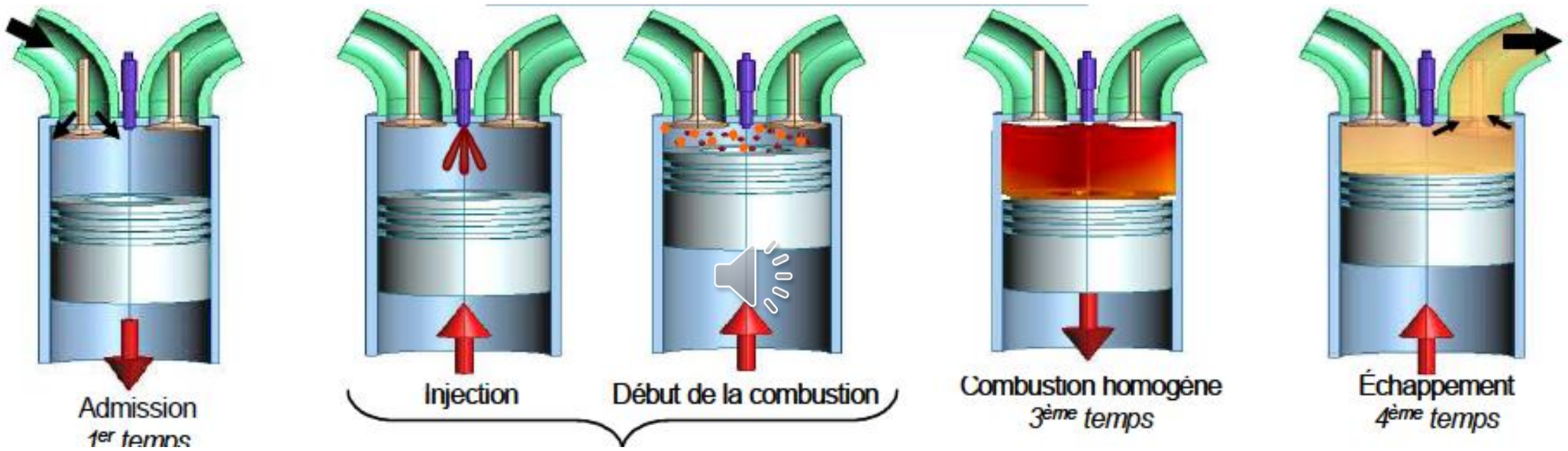
) HCCIالاشتعال بالضغط الموحد للشحنة) للديزل و) CAIالاشتعال التلقائي المضبوط) للبنزين.

هذه المحركات تعيد امتصاص جزء من الغازات المحترقة، مما يؤدي إلى اشتعال فوري للخليط بأكمله الذي يوجد في غرفة الاحتراق

University of M'sila-----Faculty: ST------Module:Internal combustion engines -Master 2 -Energetics 2023/2024

Presentation of the HCCI engine.

Four-stroke cycle for HCCI combustion.

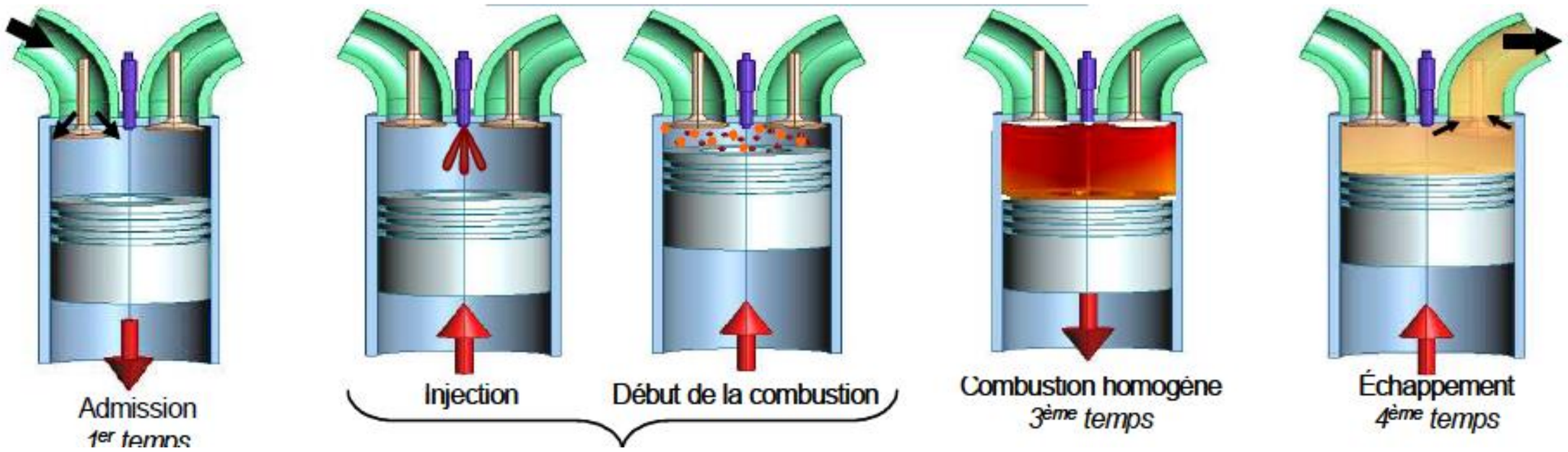


In HCCI, we have:

- **Compression ignition (auto-ignition)**
- **Direct injection and homogenization in the Diesel cycle**
- **Strong dilution and combustion control through recycled burned gases.**

عرض لمحرك) HCCIالاشتعال بالضغط الموحد للشحنة).

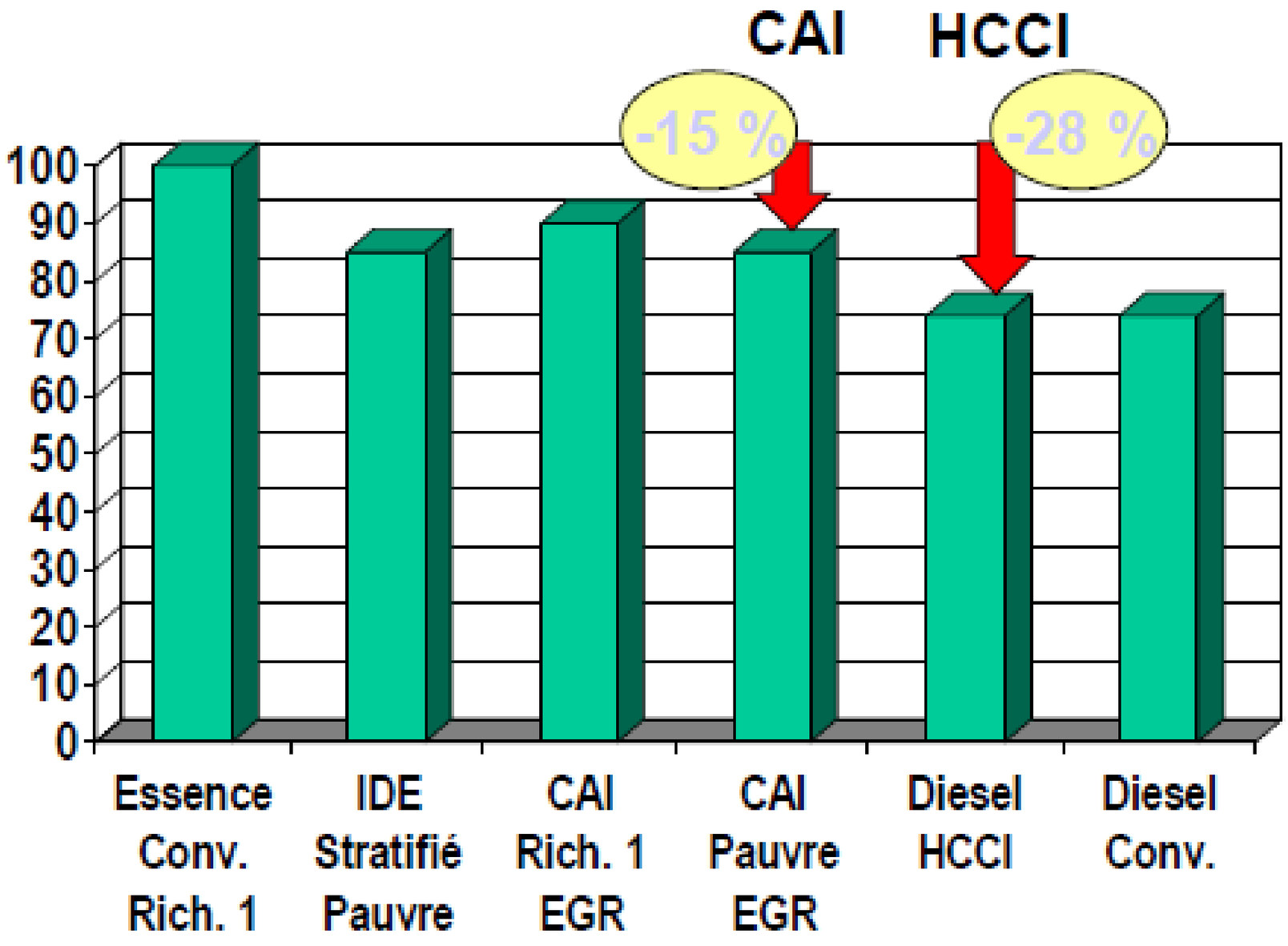
الدورة الأربعية للاحتراق HCCI



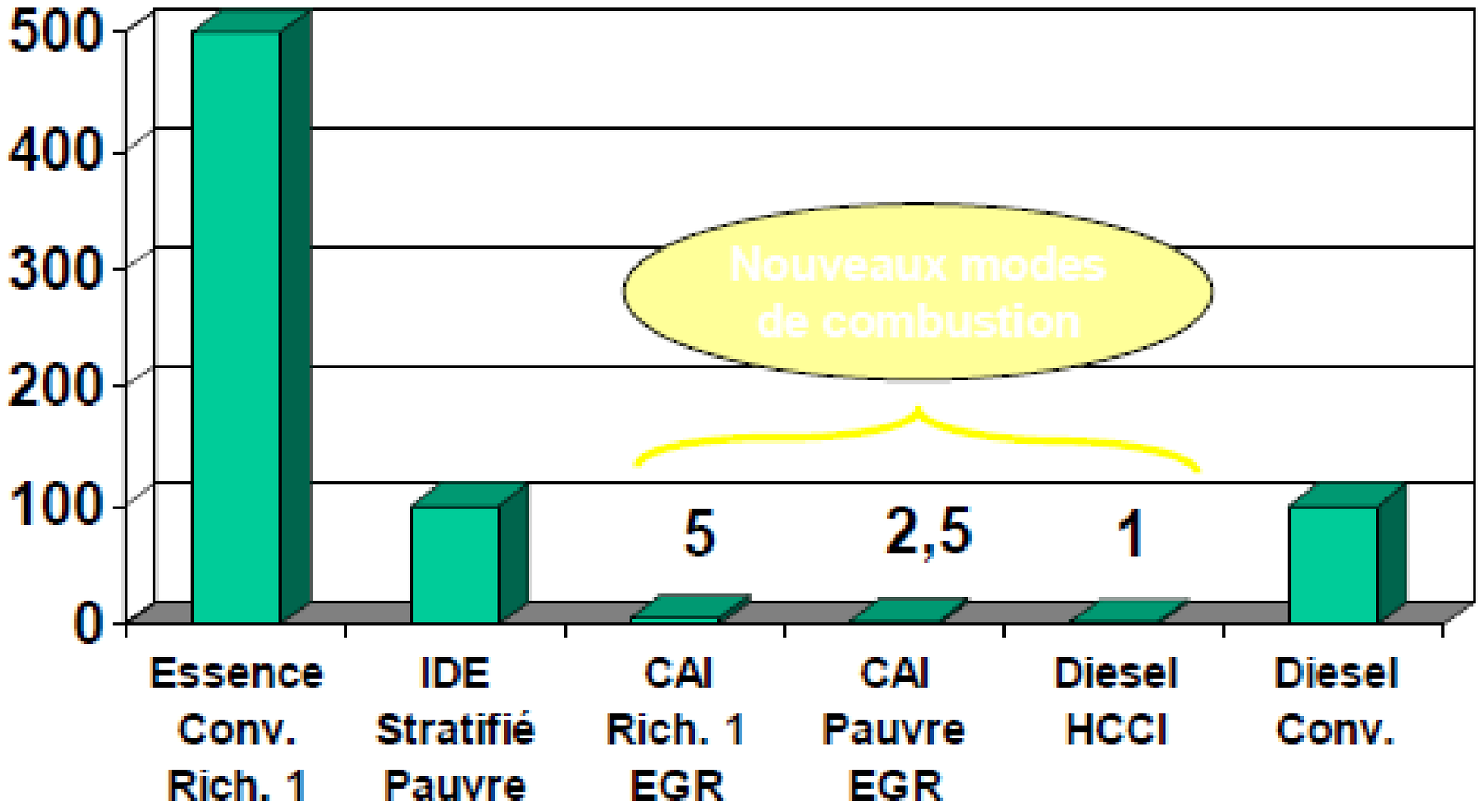
في HCCI، لدينا:

- **الإشعال بالضغط (اشتعال تلقائي)**
- **حقن مباشر وتجانس في دورة الديزل**
- **تخفيف قوي ومراقبة الاحتراق من خلال إعادة تدوير الغازات المحترقة**

Consommation de carburant



Émissions de NOx



Advantages

- low particle emission
- low NOx emission
- efficiency close to the efficiency of a conventional diesel engine

المزايا:

- **انخفاض انبعاثات الجسيمات**
- **انخفاض انبعاثات أكسيد النيتروجين ((NOx**
- **كفاءة قريبة من محرك الديزل التقليدي**

Multiple benefits of HCCI

The HCCI combustion is initiated when the mixture is heated by the recycled exhaust gases (EGR) and when the pressure becomes very high at the end of compression, with the volumetric ratio generally equivalent to that of diesel engines. The mixture ignites spontaneously rather than through a flame front starting from the spark plug. This concept currently works only under low loads, and the engine must switch to spark ignition beyond this range.

HCCI offers two advantages. The first is the ability to burn very lean fuel mixtures, avoiding the production of particles while generating significantly higher efficiency.

The second advantage is the relatively low combustion temperature, which prevents the formation of NOx despite the use of lean mixtures.

فوائد متعددة من HCCI

يبدأ احتراق HCCIعندما يتم تسخين الخليط بواسطة غازات العادم المعاد تدويرها (EGR) وعندما يصبح الضغط مرتفعًا جدًا في نهاية الضغط ، مع النسبة الحجمية بشكل عام معادلة لتلك الخاصة بمحركات الديزل. يشتعل الخليط تلقائيًا وليس من خلال واجهة لهب تبدأ من شمعة الإشعال. يعمل هذا المفهوم حاليًا فقط في ظل أحمال منخفضة ، ويجب أن يتحول المحرك إلى اشتعال الشرارة خارج هذا النطاق.

تقدم HCCIميزتين. الأول هو القدرة على حرق مخاليط الوقود الخالية من الدهون ، وتجنب إنتاج الجزيئات مع توليد كفاءة أعلى بشكل ملحوظ.الميزة الثانية هي درجة حرارة الاحتراق المنخفضة نسبيًا ، مما يمنع تكوين أكاسيد النيتروجين على الرغم من استخدام الخلائط الخالية من الدهون

1-7 PCCI Concept

In HCCI combustion, air and fuel enter the combustion chamber and are compressed until the point of auto-ignition. On the other hand, in PCCI combustion, the fuel is injected during the compression stroke, creating a hybrid between HCCI and diesel combustion. In PCCI combustion, we can use more Exhaust Gas Recirculation (EGR) than in HCCI.

PCCI is the hybrid of HCCI and diesel combustion, providing more control over combustion/ignition and heat release rate, with lower NOx and soot emissions, as the premixed charge can be controlled differently.

7-1 مبدأ PCCI

في الاحتراق (HCCI الاشتعال بضغط الشحنة المتجانس) ، يدخل الهواء والوقود إلى غرفة الاحتراق ويتم ضغطهما حتى يحدث الاشتعال الذاتي. من ناحية أخرى ، في احتراق (PCCI اشتعال ضغط الشحنة المختلط) ، يتم حقن الوقود أثناء شوط الانضغاط ، مما ينتج عنه هجين من HCCIواحتراق الديزل. في احتراق PCCI، يمكننا استخدام إعادة تدوير غاز العادم (EGR أكثر من HCCI)

يعد (PCCIاشتعال ضغط الشحن المسبق الخلط) في الواقع مزيجًا من HCCIواحتراق الديزل ، مما يوفر مزيدًا من التحكم في الاحتراق / الإشعال ومعدل إطلاق الحرارة مع إنتاج انبعاثات أكاسيد النيتروجين والسخام. هذا ممكن لأنه يمكن التحكم في الشحنة الممزوجة مسبقًا باستخدام تقنيات مختلفة