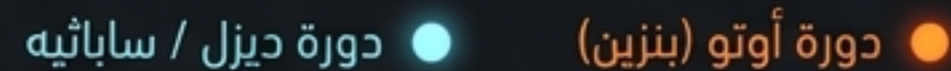


دليل مرجعي شامل من المبادئ الفيزيائية والكيميائية إلى
البنية الميكانيكية وتوليف المستقبل.

دليل مرجعي شامل من المبادئ الفيزيائية والكيميائية إلى
البنية الميكانيكية وتوليف المستقبل.



الطاقة الكيميائية
(الهيدروكربونات)
عمل ميكانيكي

الاشتعال الموجه
(Spark-Ignition)



CYCLE EFFICIENCY: OPTIMAL
FUEL TYPE: GASOLINE/DIESEL
SYSTEM STATUS: ANALYZING

مزيج متجانس
+ شرارة كهربائية



إضافة الحرارة بثبات
الحجم (Isochoric)



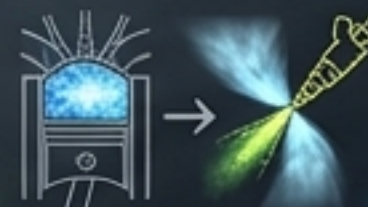
CYCLE EFFICIENCY: OPTIMAL
FUEL TYPE: GASOLINE/DIESEL
SYSTEM STATUS: ANALYZING

الاشتعال بالضغط
(Compression-Ignition)

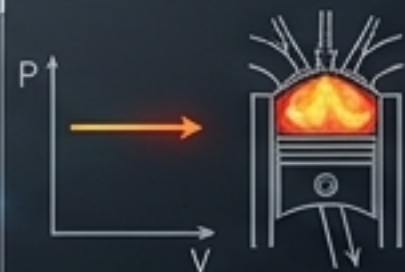


CYCLE EFFICIENCY: OPTIMAL
FUEL TYPE: GASOLINE/DIESEL
SYSTEM STATUS: ANALYZING

هواء مضغوط
+ عالي الحرارة
حقن مباشر للوقود



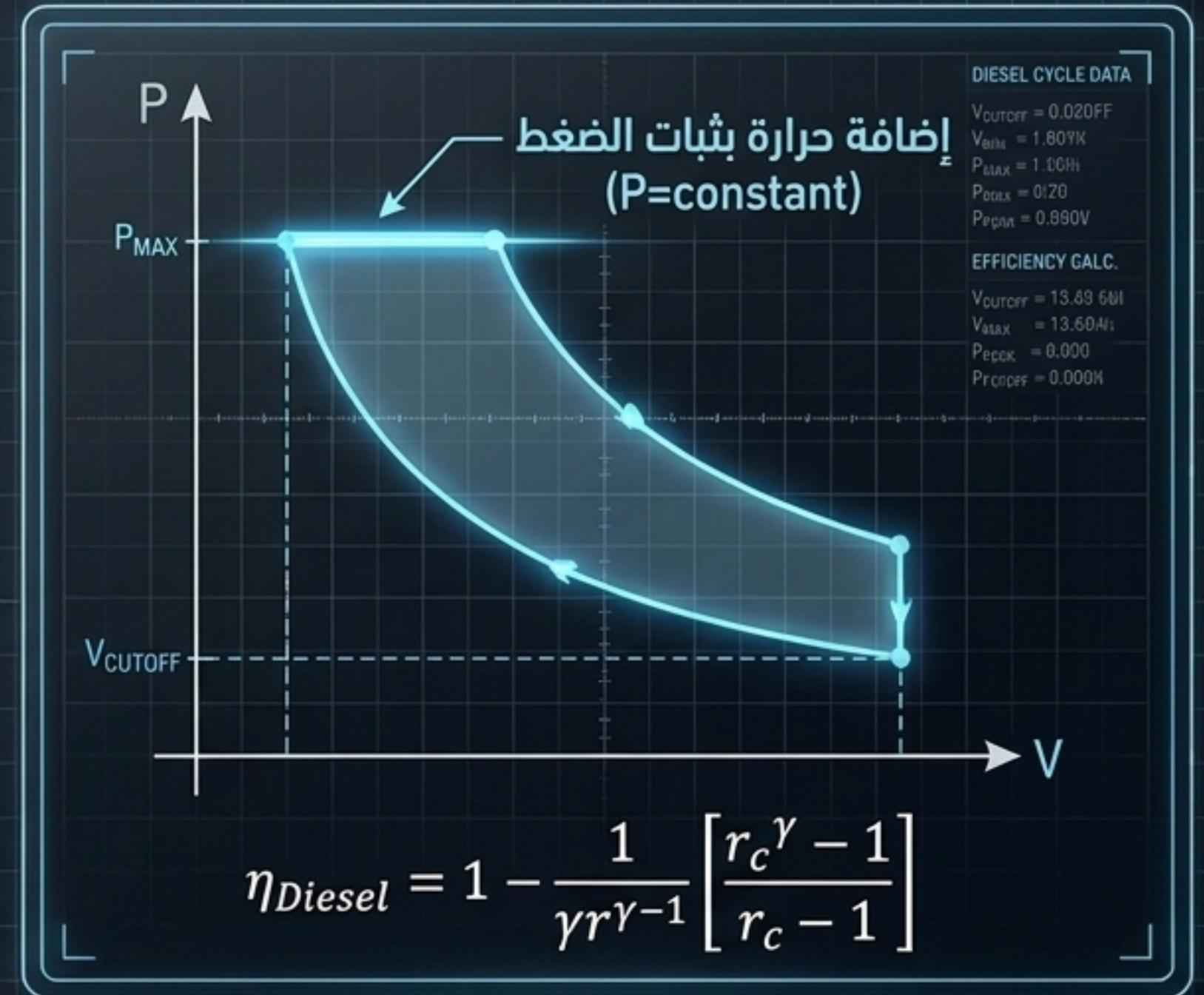
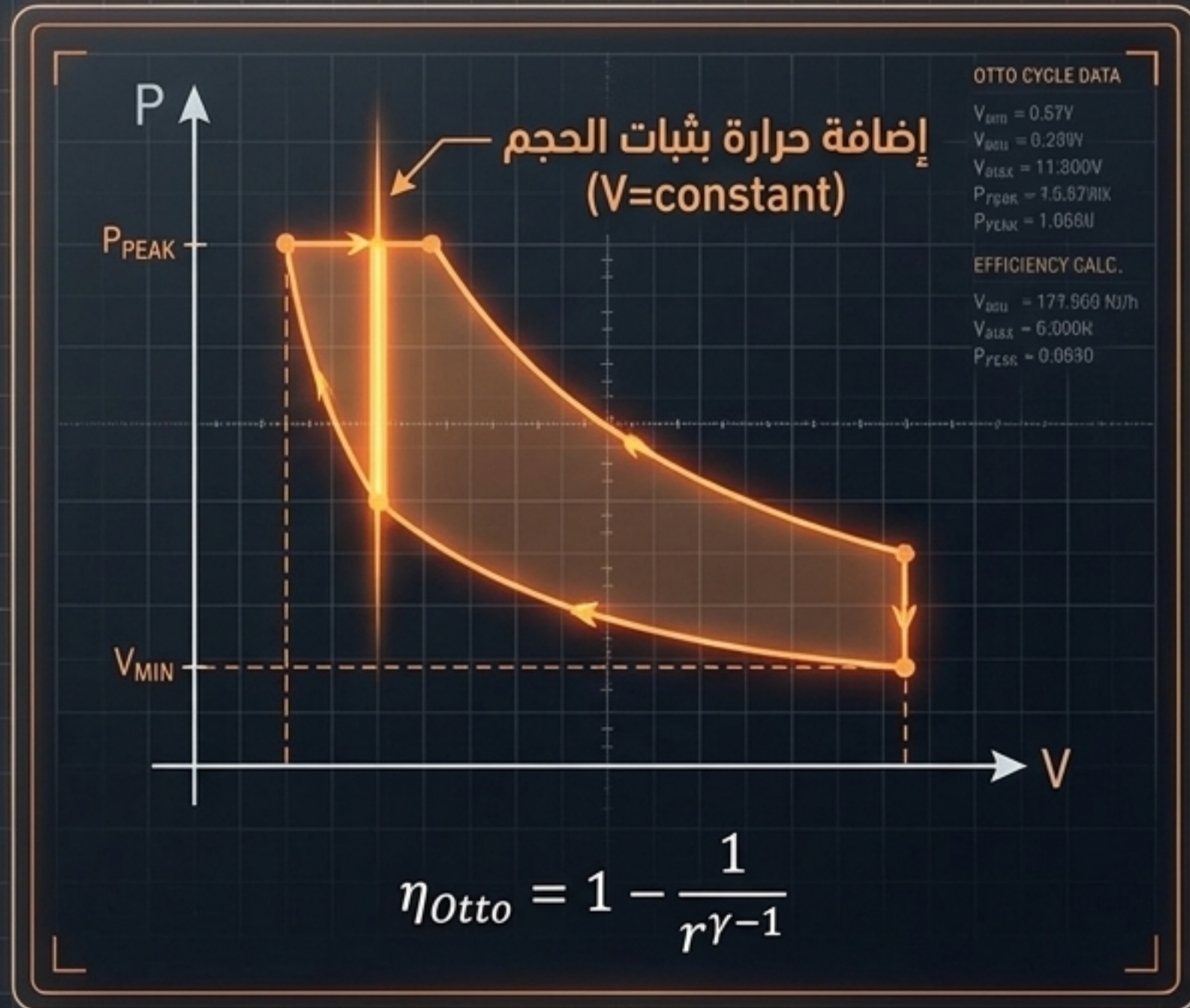
إضافة الحرارة بثبات
الضغط (Isobaric)



CYCLE EFFICIENCY: OPTIMAL
FUEL TYPE: GASOLINE/DIESEL
SYSTEM STATUS: ANALYZING

يضمن الفارق الجوهري
في "كيفية ومتى"
يتم إدخال الحرارة إلى
مائع العمل داخل
الأسطوانة.





نظرياً، عند نفس نسبة الانضغاط (r)، تمتلك دورة أوتو كفاءة حرارية أعلى من دورة ديزل.

مقياس نسبة الانضغاط

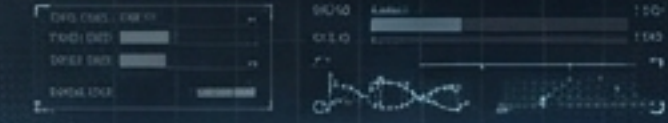


حاجز الخبط
(Knocking)

ضغط المزيج (هواء+وقود) يرفع الحرارة.
تجاوز هذا الحد يسبب اشتعالاً ذاتياً
مبكراً ومدمراً للمكبس.



يضغط هواءً نقياً فقط، لذا لا يوجد خطر
للاشتعال المبكر.
الحرارة العالية الناتجة (تتجاوز 600°C)
هي بالضبط ما يشعل الوقود عند حقنه.



دورة ديزل تتفوق عملياً لأنها غير مقيدة بظاهرة الخبط، مما يسمح بنسب انضغاط تضاعف الكفاءة الحرارية.

The Ultimate Fuel Matrix

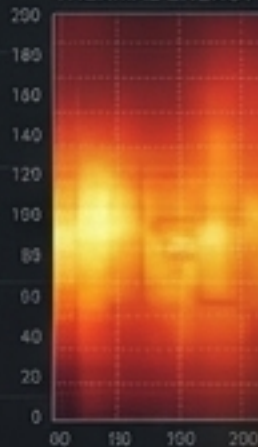
الخاصية الكيميائية-الفيزيائية	البنزين (Gasoline)	الديزل (Diesel)
الهيكل الجزيئي	C4 – C12 (خفيف ومطاير)	C12 – C20 (ثقل وزيتي)
نقطة الوميض	$\approx -45^{\circ}\text{C}$ (شديد الاشتعال)	52°C إلى 80°C (آمن نسبياً)
درجة حرارة الاشتعال الذاتي	مرتفعة ($\approx 260 - 450$)	منخفضة ($210^{\circ}\text{C} - 300$)
الكثافة الحجمية للطاقة	$\approx 32.2 \text{ MJ/L}$	$\approx 35.7 \text{ MJ/L}$ (+11% طاقة)

البنزين مصمم ليتبخر سريعاً ويقاوم الانفجار الذاتي، بينما الديزل مصمم ليشتعل ذاتياً بمجرد تعرضه للحرارة والضغط.

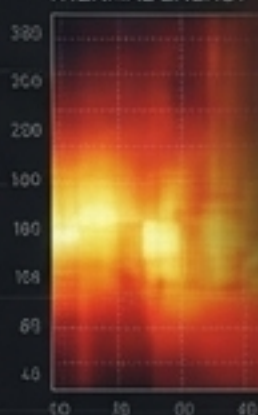
رقم الأوكتان (RON 95-95)

رقم السيتان (45-45)

THERMAL ENERGY



THERMAL ENERGY

المقاومة
(Resistance)

MAX

- قدرة الوقود على تحمل الضغط والحرارة العالية دون الاشتعال الذاتي.
- يسمح برفع نسبة الانضغاط وضغط التوربو للحصول على طاقة أعلى دون تدمير المحرك.

PRESSURE WAVE

الرغبة
(Readiness)

FAST

- سرعة اشتعال الوقود فور حقنه في الهواء الساخن (تقليل تأخر الاشتعال).
- تأخر أقل يعني تراكم وقود أقل قبل الاشتعال، مما يمنع ارتفاع الضغط المفاجئ ويقلل ضجيج محرك الديزل.

IGNITION DELAY TIMELINE

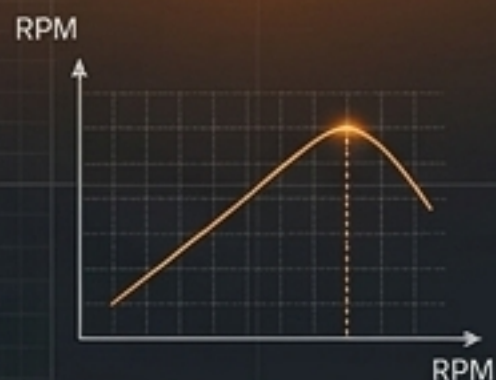




أقصى سرعة دوران

البنزين (Gasoline)

6000 - 9000 rpm



الديزل (Diesel)

4000 - 5000 rpm



الضغط الأقصى داخل الأسطوانة

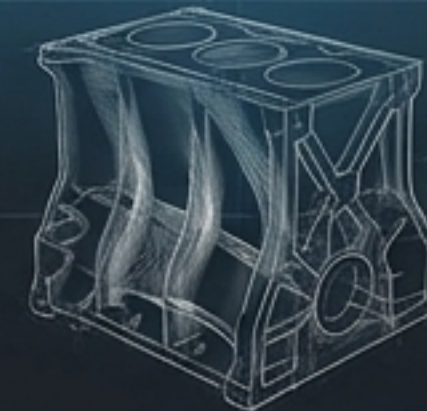
البنزين (Gasoline)

60 - 110 bar



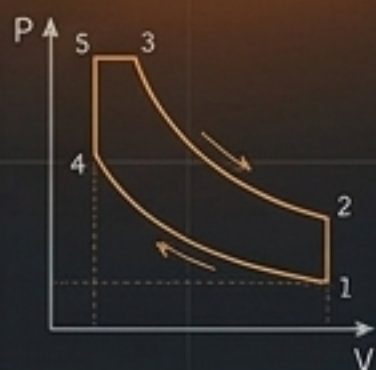
الديزل (Diesel)

150 - 220 bar

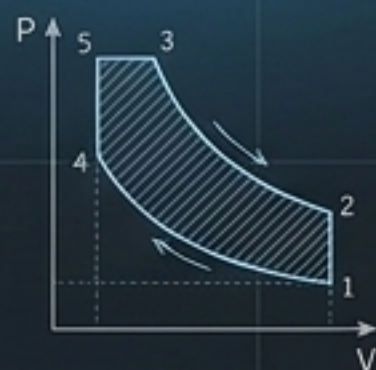


الكفاءة الحرارية الفعلية

30% - 38%



40% - 50%



تنظيم القوة

خنق الهواء عبر
صمام الفراشة
(خسائر ضخ)



تحكم بكمية الوقود
مع هواء زائد
(لا توجد خسائر)



البنزين يفضل الأجزاء الخفيفة والسرعات العالية (سيارات رياضية/ركاب).
الديزل يتطلب بنية ثقيلة لضغوط هائلة، ويوفر عزماً وكفاءة قصوى (نقل ثقيل/صناعة).

تطور أنظمة التغذية في البنزين

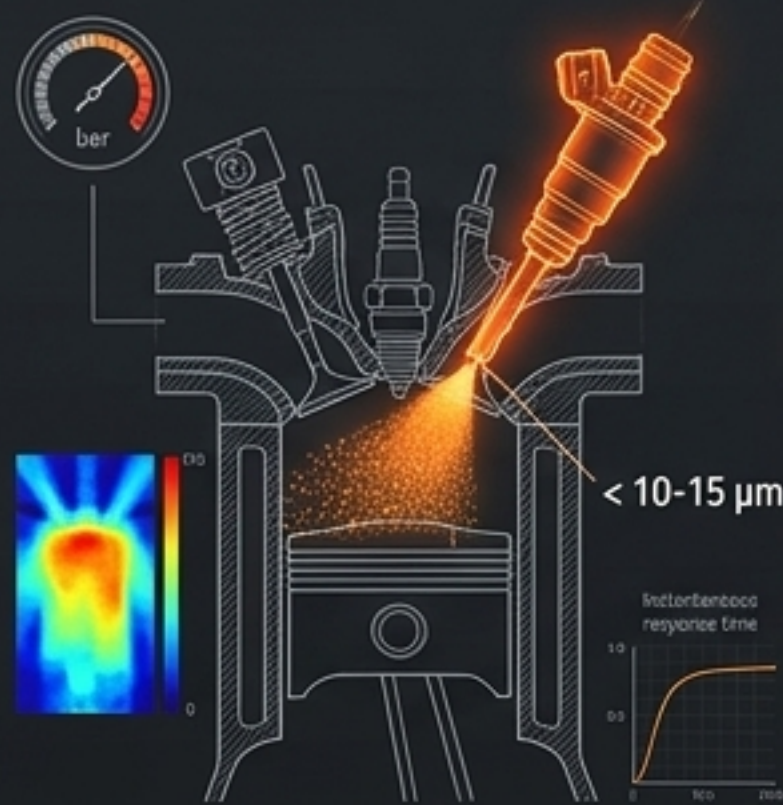
Evolution Pipeline

3

2

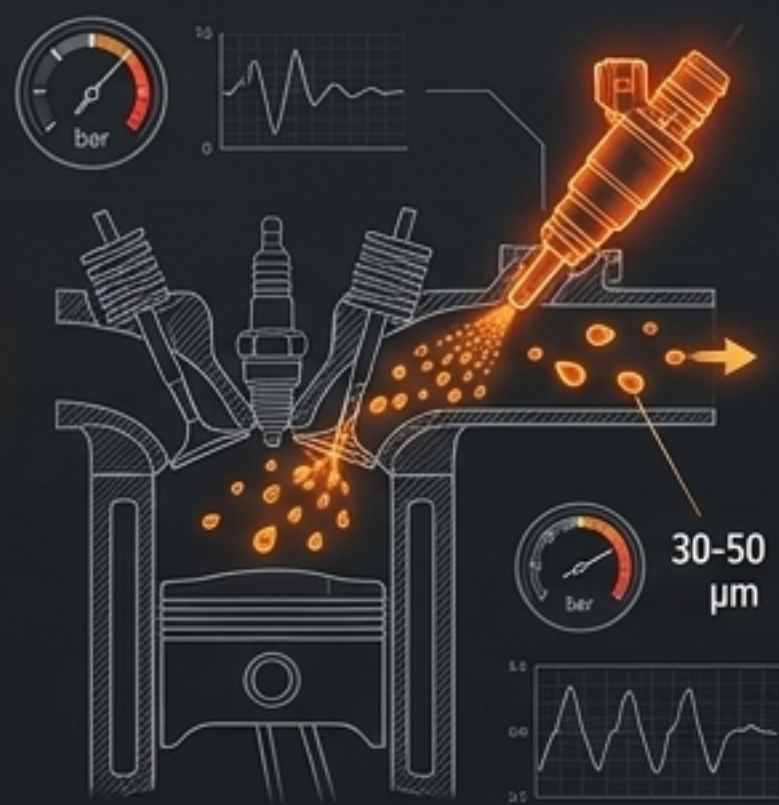
1

الحقن المباشر (GDI - Gasoline Direct Injection)



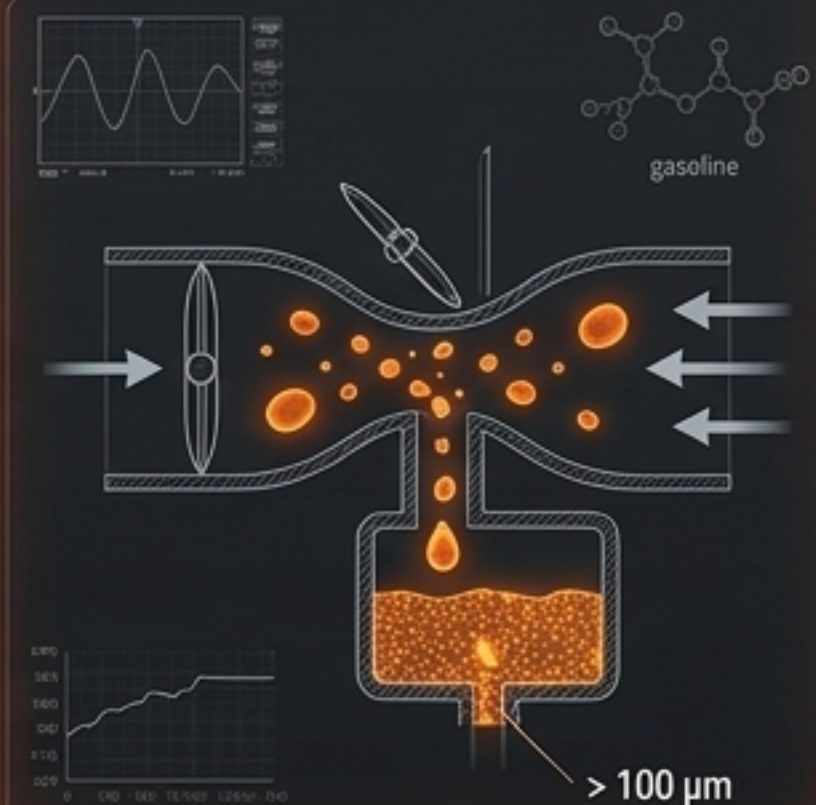
حقن مباشر داخل غرفة الاحتراق بضغط هائل (150-350 bar).
حجم القطرات: $10 - 15 \mu m$ (رذاذ دقيق جداً).
الميزة: تحكم فائق، تبريد داخلي، واستجابة لحظية.

الحقن غير المباشر (PFI - Port Fuel Injection)



حقن إلكتروني بضغط منخفض (3-6 bar) خلف صمام السحب.
حجم القطرات: $\approx 30 - 50 \mu m$.
العيب: ترسب الوقود على جدران مجمع السحب.

المكربن (Carburetor - Hydromechanics)



يعتمد على مبدأ فينتوري لسحب الوقود.
حجم القطرات: $< 100 \mu m$ (رذاذ خشن).
حجم القطرات: $100 \mu m$.
العيب: دقة ضعيفة، توزيع غير متساو بين الأسطوانات.

Evolution Pipeline

التشريح العميق للحقن المباشر (GDI)

التبريد الداخلي (Charge Cooling)

تبخر البنزين السائل مباشرة داخل الأسطوانة
يمتص حرارة الهواء المسحوب (الحرارة
الكامنة للتبخّر).

يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة المزيج بمقدار
10 إلى 20°C في نهاية شوط الضغط.

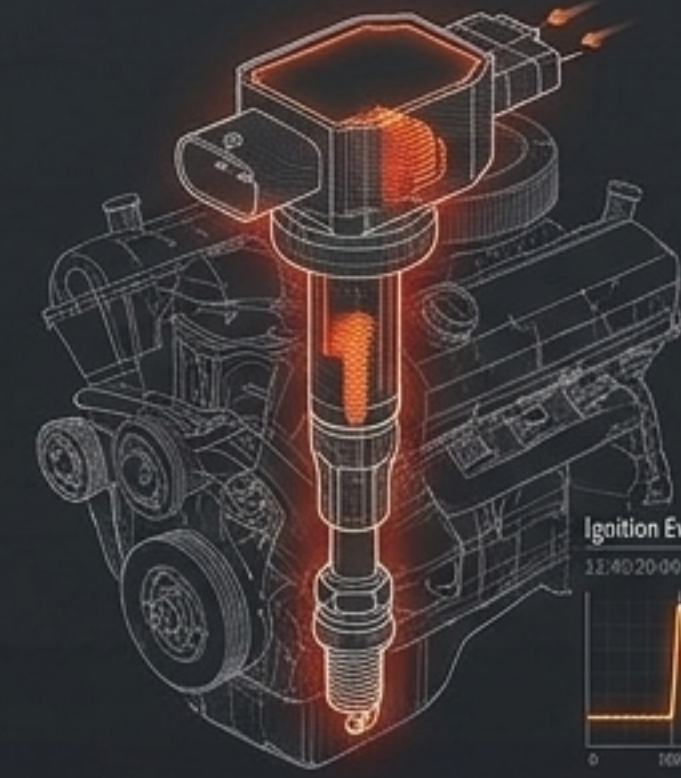
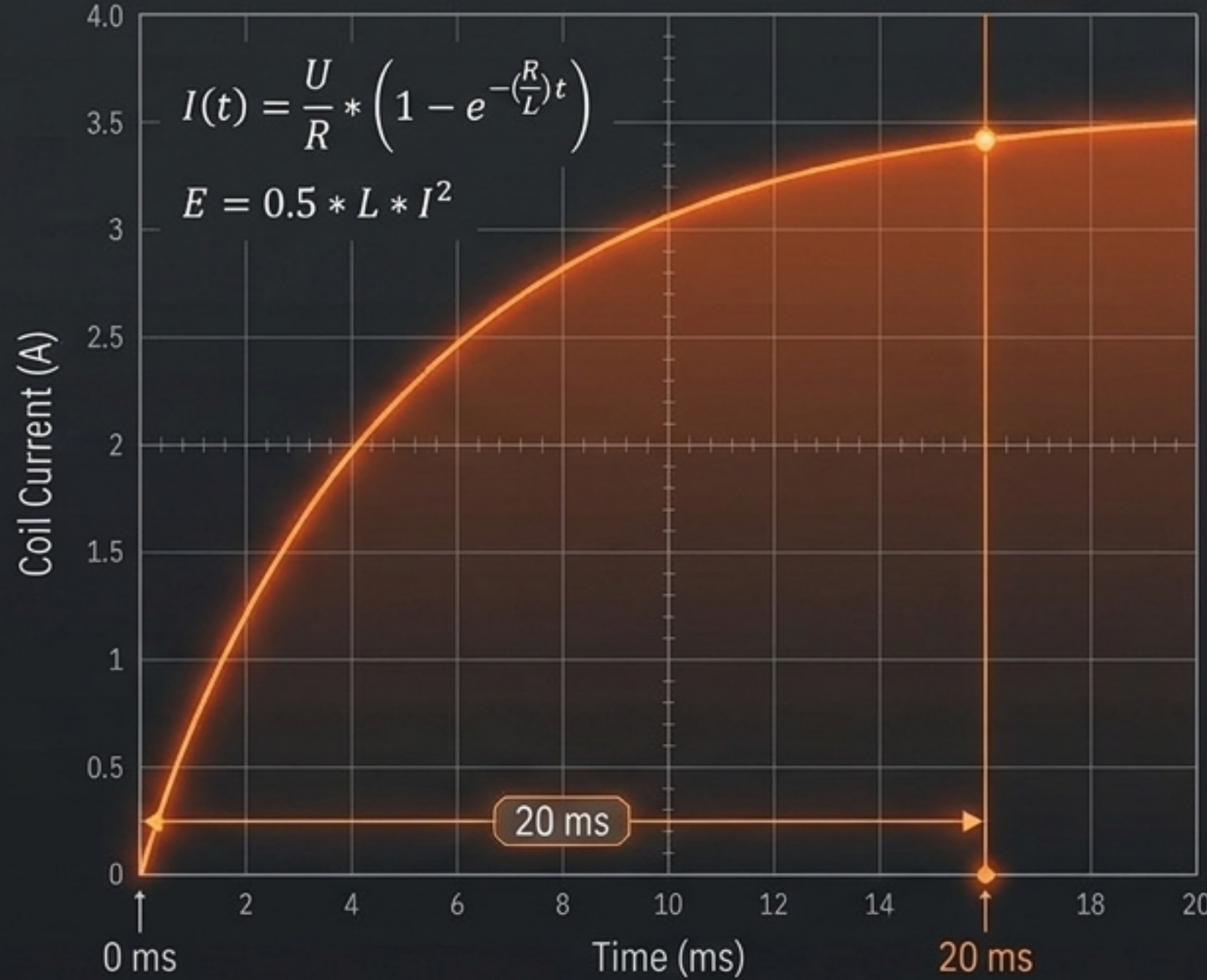


الفائدة الاستراتيجية

هذا التبريد يقلل بشكل كبير من خطر
الخبث، مما يسمح برفع نسبة الانضغاط
بمقدار 1 إلى 1.5 نقطة إضافية
واستعادة جزء من الكفاءة المفقودة.



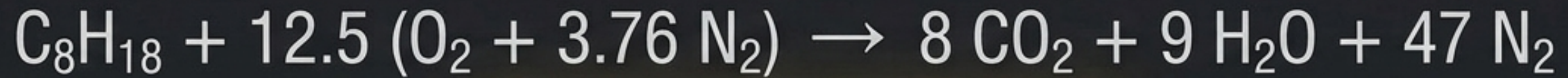
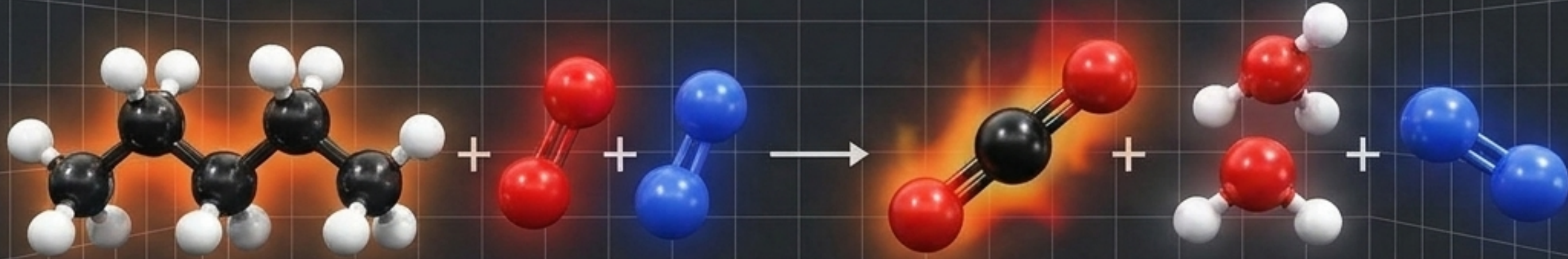
شرارة الحياة: أنظمة الإشعال ووقت التخزين



تحدي وقت التخزين (Dwell Time)

- عند سرعة **6000 rpm**، تكتمل دورة المحرك (4 أشواط) في **20 ملي ثانية** فقط.
- في الأنظمة القديمة (موزع واحد)، الوقت المتاح أقل من **2.5 ms** مما يؤدي لضعف الشرارة (**Misfire**).
- في التقنية الحديثة (**Coil-on-Plug**)، يمتلك كل مكبس ملفه الخاص، مما يمنح نافذة **20 ms** كاملة لشحن طاقة مثالية.

القياس الكيميائي المتكافئ (Stoichiometry)



النسبة الذهبية

نحتاج بالضبط إلى 14.7 كجم من الهواء لحرق 1 كجم من البنزين احتراقاً كاملاً.

أي انحراف عن نسبة (1 : 14.7) يغير أداء المحرك وانبعاثاته جذرياً.

طيف معامل لامدا (The Lambda Spectrum)

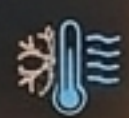
المزيج المتكافئ ($\lambda = 1.0$) (Stoichiometric)

التوازن المثالي. النطاق الوحيد الذي يعمل فيه المحول الحفاز بكفاءة 95% للقضاء على الملوثات.



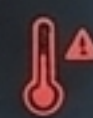
المزيج الغني ($\lambda \approx 0.85$) (Rich)

وقود أكثر من الهواء. أقصى قوة، تبريد للغرفة، منع الخبط تحت الأحمال. (انبعاثات CO و HC عالية).



المزيج الفقير ($\lambda \approx 1.05 - 1.10$) (Lean)

هواء أكثر من الوقود. أقصى اقتصاد في الاستهلاك. (يولد حرارة و NO_x مرتفع إذا تجاوز الحدود).

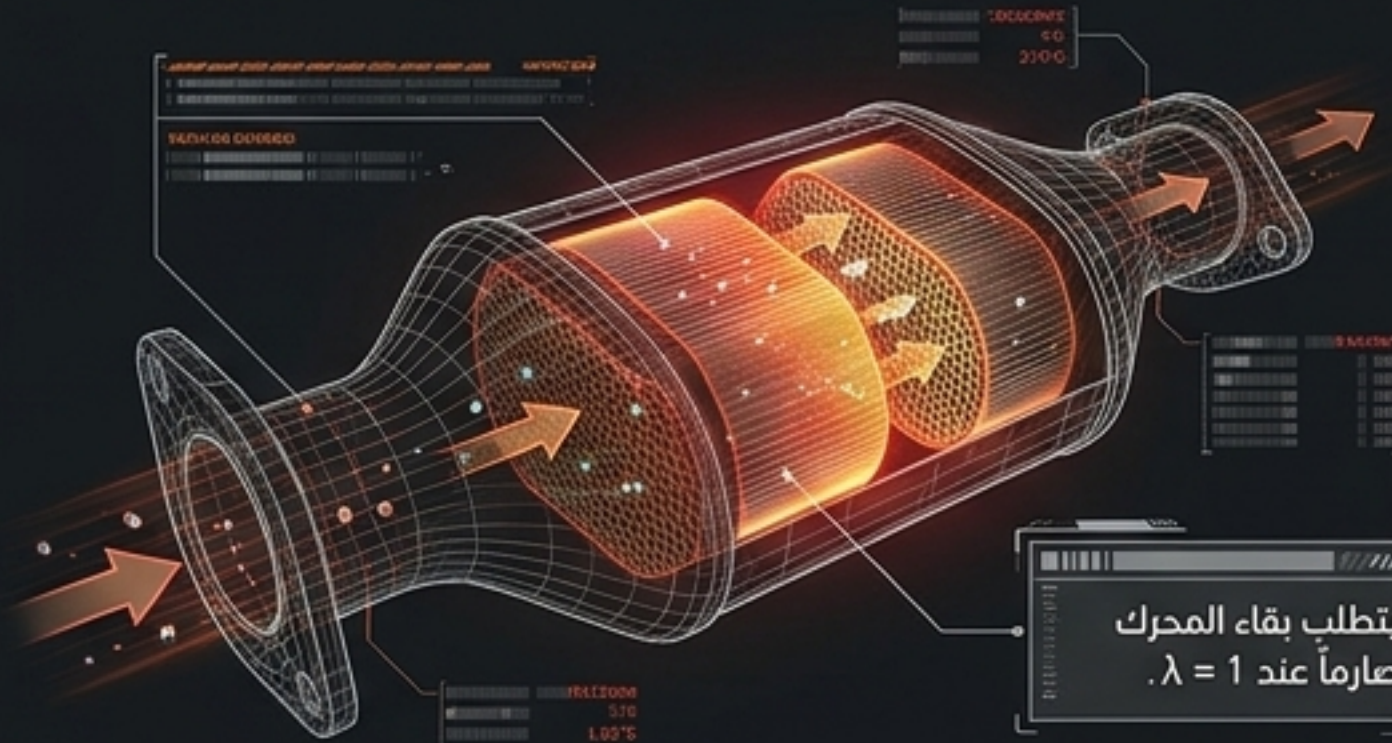


معركة الانبعاثات والتحفيز

عوادم البنزين

الملوثات الأساسية: CO, HC, NOx

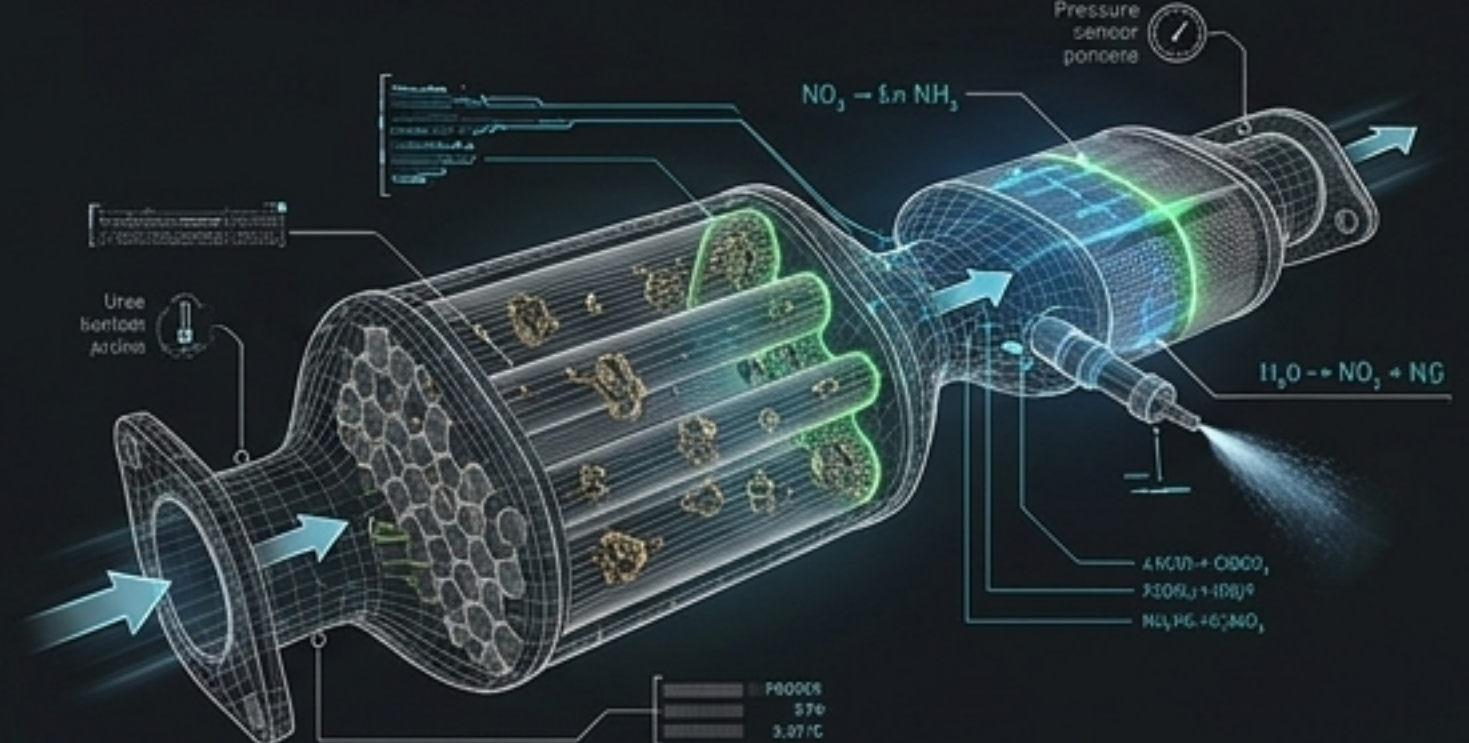
نظام المعالجة: المحول الحفاز الثلاثي
(3-Way Catalytic Converter)



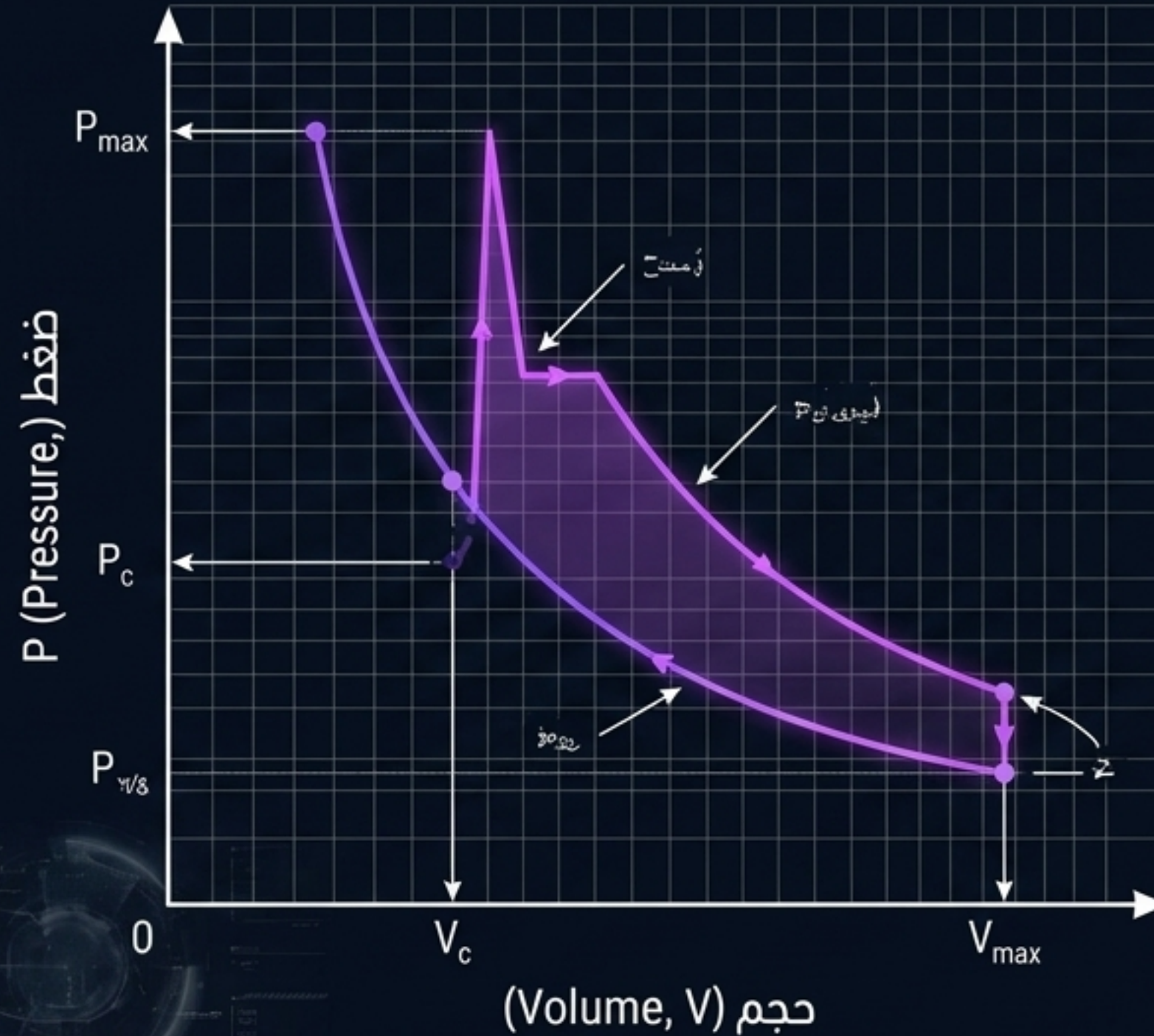
عوادم الديزل

الملوثات الأساسية: جسيمات صلبة (Soot), مستويات هائلة من NOx بسبب فائض الأكسجين والحرارة.

نظام المعالجة: مرشح الجسيمات (DPF) ونظام الحفز الانتقائي (SCR) مع حقن اليوريا.



الحقيقة الهندسية: الدورة المزدوجة (The Dual Cycle / Sabathé)



الاعتماد على الاحتراق بثبات الضغط فقط لا يوفر وقتاً كافياً، والاشتعال المفاجئ يسبب ضجيجاً حاداً.

الاحتراق المختلط

- المرحلة 1: حقن مبدئي (Pilot) يحترق بثبات الحجم لتوليد ضغط حراري.
- المرحلة 2: حقن رئيسي يحترق بثبات الضغط مع نزول المكبس.
- باستخدام أنظمة الرامب المشترك بضغط 2000-3000 bar، تم تنعيم منحنى الضغط وتقليل الضوضاء.

التقارب التكنولوجي والمستقبل

استعارات أوتو

- حقن مباشر عالي الضغط.
- العمل بمزيج فقير ودورات تمدد أطول (دورة ميلر).

نقطة التلاقي

الشحن التوربيني المتغير،
الإدارة الإلكترونية الفائقة،
الجاهزية للوقود الاصطناعي
(e-fuels) والهيدروجين.
الديناميكا الحرارية واحدة، فقط
الأدوات أصبحت أذكى.

استعارات ديزل

- تنظيم دقيق للاحتراق
(حقن متعدد) لمحاكاة
سلسلة البنزين.