

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ**

**ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ  
ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

**Εισηγητής : Κουμπάκης Βασίλης Μηχανολόγος Μηχανικός**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Η ιστορική εξέλιξη των θερμικών κινητήρων και θερμοδυναμικών κύκλων

1/ Θερμικός κινητήρας Stirling

2/ Θερμοδυναμικός κύκλος Carnot

3/ Θερμοδυναμικός κύκλος Alphonse Eugène Beau de Rochas

4/ Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Lenoir

5/ Θερμικός κινητήρας Otto

6/ Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Brayton

7/ Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Atkinson

8/ Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Diesel

9/ Πυραυλοκινητήρας

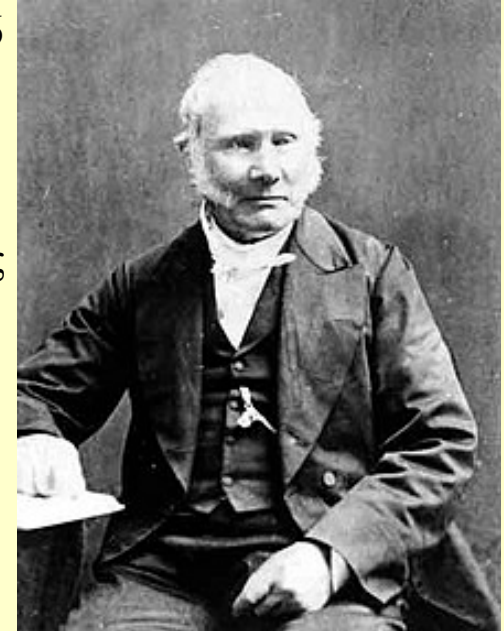
# Θερμικός κινητήρας Stirling

Ο σκωτσέζος Robert Stirling κατασκευάζει και πατεντάρει το 1816 ένα θερμικό κινητήρα. Την εποχή εκείνη η γνώση των θερμοδυναμικών φαινομένων είναι σε νηπιακή ηλικία ακόμα . Αργότερα διαμορφώνει τους alpha, beta και gama Stirling engines.

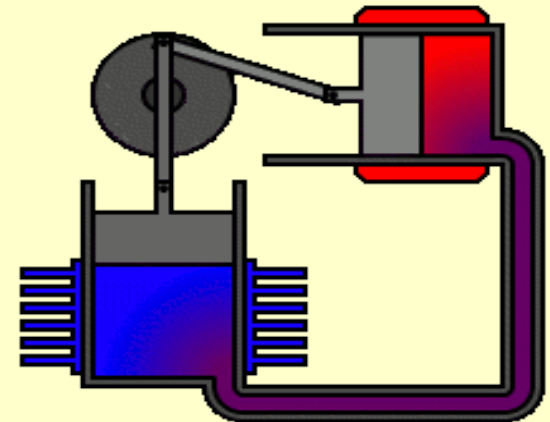


Ο κινητήρας είναι εξωτερικής καύσης χρειάζεται θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δύο θερμών πηγών ή αποθηκών, ανεξάρτητα από το είδος του καυσίμου.

Σήμερα πάλι γίνεται επίκαιρος λόγω των πλεονεκτημάτων του σε εφαρμογές για ηλεκτροπαραγωγή από απόβλητες ή μόνιμες πηγές θερμότητας.



(1790 - 1878)



# Θερμοδυναμικός κύκλος Carnot

Το 1824 ο **Nicolas Léonard Sadi Carnot** εκδίδει και δημοσιεύει ένα μικρό βιβλίο 118 σελίδων με τίτλο *“Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance“* – *Σκέψεις για την κινητήρια δύναμη της φωτιάς και τα μηχανήματα για την ανάπτυξη αυτής της δύναμης*, σε 600 αντίγραφα τα οποία χρηματοδοτεί μόνος του.

Ο 28-χρονος απόφοιτος της Ecole Polytechnique στρατιωτικός μηχανικός Sadi Carnot, καλός μαθηματικός και φυσικός, έθεσε τις αρχές της νέας επιστήμης **Θερμοδυναμική** προσφέροντας τη δυνατότητα για ανάπτυξη των θερμικών κινητήρων.

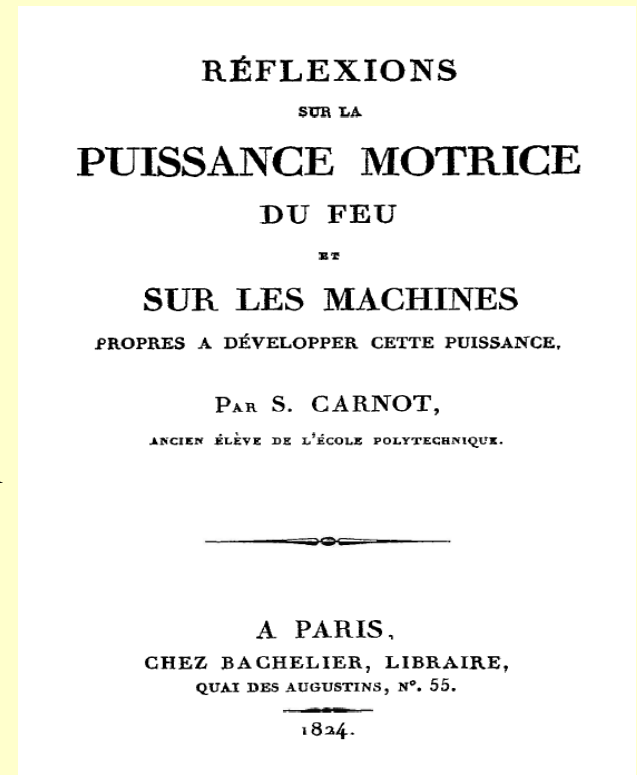
Ο πατέρας του Sadi Carnot, επίσης στρατιωτικός και μαθηματικός, του δίδαξε μαθηματικά και φυσική προτρέποντας τον να ακολουθήσει το επάγγελμα του στρατιωτικού που εκείνη την εποχή ακολουθούσαν οι πιο άξιοι και ικανοί νέοι. Καθηγητές του Sadi Carnot στο Ecole Polytechnique ήταν ο André-Marie Ampère, ο Joseph Louis Gay-Lussac, ο Siméon Denis Poisson και άλλοι σημαντικοί επιστήμονες.



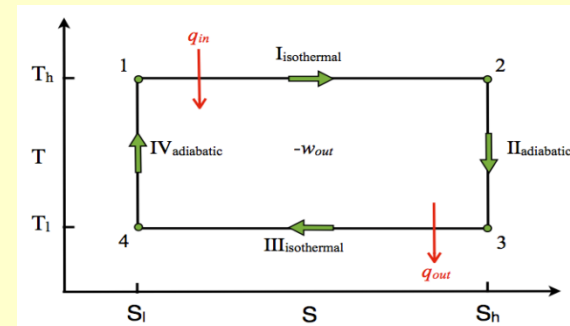
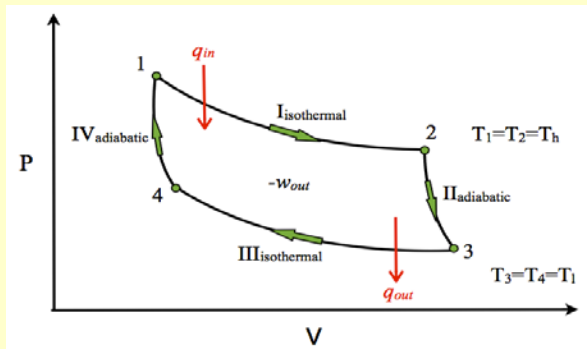
(1796 - 1832)

# Θερμοδυναμικός κύκλος Carnot

Λόγω του πατέρα του Lazare Carnot που ήταν υπουργός του Ναπολέοντα και τον οποίο η κυβέρνηση των Βουρβόνων είχε εξορίσει, ο Sadi Carnot είχε συνέχεια δυσμενές μεταθέσεις μέχρι που το 1828 έφυγε από το στρατό χωρίς σύνταξη. Ο Sadi Carnot πεθαίνει πολύ νέος 36 ετών από επιδημία χολέρας, λόγω της οποίας τα συγγράμματα του θάφτηκαν μαζί του. Έμεινε μόνο το βιβλίο του που είχε ήδη εκδοθεί και επανεκδίδεται πολλές φορές ακόμα και σήμερα. Ο **Carnot** αποδεικνύει ότι το έργο του θερμοδυναμικού κύκλου εξαρτάται από τις θερμοκρασίες, του περιβάλλοντος **T<sub>c</sub>** και της καύσης **T<sub>h</sub>**.



Δεξιά το βιβλίο του **Carnot** και κάτω τα διαγράμματα του θερμοδυναμικού του κύκλου .



# Θερμοδυναμικός κύκλος Carnot

Ο Carnot αναφέρει για πρώτη φορά στο βιβλίο του την έννοια απόλυτη θερμοκρασία διότι με τις υφιστάμενες δύο κλίμακες [Fahrenheit](#) καθιερωμένη το 1724 και του [Celsius](#) από το 1744 δεν έβγαιναν αποδεκτά αποτελέσματα .

**Υπολογισμός βαθμού απόδοσης κύκλου Carnot: με θερμοκρασίες Celsius και Fahrenheit**  
Εφαρμόζοντας τον βαθμό απόδοσης  $\eta = 1 - T_c / T_h$  με βαθμούς °C και °F διαπιστώνεται :

$$T_c = \text{Θερμοκρασία χαμηλή (το κρύο σημείο)} = 20^\circ\text{C} = 68^\circ\text{F} = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T_h = \text{Θερμοκρασία υψηλή (το θερμό σημείο)} = 1500^\circ\text{C} = 2732^\circ\text{F} = 273 + 1500 = 1773 \text{ K}$$

$$\text{Ότι ο βαθμός απόδοσης } \eta = 1 - T_c / T_h = 1 - 20 / 1500 = 1 - 0,013 = 98,7\% \text{ !!! με } ^\circ\text{C}$$

$$\eta = 1 - T_c / T_h = 1 - 68 / 2732 = 1 - 0,024 = 97,6\% \text{ !!! με } ^\circ\text{F}$$

Τελικά ο τύπος του Carnot  $\eta = 1 - T_c / T_h$  διατυπώθηκε από τον Lord Kelvin (1824 –1907) ο οποίος διαβάζοντας το σύγγραμμα του Carnot οδηγήθηκε στον υπολογισμό της θερμοκρασίας του απόλυτου μηδέν (  $-273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$  ) και τότε διατυπώνει τον τύπο του βαθμού απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου  $\eta = 1 - T_c / T_h$  αφιερώνοντας το στον Carnot.

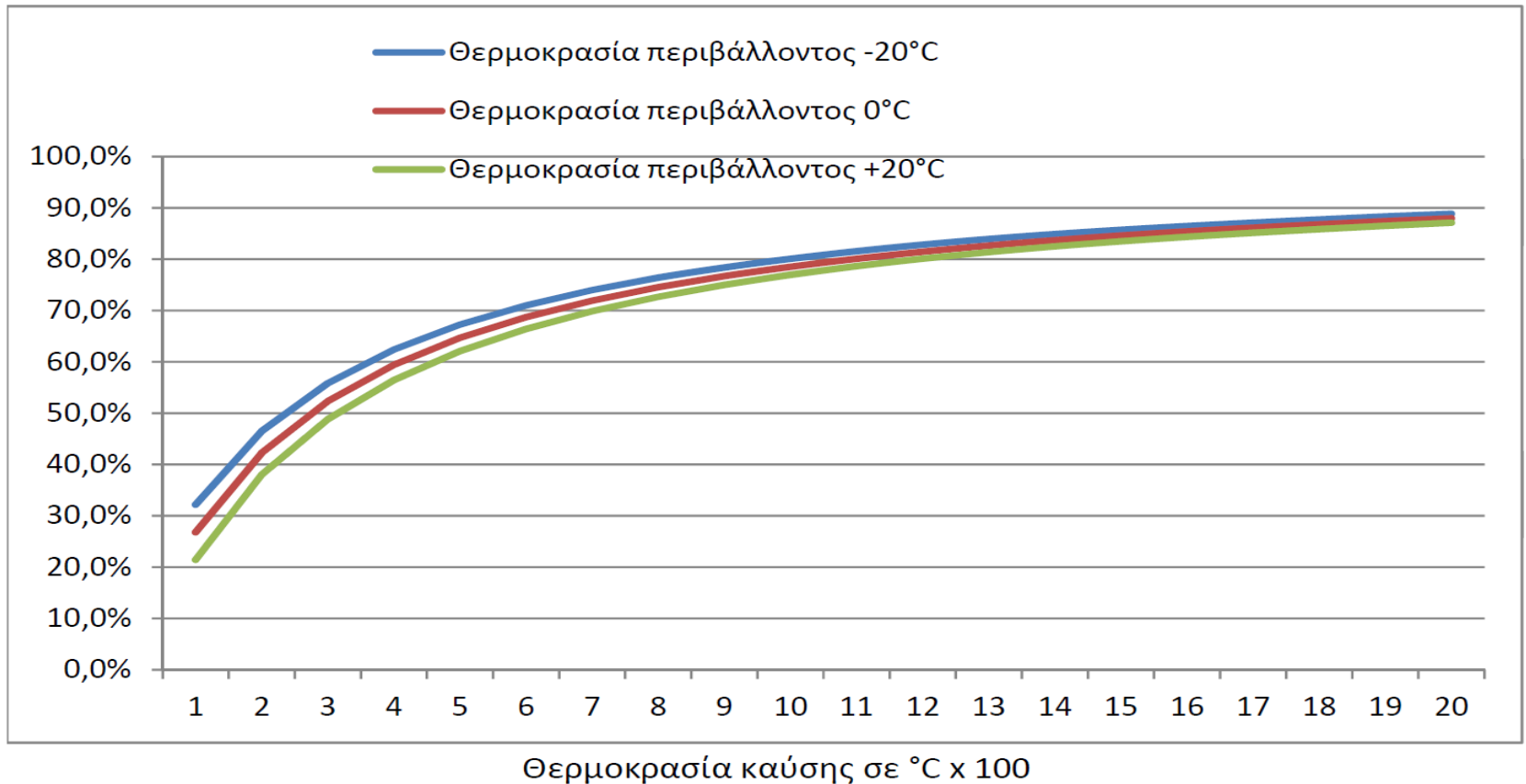
**Υπολογισμός βαθμού απόδοσης κύκλου Carnot με τις απόλυτες θερμοκρασίες Kelvin**

$$\text{Έτσι ο βαθμός απόδοσης είναι } \eta = 1 - T_c / T_h = 1 - 293 / 1773 = 1 - 0,165 = 0,835 = 83,5\%$$

και είναι το ανώτατο όριο γι αυτές τις θερμοκρασίες

# Θερμοδυναμικός κύκλος Carnot

Διάγραμμα βαθμού απόδοσης του κύκλου Carnot σε σχέση με την θερμοκρασία καύσης



Ανώτατα όρια του βαθμού απόδοσης του ιδεατού θερμοδυναμικού κύκλου Carnot σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία καύσης και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Φαίνεται ότι για την ίδια θερμοκρασία καύσης λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Carnot στις βόρειες χώρες είναι μεγαλύτερος.

# Θερμοδυναμικοί κύκλοι

Οι θερμοδυναμικοί κύκλοι αποτελούνται από 4 διαδικασίες που καθορίστηκαν το 1857 από τους ιταλούς [Eugenio Barsanti](#) και [Felice Matteucci](#).

- 1) Εισαγωγή του μείγματος καύσιμο & αέρα (πρόσληψη υλικού για καύση)
- 2) Καύση του μείγματος καύσιμο & αέρα (προσδίδεται η θερμότητα)
- 3) Εκτόνωση του παραγόμενου καυσαερίου (παραγωγή του έργου)
- 4) Εκκένωση των καυσαερίων (αποβολή περίσσιας θερμότητας)

Οι διαδικασίες αυτές δύναται να διεξάγονται σε κάποια από τις παρακάτω συνθήκες :

- Ισοβαρής (σταθερής πίεσης  $P = \text{constant}$ ) Isobaric
- Ισόχωρες (σταθερού όγκου  $V = \text{constant}$ ) Isochoric
- Ισοθερμικές (σταθερής θερμοκρασίας  $T = \text{constant}$ ) Isothermal
- Αδιαβατικές (χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον) Adiabatic

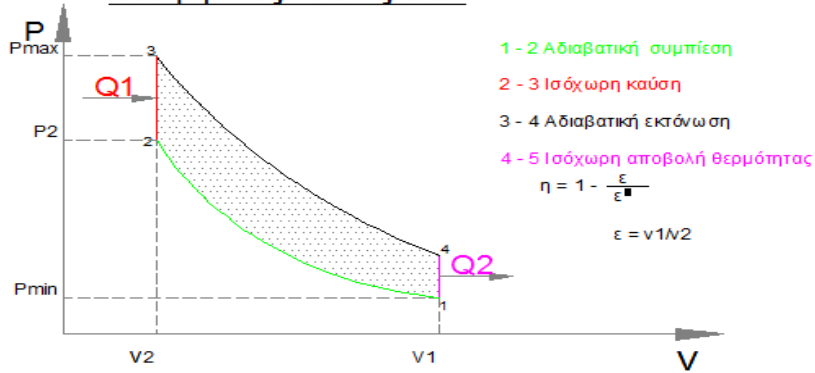
Έτσι έχουμε τους 4 βασικούς γνωστούς θεωρητικούς θερμοδυναμικούς κύκλους :

	Otto	Diesel	Brayton	Atkinson
Καύση	$V = \text{σταθερά}$	$P = \text{σταθερά}$	$P = \text{σταθερά}$	$V = \text{σταθερά}$
Αποβολή	$V = \text{σταθερά}$	$V = \text{σταθερά}$	$P = \text{σταθερά}$	$P = \text{σταθερά}$

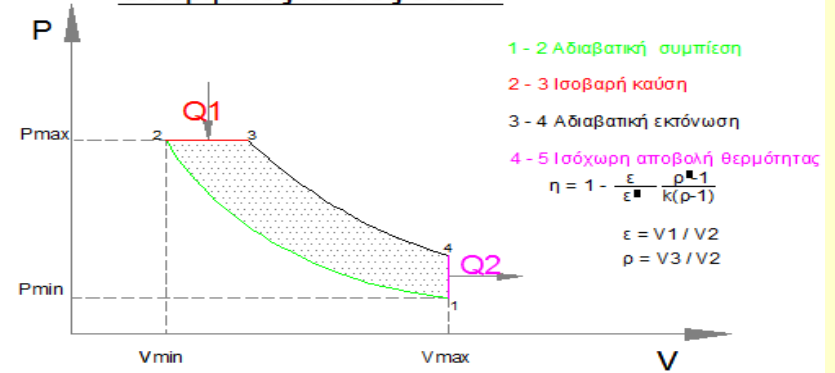


# Θερμοδυναμικοί κύκλοι

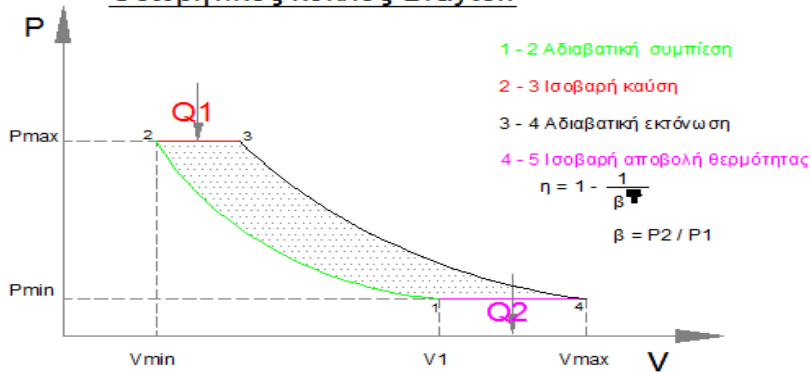
## Θεωρητικός κύκλος Otto



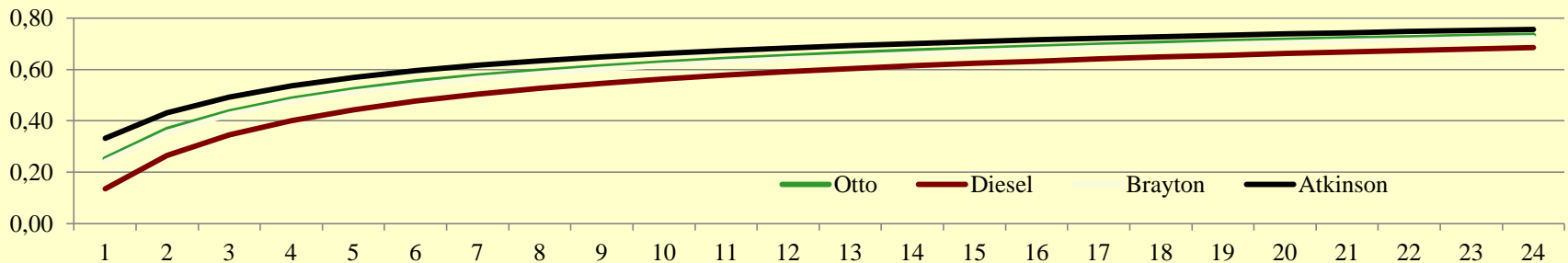
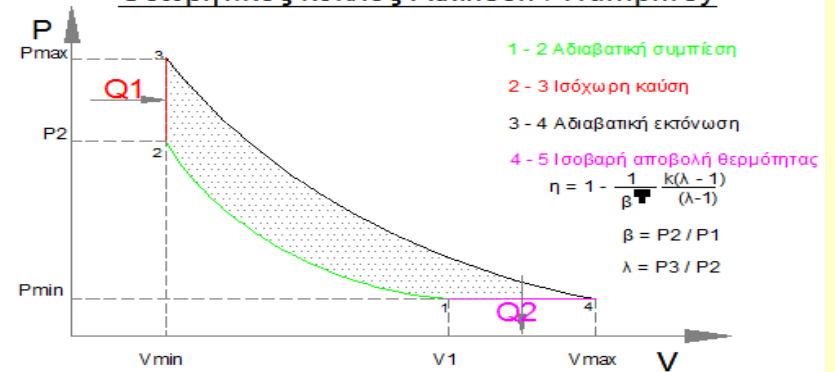
## Θεωρητικός κύκλος Diesel



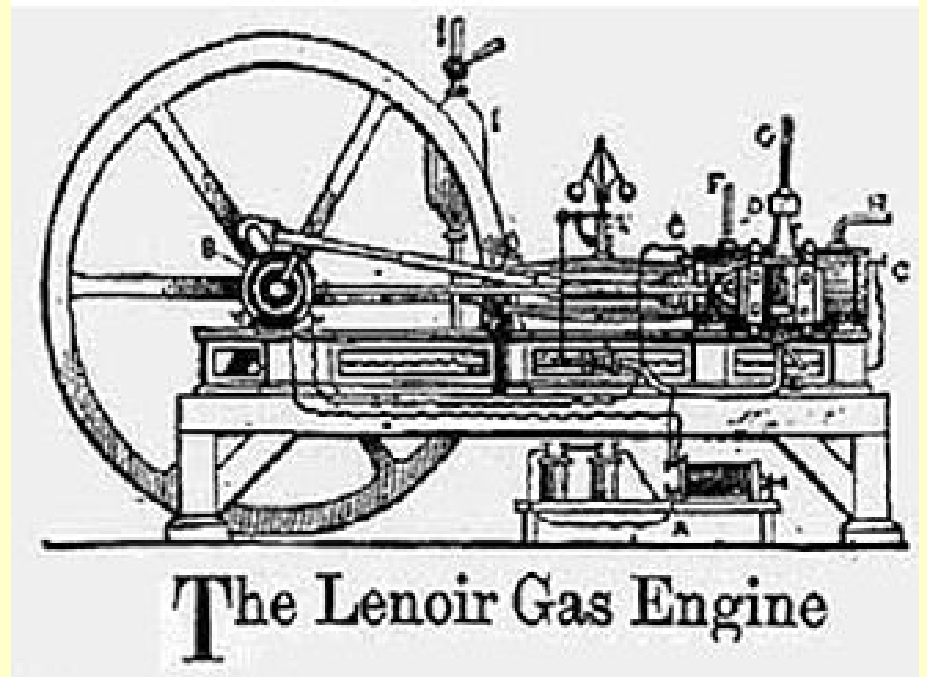
## Θεωρητικός κύκλος Brayton



## Θεωρητικός κύκλος Atkinson / Humphrey



# Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Lenoir

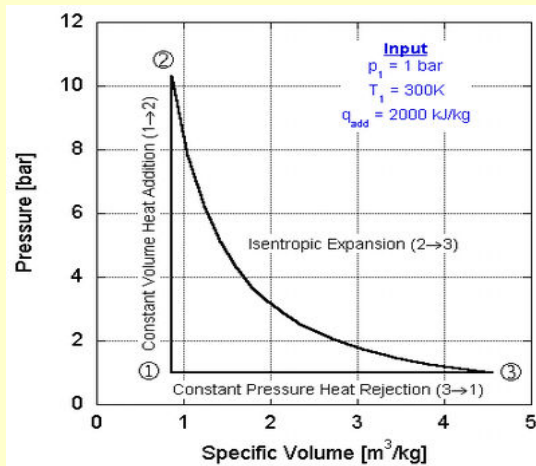


The Lenoir Gas Engine

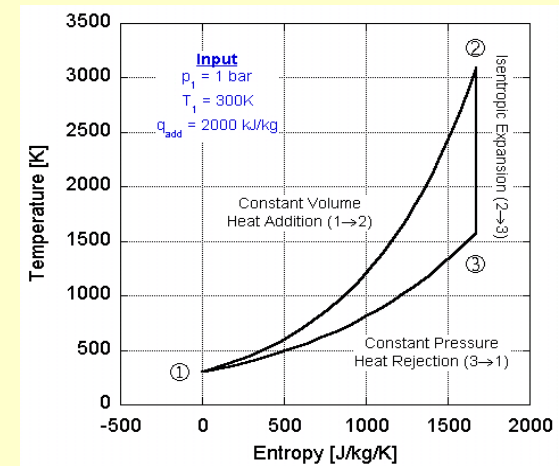
Το 1860 ο βέλγος μηχανικός [Jean Joseph Etienne Lenoir](#) (1822-1900) κατασκεύασε και παρήγαγε τον κινητήρα του, τον πρώτο εμπορικά πετυχημένο κινητήρα εσωτερικής καύσης. Κατέγραψε εμπορική επιτυχία λαμβάνοντας υπόψη ότι είχε πουλήσει περίπου 500 κινητήρες σε σταθερές εφαρμογές πριν την εμφάνιση του κινητήρα Otto.

Ο κινητήρας του Lenoir λειτουργούσε με αέριο καύσιμο από αεριοποιημένο άνθρακα.

# Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Lenoir



Τα διαγράμματα P-V και T-S του κύκλου [Lenoir](#) δείχνουν ότι ο κινητήρας δεν είχε συμπίεση. Πήρε τη θέση της ατμομηχανής των ατμοκίνητων μηχανών εργοστασίων (αργαλειούς, τόνους, μύλους κλπ) με την γρήγορη εκκίνηση του .

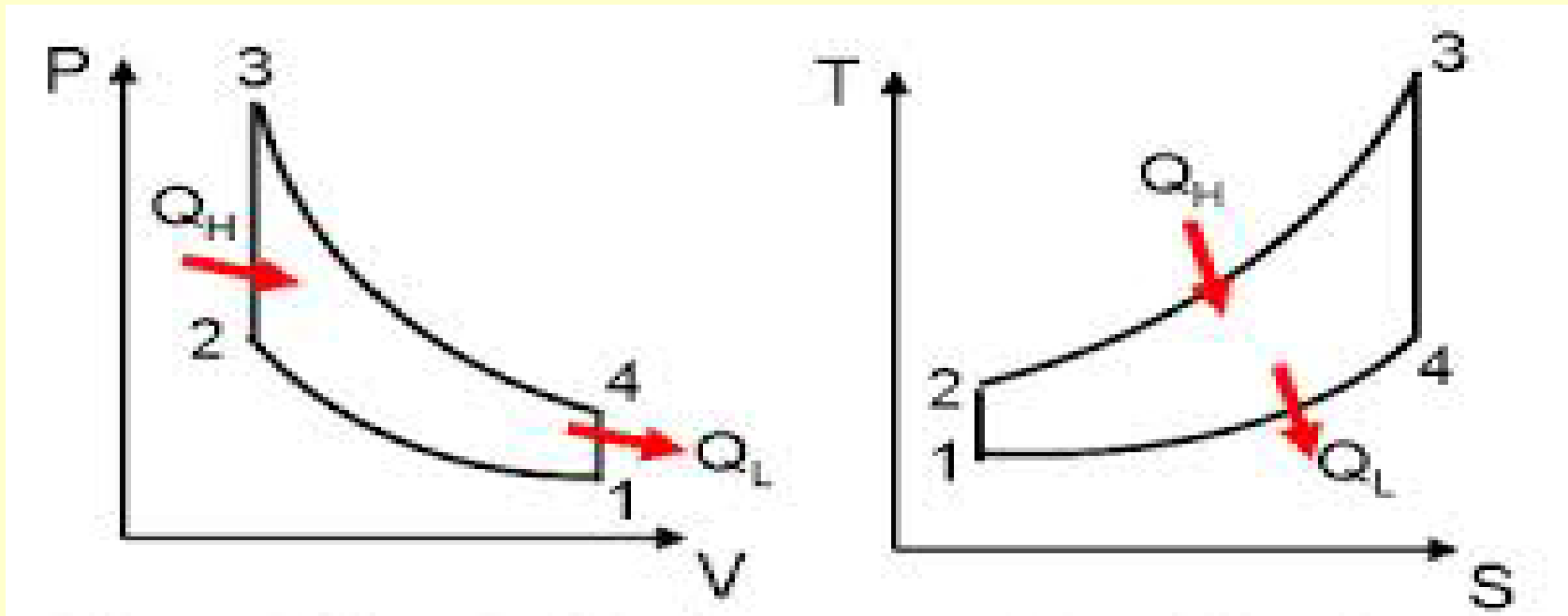


Παρά το ότι δεν χρησιμοποιούνταν για την κίνηση αυτοκινήτων που ήταν άγνωστη έννοια ακόμα από τον Lenoir μας έχουν μείνει ορισμένες εκφράσεις που σήμερα δεν τις δίνουμε σημασία αλλά δείχνουν τον πρωτεργάτη των κινητήρων εσωτερικής καύσης που αντικατέστησαν τις ατμομηχανές οι οποίες λόγω των ατμολεβήτων ήταν επικίνδυνες κατασκευές..

Στους βενζινοκίνητους και πετρελαιοκίνητους κινητήρες για αύξηση της ισχύος χρησιμοποιείται η έκφραση «δώσε γκάζι» (σε όλες τις γλώσσες). Αυτό στα γαλλικά σημαίνει «δώσε αέριο» κάτι που έχει μείνει από την εποχή του αεριοκινητήρα του Lenoir διότι η αύξηση της ισχύος σήμαινε αύξηση της αεριοποίησης του άνθρακα – άρα αέριο.

Ο όρος μπουζί (bougie) που σημαίνει κερί στα γαλλικά επίσης έμεινε από τον κινητήρα του Lenoir ο οποίος είχε ονομάσει τη συσκευή ανάφλεξης του μείγματος καυσίμου – αέρα με σπινθήρα στον κινητήρα του. (bougie το λένε και στα ολλανδικά ως βέλγοι γείτονες). Οι περισσότερες γλώσσες χρησιμοποιούν τη λέξη κερί στις γλώσσες τους από το γαλλικό bougie.

# Θερμοδυναμικός κύκλος Alphonse de Rochas

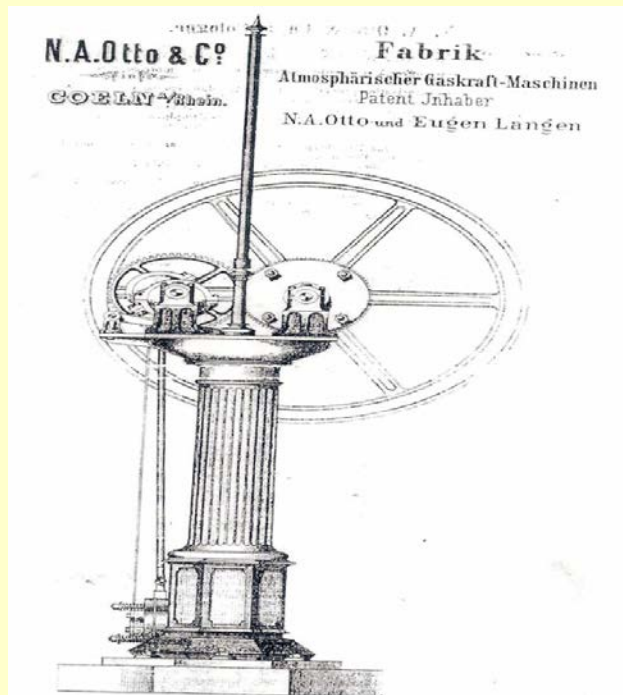


Ο γάλλος μηχανικός [Alphonse Beau de Rochas](#) πατεντάρει το 1862 τη λειτουργία θερμικού κινητήρα που η λειτουργία του θα βασίζεται σε τέσσερις βασικές διαδικασίες  
1) αναρρόφηση αέρος , 2) συμπίεση , 3) καύση και εκτόνωση , 4) εκκένωση των καυσαερίων  
Η εποχή είναι πλούσια σε περιγραφές θερμικών κινητήρων όπως των ιταλών [Eugenio Barsanti](#) και [Felice Matteucci](#) από το 1857 και άλλων.

Είναι η βάση λειτουργίας των γνωστών μας τετράχρονων κινητήρων και του κινητήρα Otto.

# Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Otto

Ο **Nicolaus August Otto** ιδρύει το 1864 επιχείρηση κατασκευής κινητήρων με τον Eugen Langen και παρουσιάζουν την κατασκευή τους στη διεθνή έκθεση του Παρισιού το 1867. Πήρε το χρυσό βραβείο της έκθεσης αλλάζοντας την πορεία της τεχνολογίας. Ο κινητήρας Otto είχε βαθμό απόδοσης ~20%, πολύ μεγαλύτερος από το ~10% των ατμομηχανών. Ο κινητήρας τους είχε μικρή συμπίεση που με την εξέλιξη των καυσίμων αυξήθηκε και ο βαθμός απόδοσης των κινητήρων του τύπου Otto σήμερα αγγίζει το 30%.

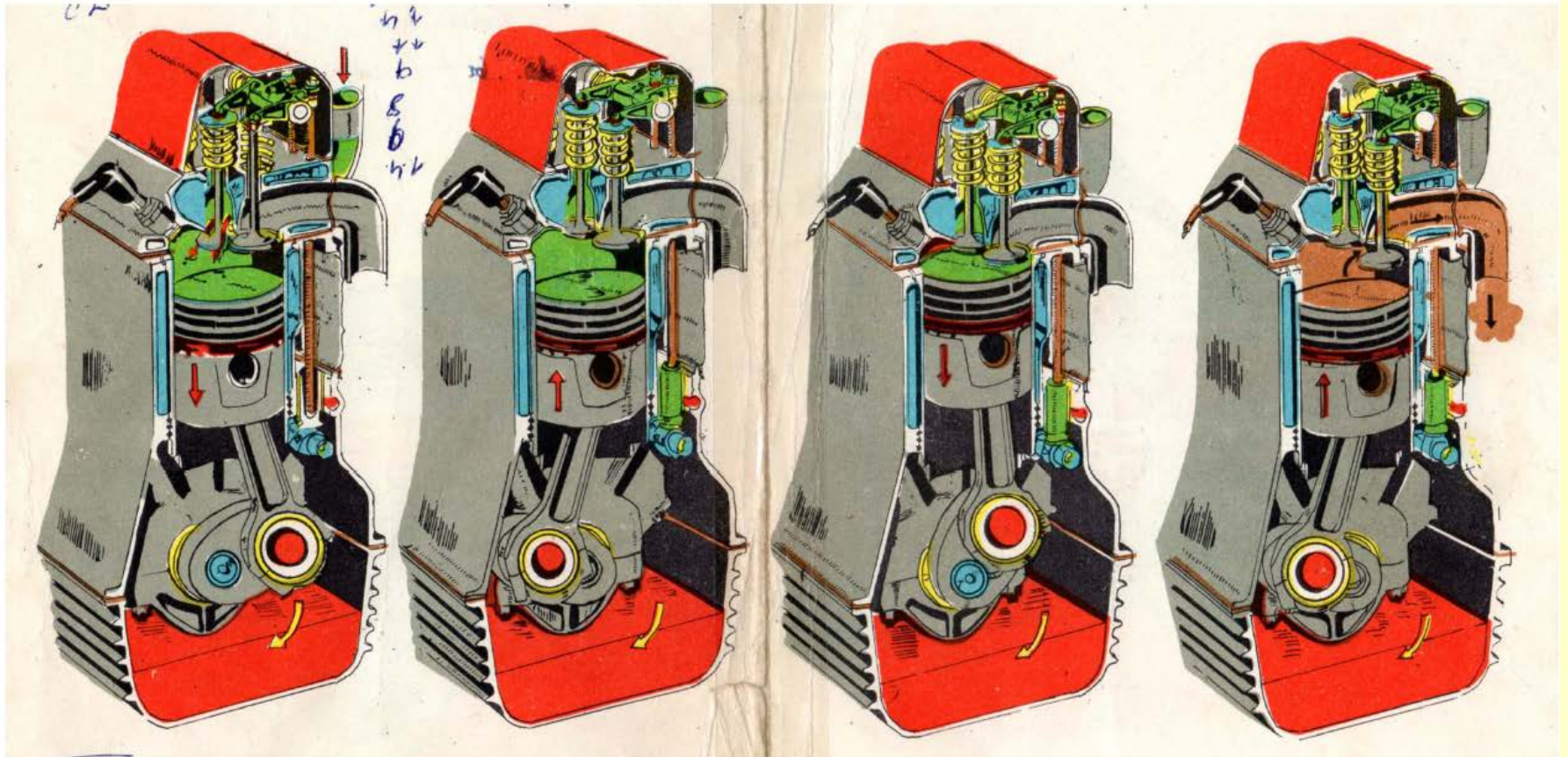


Ο Nikolaus Otto είδε τον κινητήρα του Lenoir το 1861 και κατάλαβε τι θησαυρός είναι, επενδύοντας σε αυτόν. Η συνεισφορά του Otto και Langen είναι η υλοποίηση των περιγραφών του προηγούμενων, de Rochas κλπ και η κατασκευή κινητήρα όπως του κινητήρα Lenoir, προσθέτοντας την καλή ποιότητα της λειτουργίας του. Σήμερα η εταιρία του είναι η γνωστή Deutz AG η οποία όμως κατασκευάζει Diesel κινητήρες.



# Θερμοδυναμικός κύκλος Otto

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥ BENZINOKINHTHRA (ΚΥΚΛΟΥ OTTO)



1τος χρόνος  
Εισαγωγή - αναρρόφηση  
Το έμβολο κινείται προς το Κ.Ν.Σ. και εισάγει - αναρροφά το μείγμα αέρα-καυσίμου μέσω της ανοικτής βαλβίδας εισαγωγής

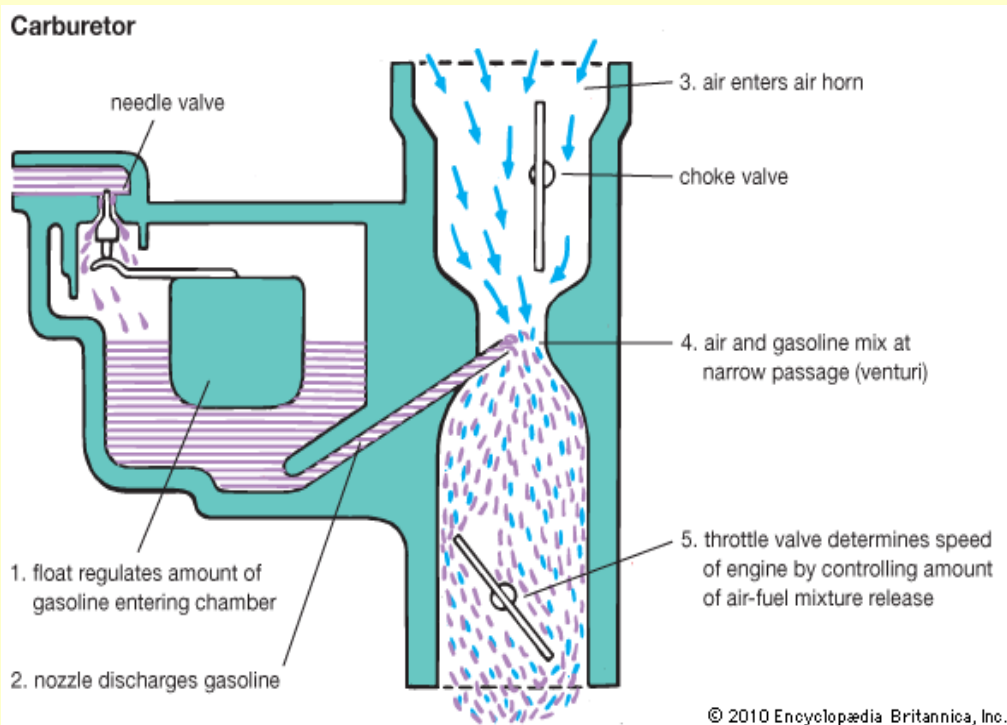
2τος χρόνος  
Συμπίεση  
Το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. συμπιέζοντας το μείγμα αέρα-καυσίμου οι βαλβίδες είναι κλειστές

3τος χρόνος  
Έναυση, καύση και εκτόνωση  
Το έμβολο κινείται προς το Κ.Ν.Σ. από την πίεση των καυσαερίων οι βαλβίδες είναι κλειστές

4τος χρόνος  
Εκκένωση  
Το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. εκκενώνοντας τον κύλινδρο απ' τα καυσαέρια μέσω της ανοικτής βαλβίδας εξαγωγής

# Εξέλιξη μετά τον κινητήρα του Nikolaus Otto

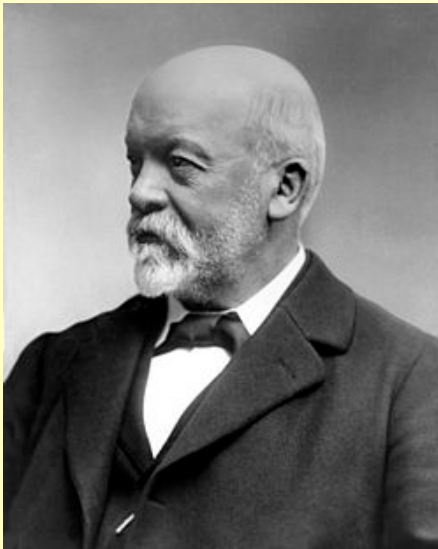
Ο Ιταλός [Luigi De Cristoforis](#) εφευρίσκει το 1876 συσκευή εισαγωγής υγρού καυσίμου στον κινητήρα, το carburetor (εκείνη την εποχή η έννοια ενέργεια και κάρβουνο ήταν συνώνυμα και λογικό ήταν να ονομαστεί η νέα συσκευή καρβουνοποιητής στα γαλλικά,) Ο [Enrico Bernardi](#) από το πανεπιστήμιο της Padua βελτιώνει τη συσκευή και τη χρησιμοποίησε το 1882 για πρώτη φορά σε ένα κινητήρα 121 cm<sup>3</sup> με καύσιμο τη βενζίνη. (ένα καθαριστικό από τα φαρμακεία ). Έτσι ανοίγει στην Ευρώπη ο δρόμος για τη χρήση των υγρών καυσίμων ως καύσιμο για τους κινητήρες και συγκεκριμένα της βενζίνης που είναι παράγωγο του αργού πετρελαίου. Από εκείνη τη χρονιά ο κινητήρας Otto γίνεται αυθαίρετα συνώνυμος με το βενζινοκινητήρα .



Η λέξη **βενζίνη** ξεκινά από τα Αραβικά: luben dgiawi (το λιβάνι της Ιάβας) προσδιορίζοντας τη μυρωδιά του δένδρου *styrax benzoe*, που φύεται στην Ιάβα και τη Σουμάτρα. Το 1833 ο Γερμανός χημικός E. Mitscherlich μετατρέπει το **luben dgiawi**, σε **benjoin** (κόβει το lu-, από το luben, θεωρώντας το άρθρο). Έτσι, εξαιτίας αυτού του λάθους δημιουργήθηκε το θέμα μπενζ benz και απ' εδώ παρήχθησαν πολλές λέξεις, όπως: βενζόη (το φυτό), βενζόλη, βενζίνη, βενζινοκινητήρας και πολλές άλλες.

# Εξέλιξη μετά τον κινητήρα του Nikolaus Otto

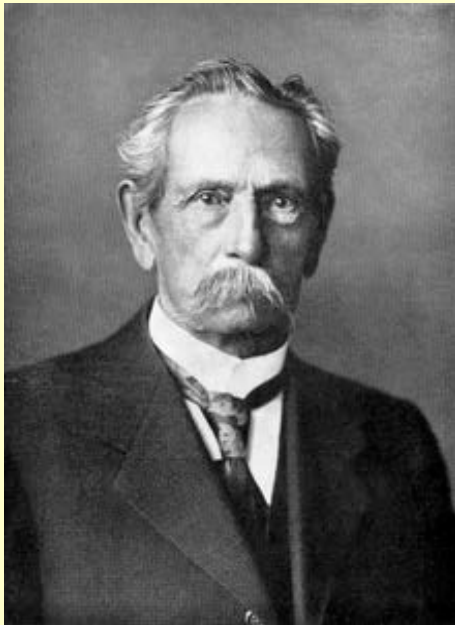
Το 1872 ο μηχανικός **Gottlieb Daimler** είναι διευθυντής της εταιρίας [Deutz-AG-Gasmotorenfabrik](#) του Nicolaus Otto κατασκευής σταθερών αεροκινητήρων και σχεδιαστής τους ο φίλος του Wilhelm Maybach. Λόγω ασυμφωνίας χαρακτήρων Otto και Gottlieb απολύεται ο Daimler το 1880. Το 1883 ο Daimler και Maybach κατοχυρώνουν πατέντα μικρού κινητήρα που λειτουργεί με ligroin (ένα απόσταγμα του πετρελαίου). Το 1885 ο **Daimler** κατασκευάζει το πρώτο του όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης το Reitwagen. Επιδίωξη του είναι να κατασκευάζει κινητήρες που θα έχουν εφαρμογή στα οχήματα της στεριάς, στα πλωτά σκάφη στη θάλασσα και σε ιπτάμενα στον ουρανό. Το όνειρο του εν μέρει γίνεται πραγματικότητα μετά το θάνατο του όταν το 1926 δημιουργείται η εταιρία Daimler-Benz μεταξύ των εταιριών [Daimler Motoren Gesellschaft](#) και [Karl Benz's & Cie](#), με σήμα τις ακτίνες στις τρεις κατευθύνσεις για τις οποίες προορίζονταν οι κινητήρες του Daimler.



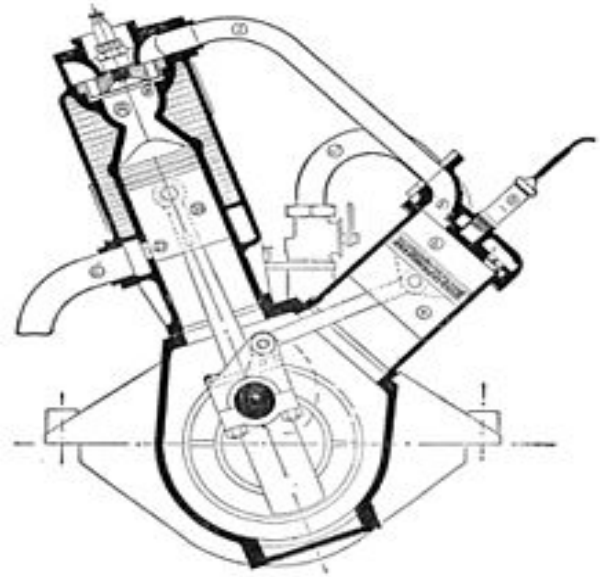


# Εξέλιξη μετά το κινητήρα του Nikolaus Otto

Το 1885 ο μηχανολόγος μηχανικός **Carl Friedrich Benz** κατοχυρώνει πατέντα και κατασκευάζει το πρώτο αυτοκίνητο [Benz Patent-Motorwagen](#) με κινητήρα εσωτερικής καύσης τροφοδοτούμενο με βενζίνη. Το καύσιμο που χρησιμοποιεί, έχει την ονομασία benzin και η έκφραση Benzin Motorwagen ή Benz in Automobile (Benzin Automobile) στα γερμανικά σημαίνει εκτός από το **ο Benz στο αυτοκίνητο και βενζινοκίνητο αυτοκίνητο** που μάλλον είναι και η αρχική σημασία της έκφρασης που καθιερώνει και την ονομασία του καυσίμου. Η ίδια η λέξη benzin ταξιδεύει και υιοθετείται από γερμανόφωνες και σλαβόφωνες χώρες ενώ στα αγγλικά για να ξεχωρίζουν (ως συνήθως) χρησιμοποιούνται οι λέξεις petrol ή gasoline και στα γαλλικά η essence (που σημαίνει απόσταγμα).

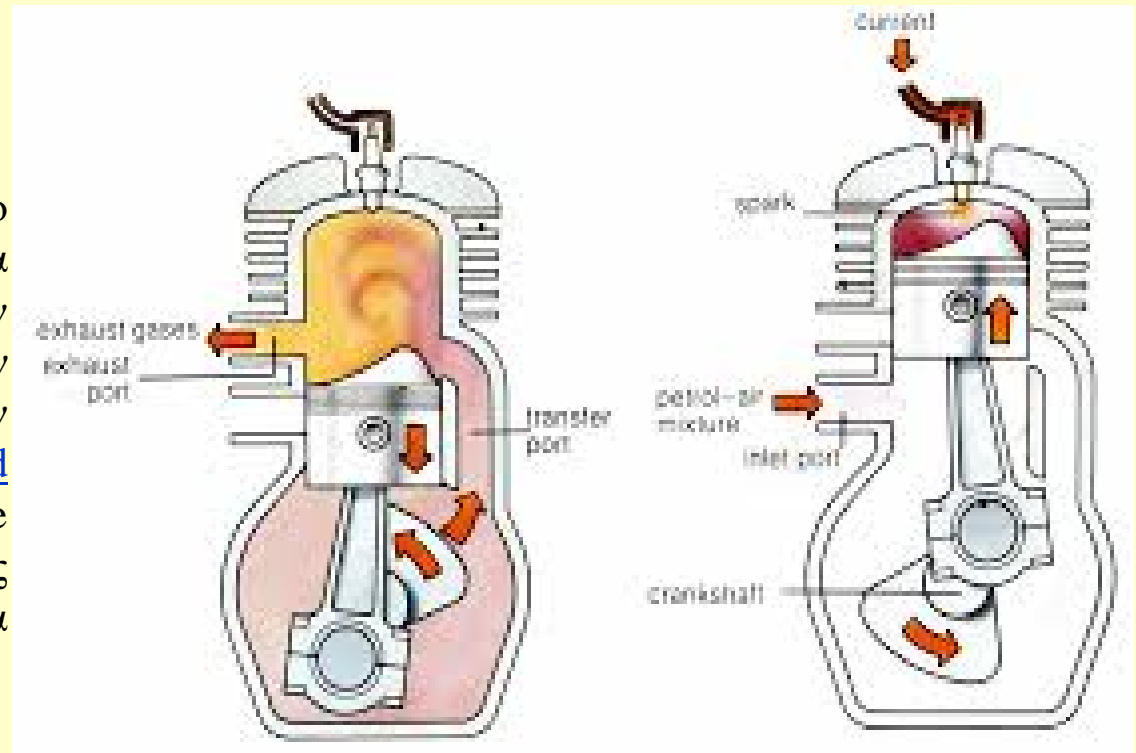


# Εξέλιξη μετά τον κινητήρα του Nikolaus Otto



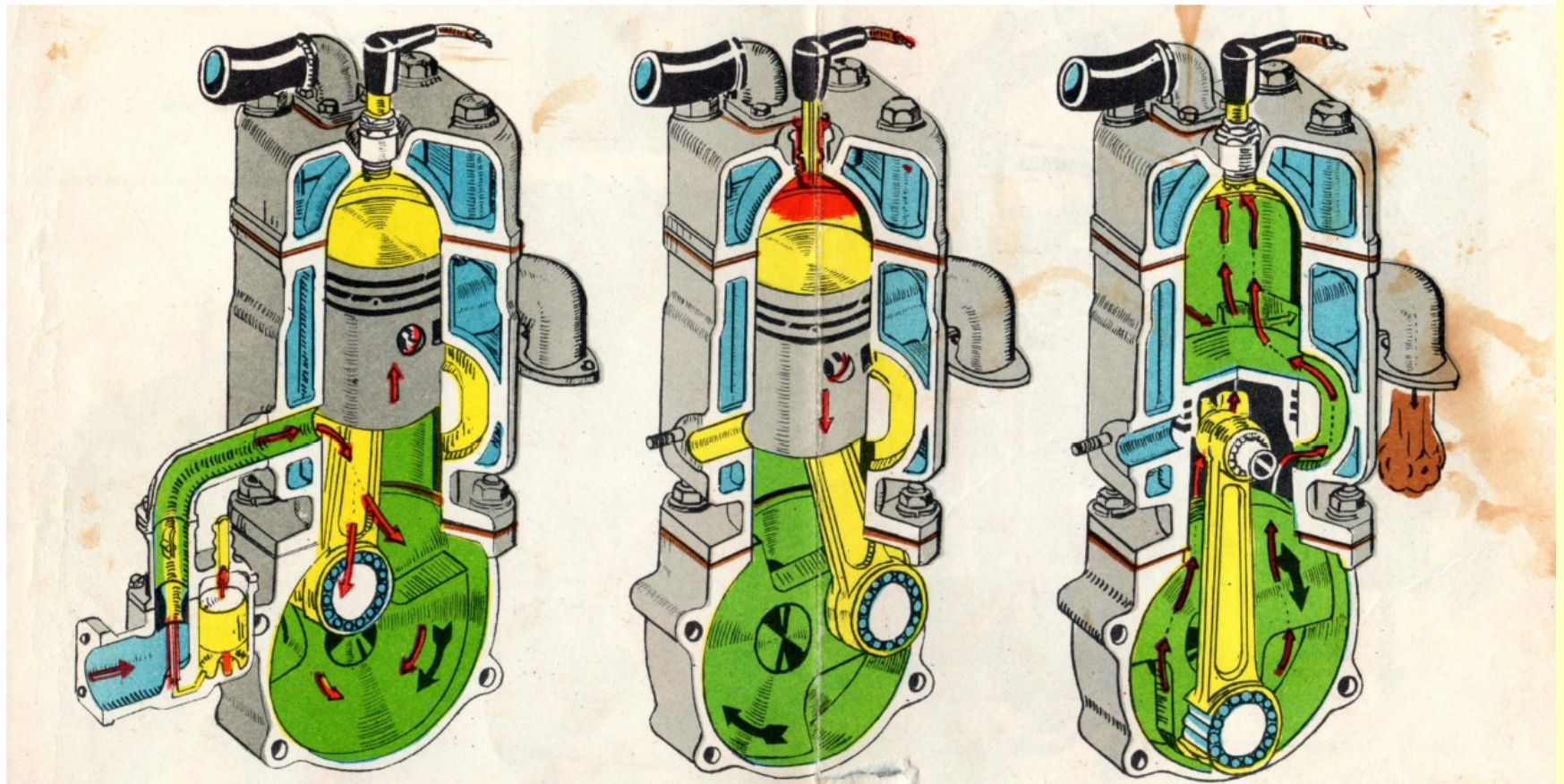
Ο σκωτσέζος μηχανικός [Dugald Clerk](#), σχεδιάζει και πατεντάρει το 1881 το δίχρονο κινητήρα ο οποίος έχει καλύτερη σχέση ισχύος προς βάρος. Δεν έχει βαλβίδες οι οποίες με το δύσκολο έλεγχό τους ακριβαίνουν την κατασκευή, έχει όμως ένα βοηθητικό κύλινδρο για την επίτευξη της λειτουργίας του.

Η έμπνευση να χρησιμοποιείται ο χώρος κάτω από το έμβολο για βοηθητική συμπίεση ανήκει στον άγγλο [Joseph Day](#) ενώ την κατασκευή των δίχρονων κινητήρων ξεκίνησε ο [Alfred Angas Scott](#) από το Yorkshire κατασκευάζοντας δικύλινδρους υδρόψυκτους κινητήρες για δίκυκλο το 1908.



# Δίχρονος βενζινοκινητήρας κύκλου Otto

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΑ (ΚΥΚΛΟΥ OTTO)



1τος χρόνος

Το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. συμπιέζει το μείγμα αέρα-καυσίμου στον κύλινδρο και αναρρόφηση μείγμα αέρα - καυσίμου στο κάτω μέρος του εμβόλου εισάγει - αναρροφά το μείγμα αέρα-καυσίμου

2ρος χρόνος

Το έμβολο κινείται προς το Κ.Ν.Σ. από την πίεση των καυσαερίων

Το έμβολο στο Κ.Ν.Σ. ανοίγει τις θυρίδες εκτόνωσης των καυσαερίων και ταυτόχρονα τις θυρίδες πλήρωσης του κυλίνδρου με νέο μείγμα αέρα - καυσίμου



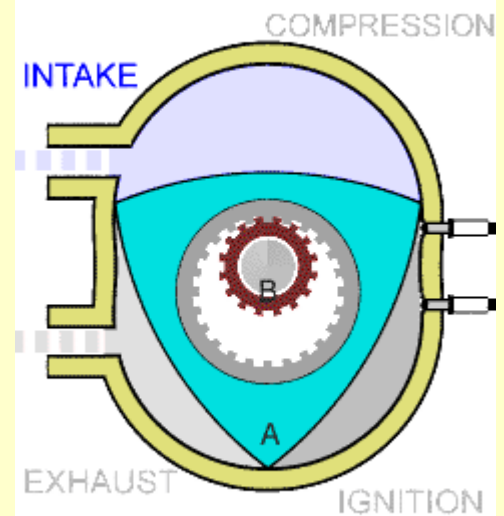
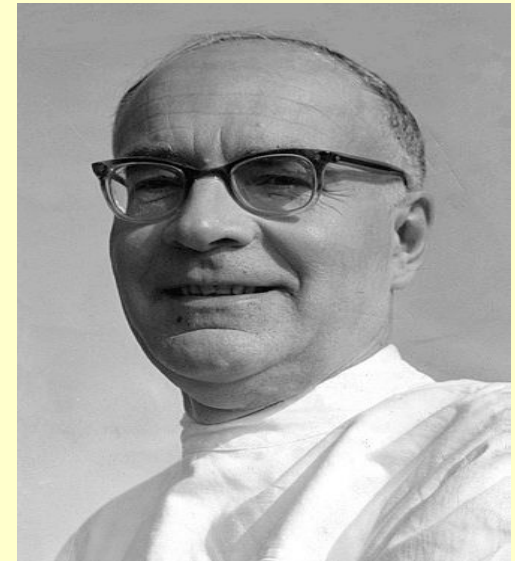
# Εφαρμογή του κύκλου Otto με κινητήρα Wankel

Το 1929 ο Felix Wankel, γερμανός μηχανικός πατεντάρει ένα νέο κινητήρα. Ο κινητήρας του Wankel υποσχόταν πολλά και έτσι στην διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου η BMW του παραχωρεί ένα εργοστάσιο-εργαστήριο για να κατασκευάσει αεροπορικό κινητήρα σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του.

Η κατασκευή του κινητήρα όμως έγινε δυνατή μετά την επίτευξη παραγωγής της επιτροχοϊδας δηλαδή της καμπύλης που παρουσιάζει ο στάτης του κινητήρα Wankel πολύ μετά τη λήξη του πολέμου. Έτσι όταν βρέθηκε ο τρόπος στεγάνωσης των κινητών μερών (του ρότορα) στον κορμό του κινητήρα το 1957, ο Wankel καταφέρνει να κατασκευάσει το πρωτότυπό του με την εταιρία NSU και να εφαρμοστεί στο πρώτο αυτοκίνητο NSU Ro80 με το νέο κινητήρα Wankel. Το δομικό του πρόβλημα όμως που ήταν η πολύ μεγάλη σχέση της περιβάλλουσας επιφάνειας / όγκο του φλογοθαλάμου δεν επιτρέπει να μειωθεί η υψηλή κατανάλωση καυσίμου, περιορίζοντας έτσι πολύ το πεδίο εφαρμογής του νέου αυτού υποσχόμενου κινητήρα.

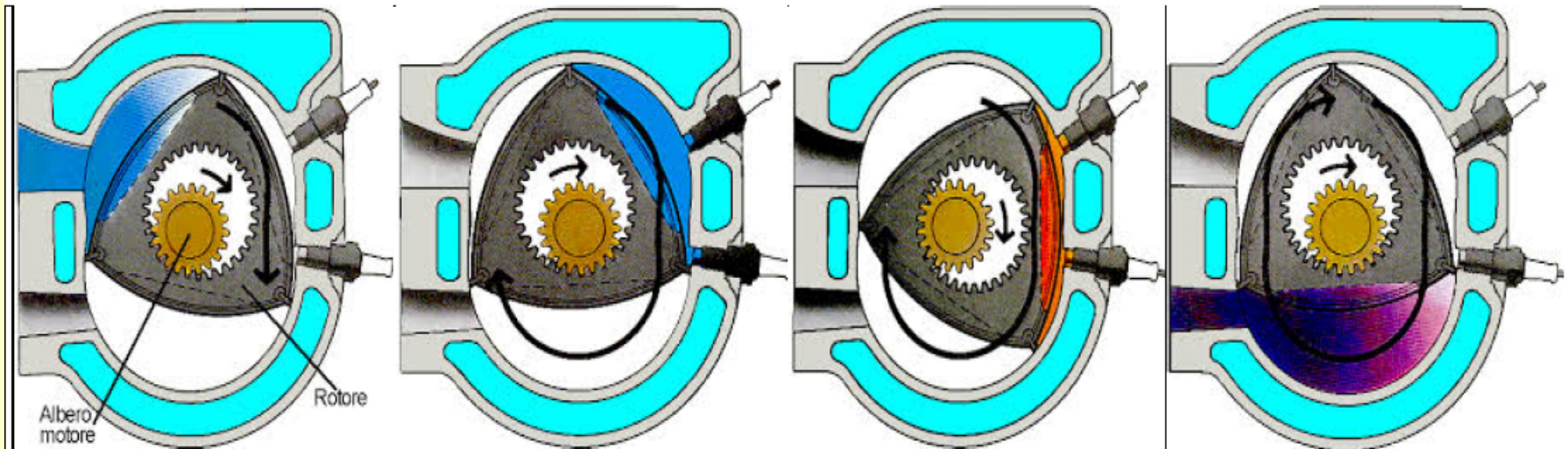
Μετά την εμπορική της αποτυχία η εταιρία NSU κλείνει και μαζί με την Horch, DKW, και Wanderer σχηματίζουν τους 4 ενωμένους κύκλους της Auto Union Deutsch Industry (AUDI).

Η λέξη Audi στα λατινικά είναι το ίδιο με το horch στα γερμανικά .



# Εφαρμογή του κύκλου Otto με κινητήρα Wankel

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ WANKEL (ΚΥΚΛΟΥ OTTO)



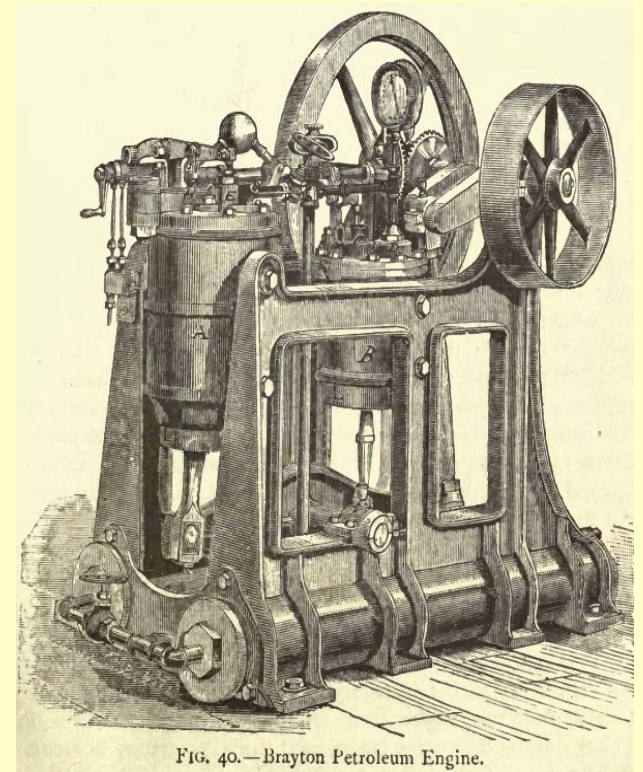
1τος χρόνος	2ρος χρόνος	3τος χρόνος	4τος χρόνος
Εισαγωγή - αναρρόφηση του μείγμα αέρα-καυσίμου στον 1το θάλαμο Ο 1τος χρόνος αρχίζει από την στιγμή που η ακμή του περιστρεφόμενου εμβόλου ανοίγει τη θυρίδα εισαγωγής και τελειώνει όταν η δεύτερη ακμή την κλείσει	Συμπίεση του μείγμα αέρα-καυσίμου στον 1το θάλαμο Ο 2ρος χρόνος αρχίζει την στιγμή που η ακμή του περιστρεφόμενου εμβόλου κλείσει τη θυρίδα εισαγωγής και τελειώνει όταν γίνει η έναυση του μίγματος αέρα - καυσίμου	Έναυση, καύση και εκτόνωση των καυσαερίων στον 1το θάλαμο. Ο 3τος χρόνος αρχίζει από την στιγμή που η ακμή του περιστρεφόμενου εμβόλου ξεπεράσει τους σπινθηριστές	Εκκένωση των καυσαερίων από τον 1το θάλαμο. Ο 4το χρόνος αρχίζει την στιγμή που η ακμή του περιστρεφόμενου εμβόλου ανοίγει τη θυρίδα εξαγωγής και τελειώνει όταν η δεύτερη ακμή την κλείσει

Ο κινητήρας τύπου Wankel λειτουργεί ταυτόχρονα με τους τρεις του θαλάμους, ταυτόχρονα στον έναν θάλαμο γίνεται η αναρρόφηση και στον άλλον θάλαμο γίνεται η εκκένωση ενώ στον τρίτο γίνεται καύση, μπορεί να παρομοιαστεί η λειτουργία του σαν ένα 3κύλινδρο κινητήρα. Οι έκκεντρες μάζες του περιστρεφόμενου εμβόλου στην λειτουργία τους παρουσιάζουν κραδασμούς και γι'αυτό οι περισσότεροι κινητήρες Wankel λειτουργούν με δύο περιστρεφόμενα έμβολα σε δύο κορμούς όπου οι αντίθετες κατά 180°εκκεντρότητες των εμβόλων επιτυγχάνουν ομαλότητα στην λειτουργία όπως ένας 6κύλινδρος κινητήρας.

# Θερμοδυναμικός κύκλος Brayton



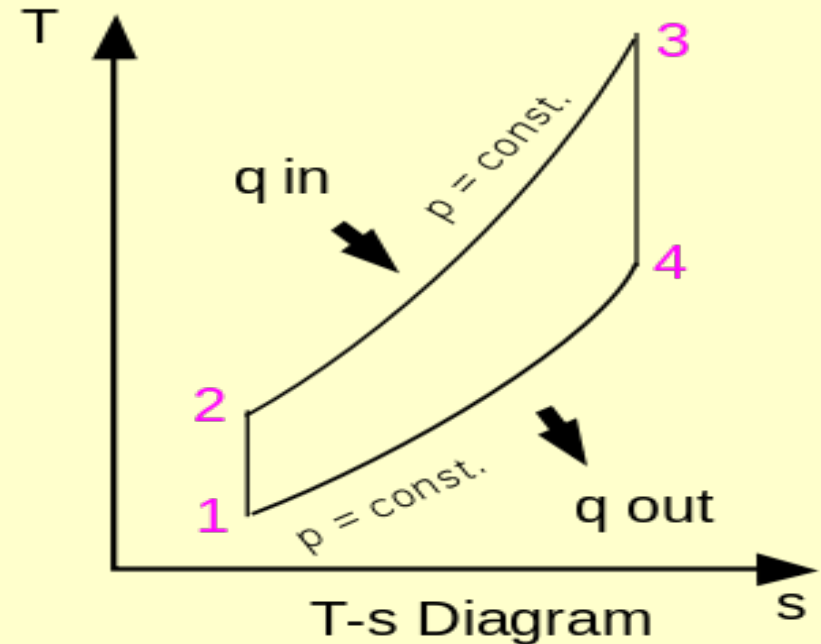
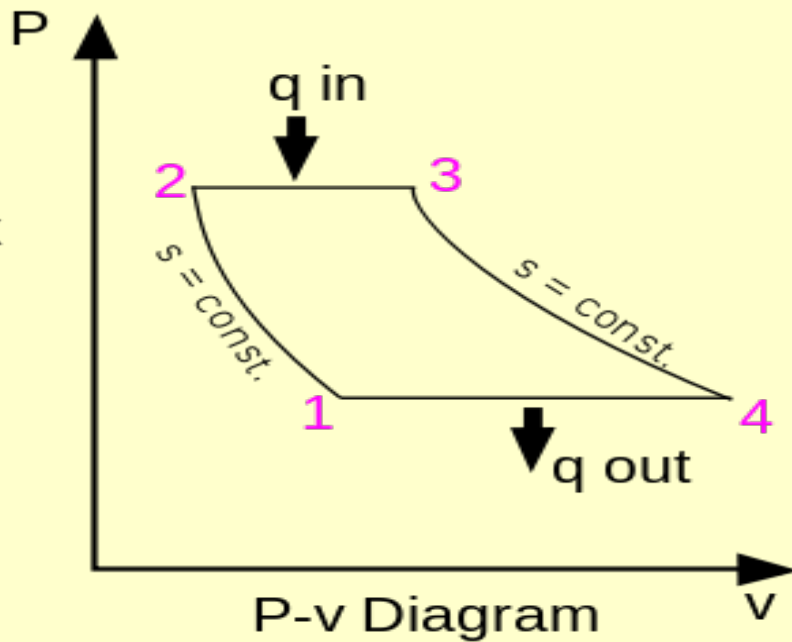
Το 1872 ο George Brayton πατεντάρει στην Αμερική κινητήρα με την ονομασία Brayton's Ready Motor ο οποίος αποτελείται από δύο κυλίνδρους, συμπίεσης, εκτόνωσης και θάλαμο καύσης. Είναι δικύλινδρος, δίχρονος κινητήρας, ο πρώτος κύλινδρος συμπιέζει αέρα στο θάλαμο καύσης όπου ψεκάζεται καύσιμο και στο δεύτερο κύλινδρο γίνεται η εκτόνωση και παραγωγή έργου.



Το 1874 ο Brayton πατεντάρει σύστημα ψεκασμού υγρού καυσίμου παράγωγο του πετρελαίου εισάγοντας για πρώτη φορά το πετρέλαιο στην κίνηση των κινητήρων. Παρόλο που ο Brayton κατασκευάζει εμβολοφόρο κινητήρα ο κύκλος Brayton στην πραγματικότητα βρίσκει εφαρμογή στους στροβιλοκινητήρες μετά το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου και γίνεται το όνομά του συνώνυμο με τους στροβιλοκινητήρες.

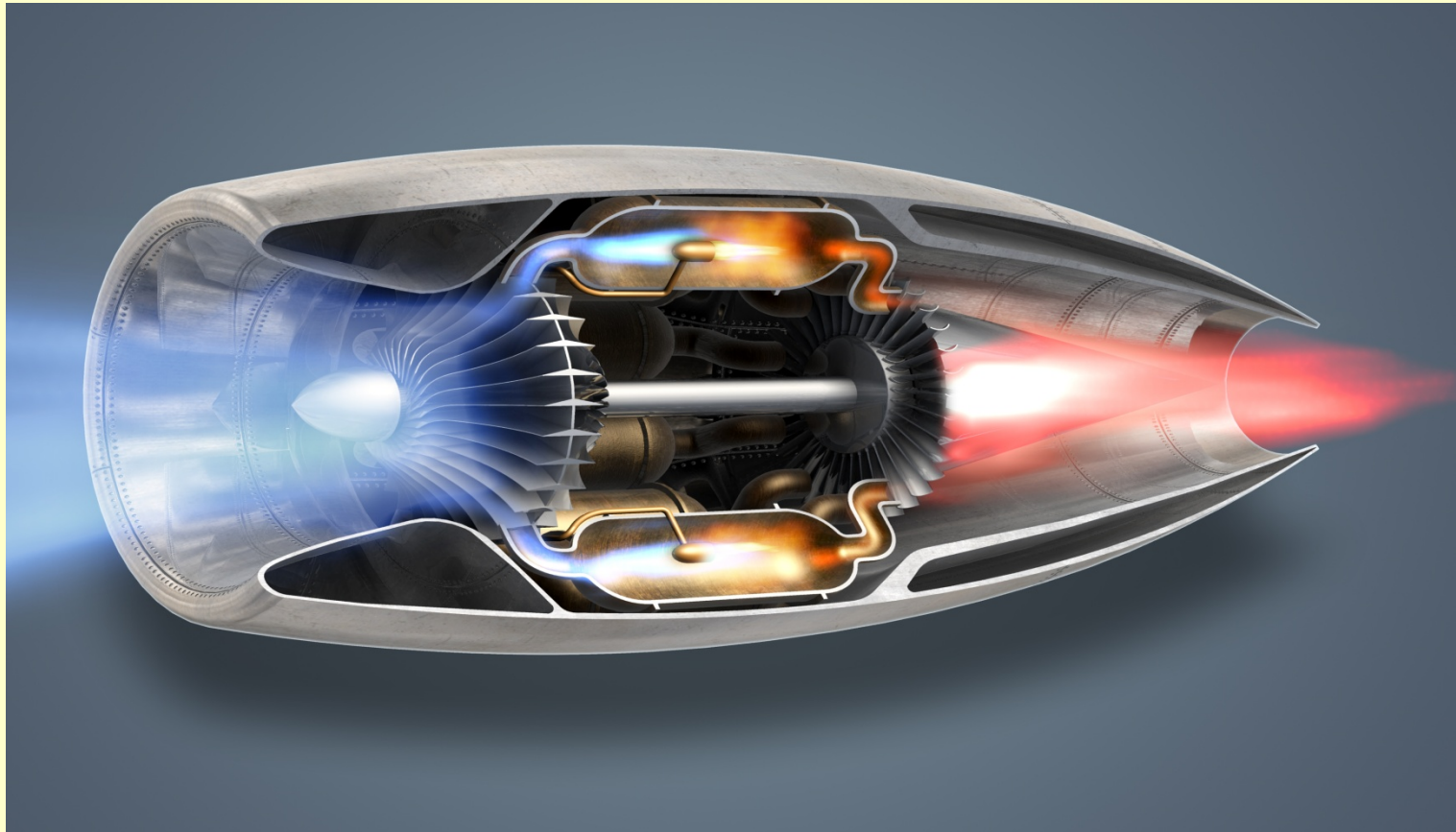


# Θερμοδυναμικός κύκλος Brayton



Ο κινητήρας του Brayton παρουσιάζει πραγματικά υψηλότερη ωφέλιμη ισχύ και αυτό διότι οι θερμικές του απώλειες ψύξης είναι μικρότερες σε σχέση με τους κινητήρες Otto και η θερμοκρασία του κυλίνδρου συμπίεσης είναι χαμηλότερη που σημαίνει μικρότερο έργο συμπίεσης. Έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί διάφορα καύσιμα για τη λειτουργία του χωρίς μετατροπές. Η ογκώδης κατασκευή του όμως σε σχέση με τους κινητήρες Otto δεν του άνοιξαν τον εμπορικό δρόμο για τις εμβολοφόρες εφαρμογές του.

# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton



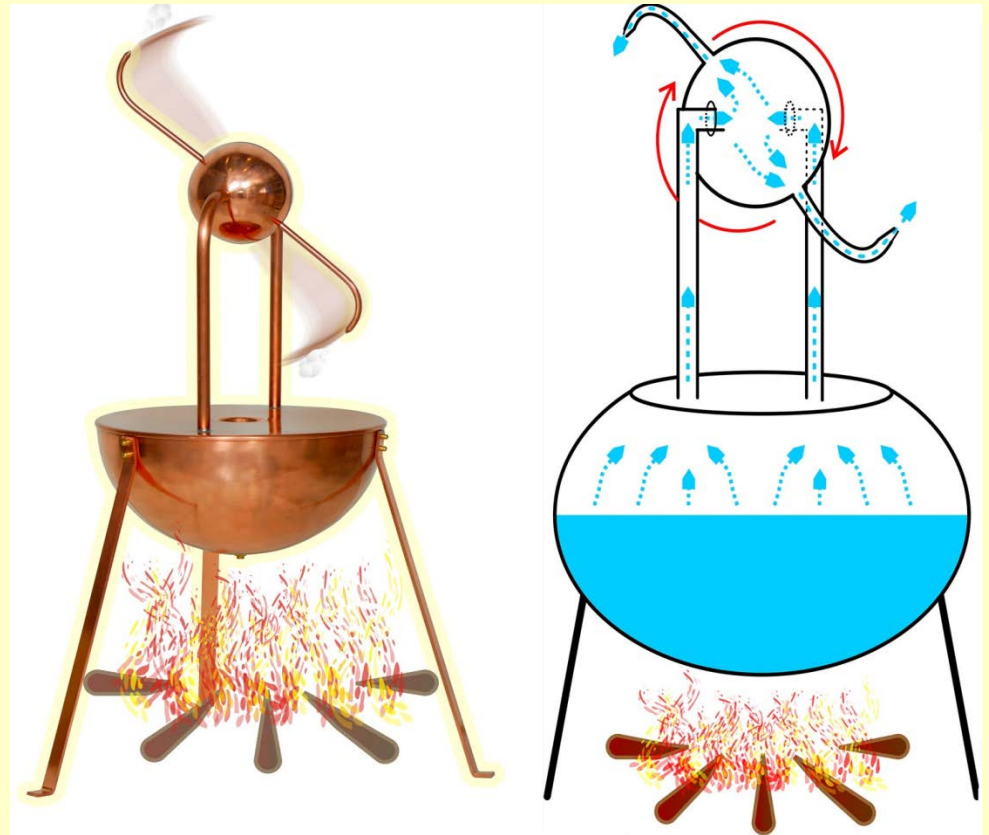
Ο θερμοδυναμικός κύκλος Brayton βρίσκει πολύ καλή εφαρμογή στους στροβιλοκινητήρες που προσφέρουν καλύτερα από τους εμβολοφόρους την παροχή αέρα σε σταθερή πίεση και ειδικά στους κινητήρες των αεροσκαφών και έγινε το όνομα του συνώνυμο με τους κινητήρες αεροσκαφών .



# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton

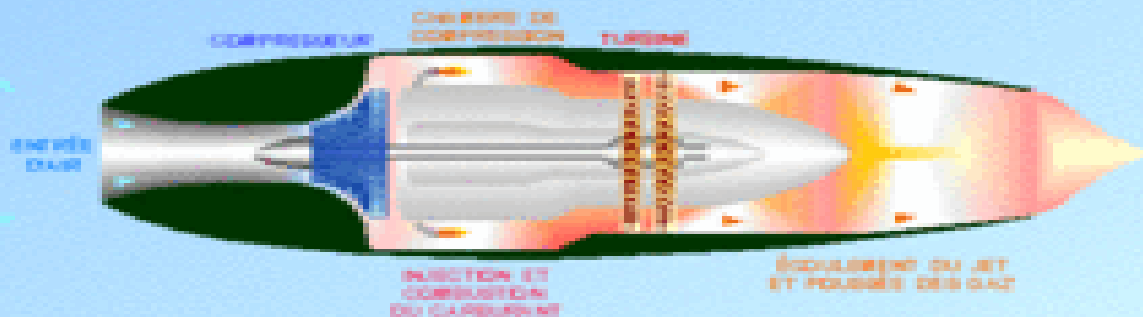
Η αιολόσφαιρα του Ήρωνα του Αλεξανδρινού (1<sup>ος</sup> αιώνας μΧ) ή ο στρόβιλος του είναι η πρώτη κατασκευή αξιοποίησης της θερμότητας για παραγωγή μηχανικού έργου. Τον 20<sup>ό</sup> αιώνα υιοθετήθηκε η ιδέα του Ήρωνα σε κινητήρες αεροσκαφών.

Ο Hans von Ohain πατεντάρει το 1939 στροβιλοκινητήρα για την κίνηση αεροσκάφους με την αρχή του Ήρωνα. Την ίδια χρονιά κατασκευάζεται και δοκιμάζεται στροβιλοκινητήρας και αεροσκάφος για τις ανάγκες του πολέμου που ετοιμάζει η Γερμανία.

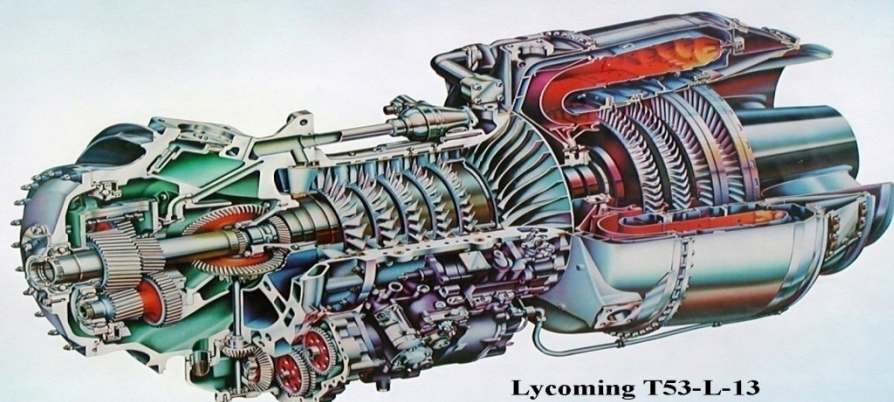


# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton

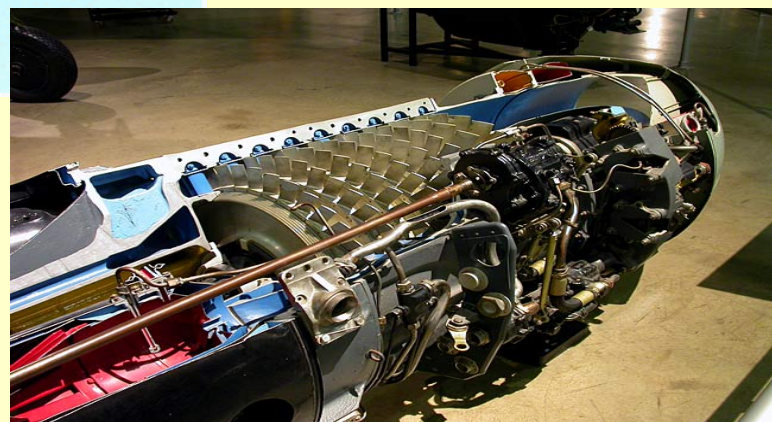
SCHEMA DE FONCTIONNEMENT  
D'UN TURBORÉACTEUR



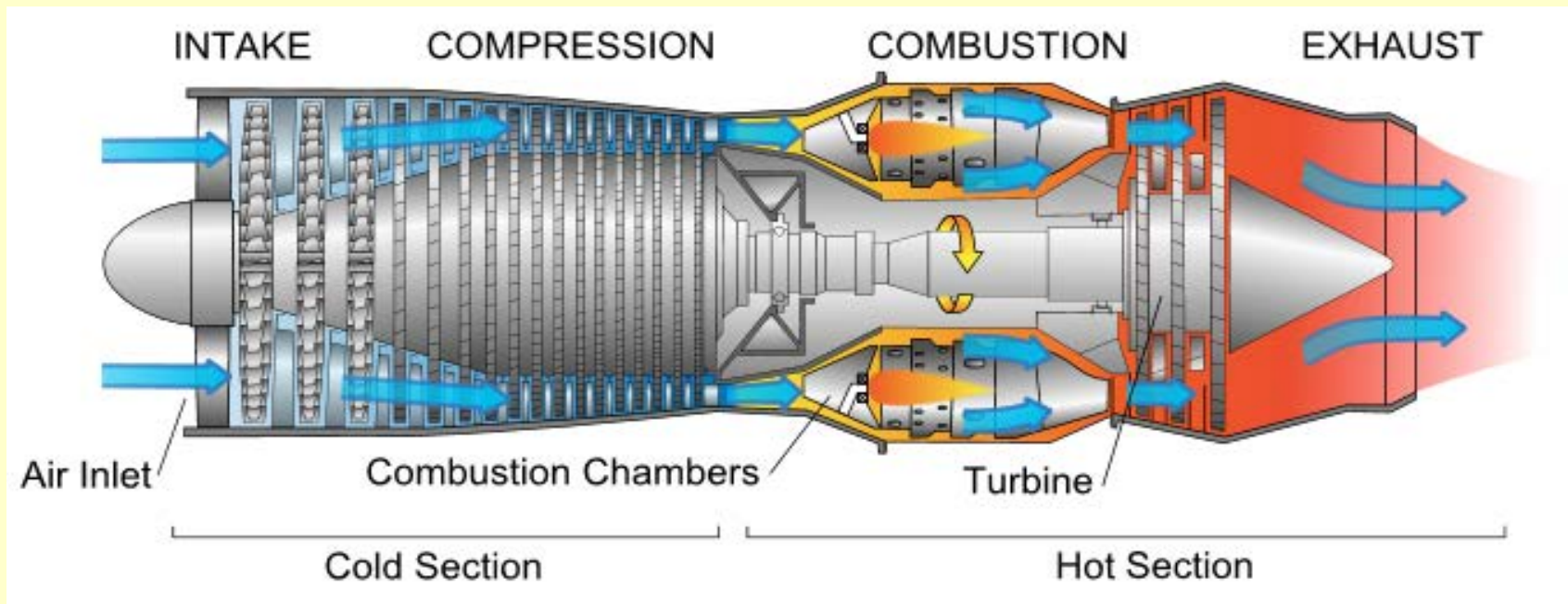
Πρώτη πτήση αεροσκάφους με turbojet κινητήρα έγινε το 1939 με το Heinkel He178 στην Γερμανία. Το 1943 το αεροσκάφος Junkers είχε το στροβιλοκινητήρα Jumo004 που είναι ο πρώτος στροβιλοκινητήρας σε σειρά παραγωγής, χωρίς όμως να αποδείξει την αποτελεσματικότητα



Lycoming T53-L-13



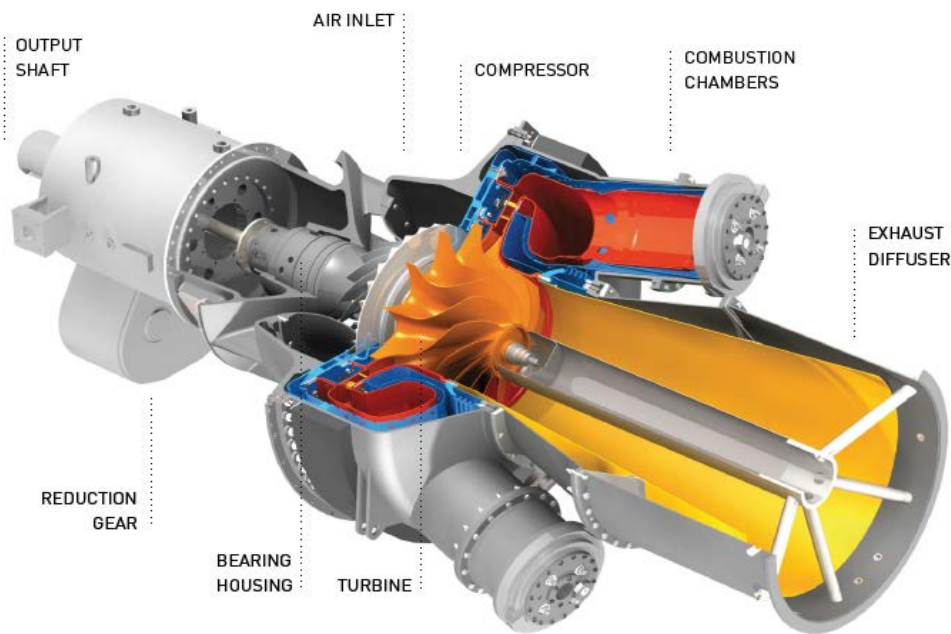
# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton



Τα βασικά τμήματα ενός αεροπορικού στροβιλοκινητήρα που χρησιμοποιεί την αντίδραση (jet propulsion) για την προώθηση του αεροσκάφους είναι ίδια με τον τετράχρονο κινητήρα. Τα πλεονεκτήματα του στροβιλοκινητήρα είναι η δυνατότητα παραγωγής πολύ μεγάλης ισχύος με πολύ μικρό βάρος του κινητήρα. Η απουσία τριβών αυξάνει πάρα πολύ τις ώρες λειτουργίας του στροβιλοκινητήρα μεταξύ των συντηρήσεων.



# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton



Η απλότητα του στροβιλοκινητήρα με φυγοκεντρικό συμπιεστή αέρος και ακτινικό στρόβιλο μιας βαθμίδας άνοιξε το δρόμο στη χρήση του για ηλεκτροπαραγωγή αιχμής ή εφεδρείας με μεγάλη αξιοπιστία λόγω της απροβλημάτιστης λειτουργίας του.

Στροβιλοκινητήρας με έλικα για την προώθηση του αεροσκάφους έχει ξεχωριστούς άξονες στροβίλων για τον συμπιεστή και για τον έλικα. Η μεγάλη ισχύς με το μικρό βάρος του κινητήρα και η απουσία μηχανικών φθορών τον κάνουν πολύ αξιόπιστο για τις πτήσεις.

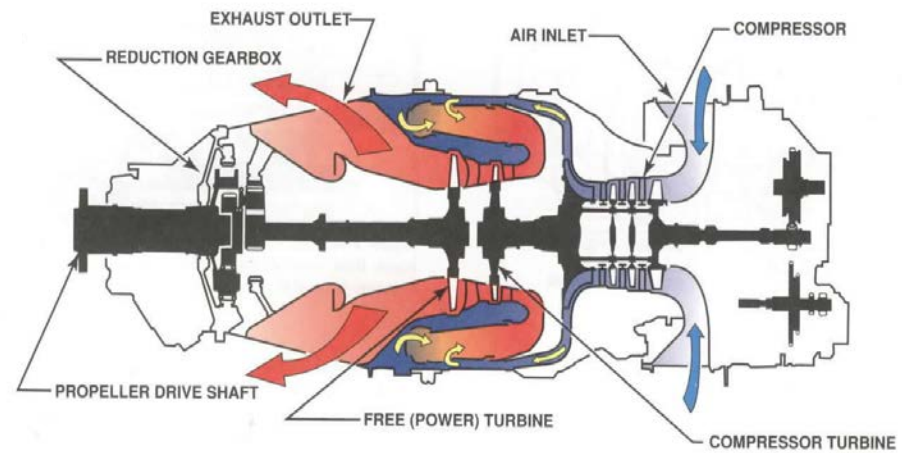
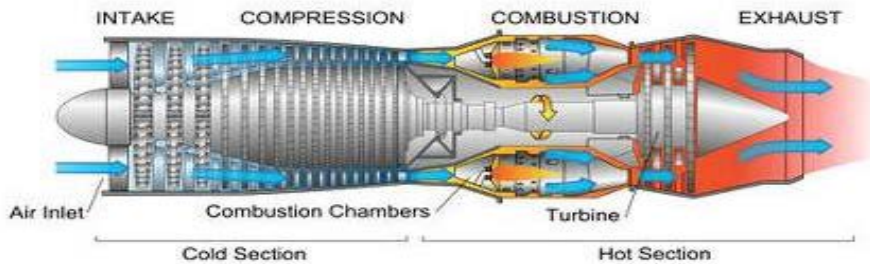


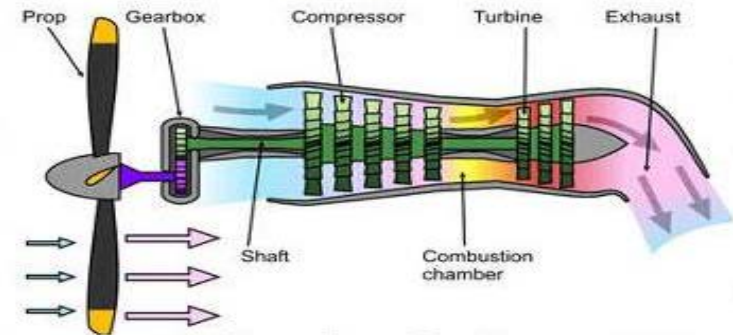
Figure 3-65. Propellers driven by a free turbine rotate independently of the compressor turbine.

# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton

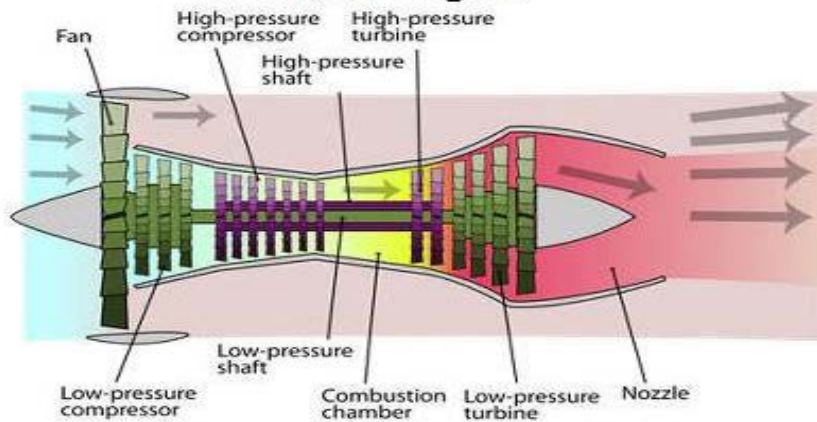
## Turbojet Engine



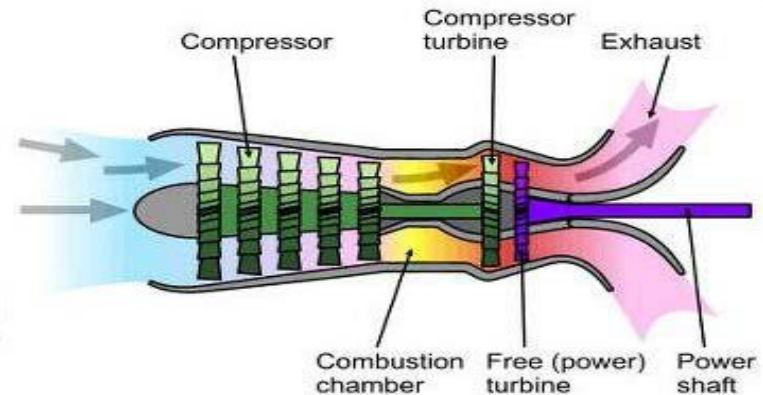
## Turboprop Engine



## Turbofan Engine

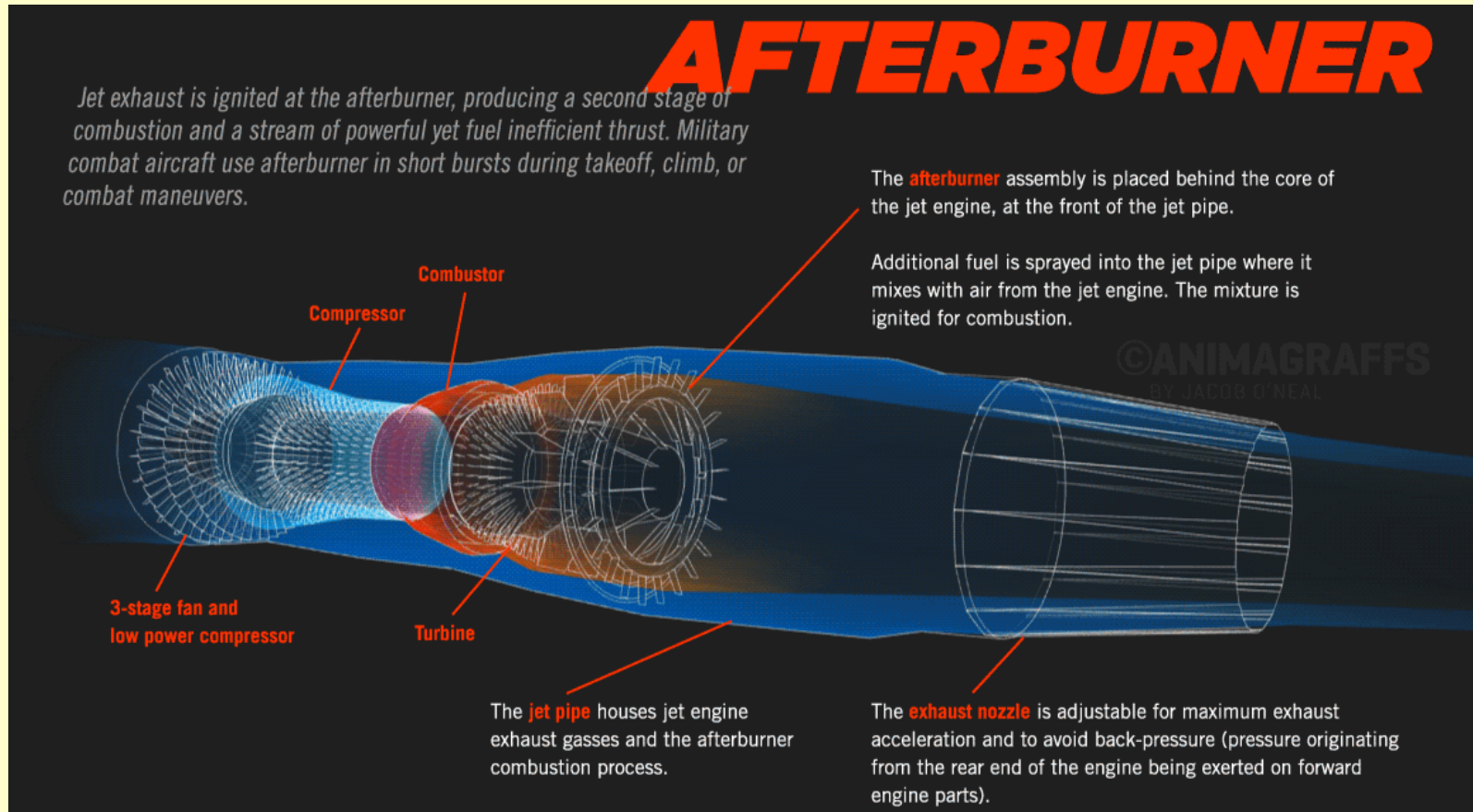


## Propfan Engine



Οι βασικοί τύποι αεροπορικών στροβιλοκινητήρων που χρησιμοποιούνται για την πρόωση των αεροσκαφών .

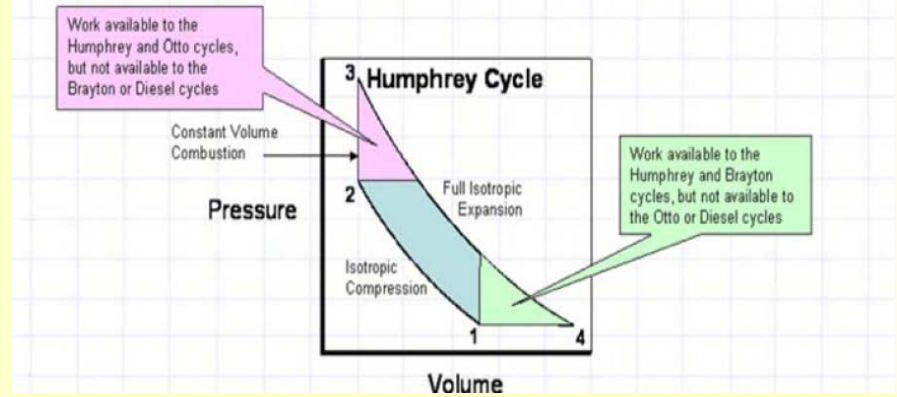
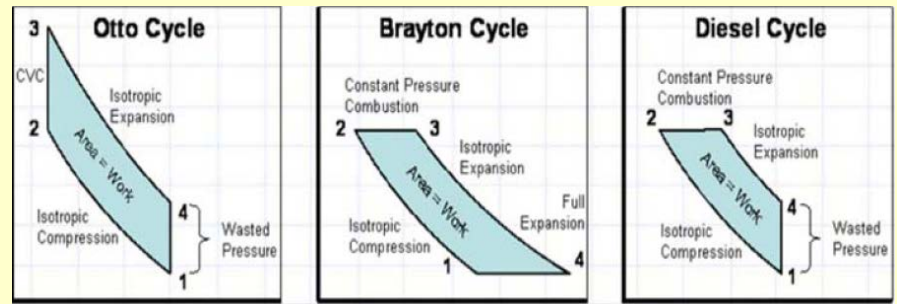
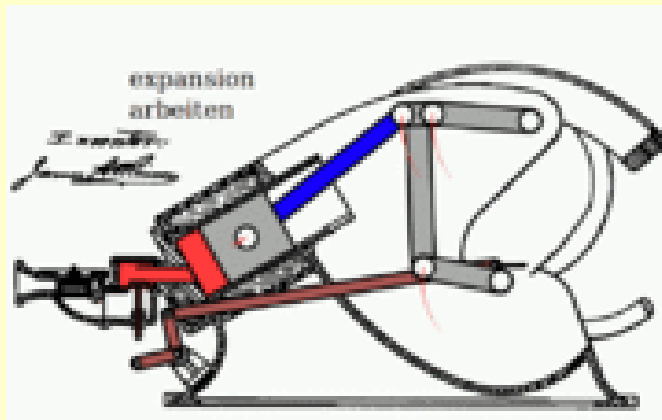
# Εφαρμογή του θερμοδυναμικού κύκλου Brayton



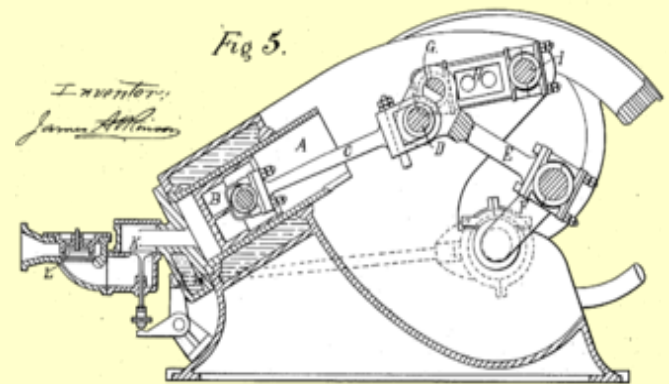
Λειτουργία του μετακαυστήρα σε αεροπορικό στροβιλοκινητήρα



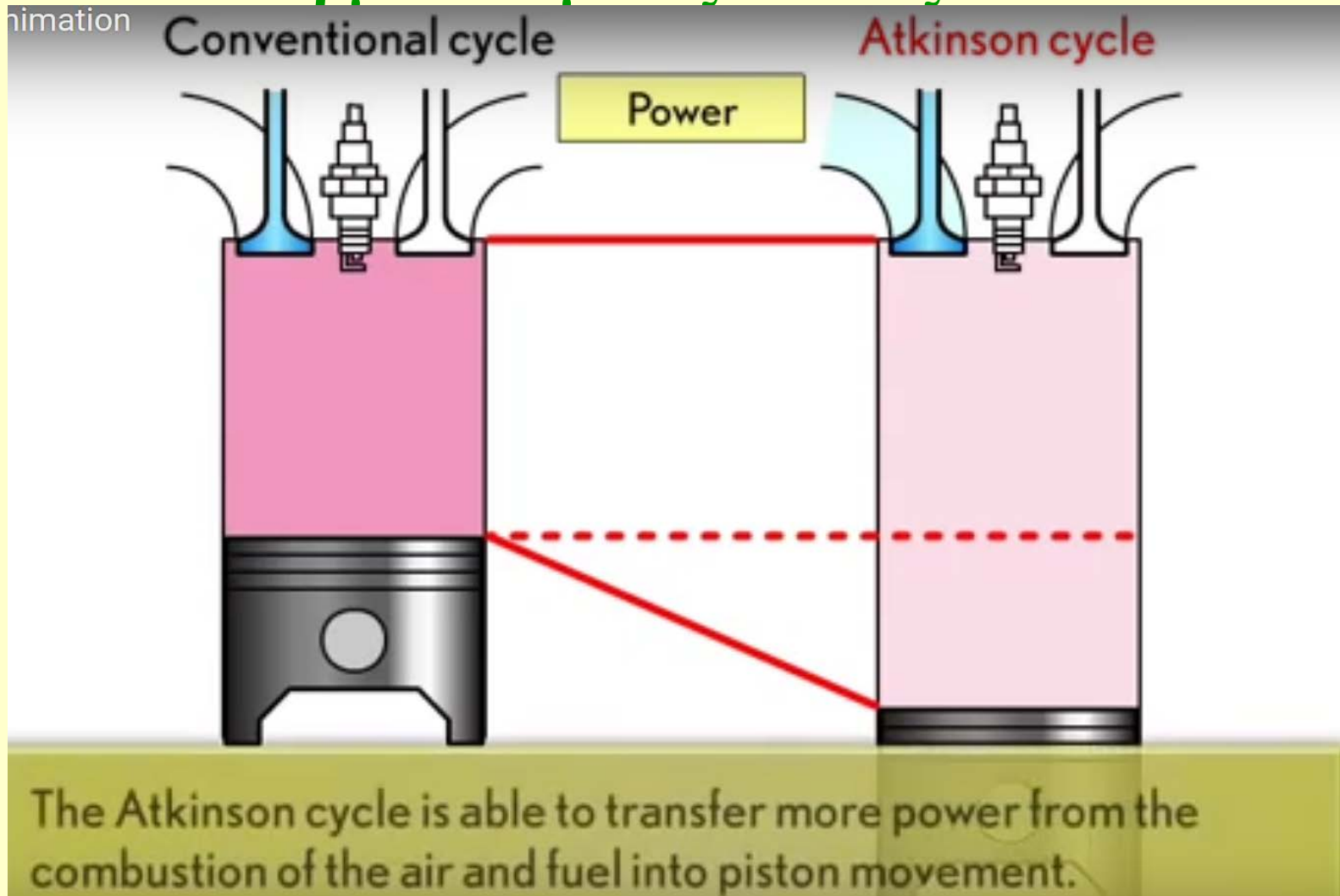
# Θερμοδυναμικός κύκλος Atkinson/Humphrey



Το 1882 ο βρετανός μηχανικός James Atkinson πατεντάρει ένα κινητήρα ο οποίος έχει διαφορετική διαδρομή του εμβόλου κατά την συμπίεση και διαφορετική κατά την εκτόνωση. Ο κινητήρας είναι αρκετά πολύπλοκος και δεν εφαρμόζεται στην πράξη. Το θεωρητικό του υπόβαθρό όμως είναι πολύτιμο .



# Θερμοδυναμικός κύκλος Atkinson



[https://www.youtube.com/watch?v=\\_Wl7GljsPmI](https://www.youtube.com/watch?v=_Wl7GljsPmI)



# Θερμοδυναμικός κύκλος Atkinson

## Αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν κινητήρες στην βάση του θερμοδυναμικού κύκλου Atkinson

[Ford C-Max](#) (front wheel drive / US market) hybrid & plug-in hybrid models

[Ford Escape](#)/[Mercury Mariner](#)/[Mazda Tribute](#) electric (front- and four-wheel drive) with a compression ratio of 12.4:1

[Ford Fusion Hybrid](#)/[Mercury Milan Hybrid](#)/[Lincoln MKZ Hybrid](#) electric (front-wheel drive) with a compression ratio of 12.3:1

[Honda Accord Plug-in Hybrid](#)<sup>[5]</sup>

[Honda Accord Hybrid](#) (front-wheel drive)

[Hyundai Sonata Hybrid](#) (front-wheel drive)

[Infiniti M35h](#) Hybrid (rear-wheel drive)

[Kia Optima Hybrid](#) (front-wheel drive) with a compression ratio of 13:1

[Lexus CT 200h](#) (front-wheel drive)

[Lexus ES 300h](#) (front-wheel drive)

[Lexus GS 450h](#) hybrid electric (rear-wheel drive) with a compression ratio of 13:1

[Lexus GS F](#) (rear-wheel drive)

[Lexus HS 250h](#) (front-wheel drive)

[Lexus NX](#) hybrid electric (four-wheel drive)

[Lexus RX 450h](#) hybrid electric (four-wheel drive)

[Mazda 3 SkyActiv](#) (front-wheel drive) with a 13:1 compression ratio (12:1 for North America)

[Mazda 6 SkyActiv-G](#) 2.5L (front-wheel drive) with a 14:1 compression ratio (13:1 for North America)

[Mazda CX-5](#) (front- and all-wheel drive) with a 14:1 compression ratio (13:1 for North America)

[Mercedes ML450 Hybrid](#) (four-wheel drive) electric

[Mercedes S400 Blue Hybrid](#) (rear-wheel drive) electric

[Toyota Camry Hybrid](#) electric (front-wheel drive) with a compression ratio of 12.5:1

[Toyota Highlander Hybrid](#) (2011 and newer)<sup>[6]</sup>

[Toyota Prius hybrid electric](#) (front-wheel drive) with a (purely geometric) compression ratio of 13.0:1

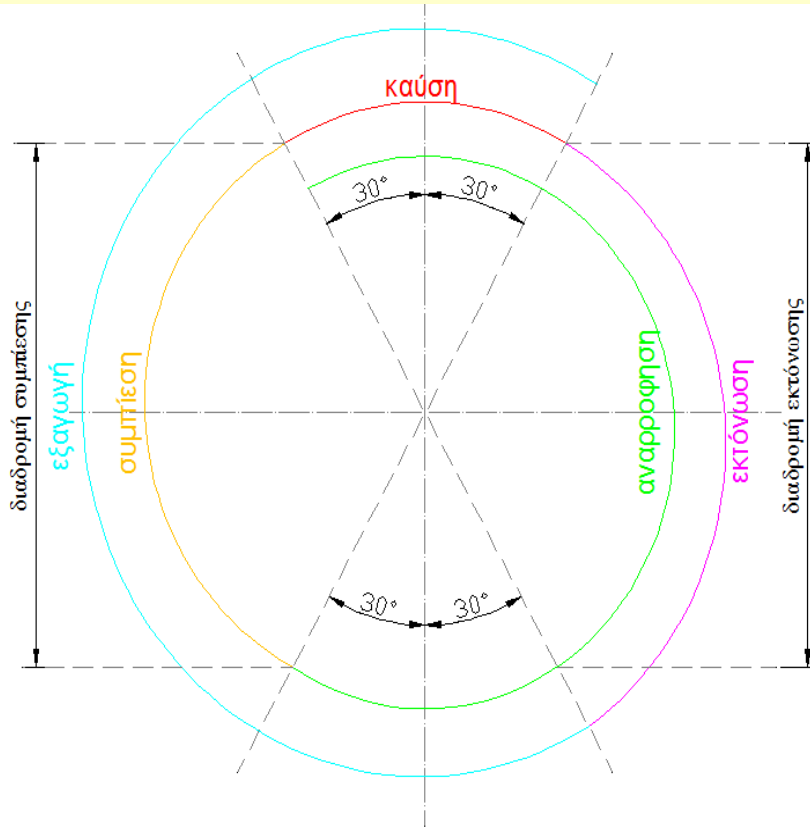
[Toyota Yaris Hybrid](#) (front-wheel drive) with a compression ratio of 13.4:1

[Toyota Auris Hybrid](#) (front-wheel drive)

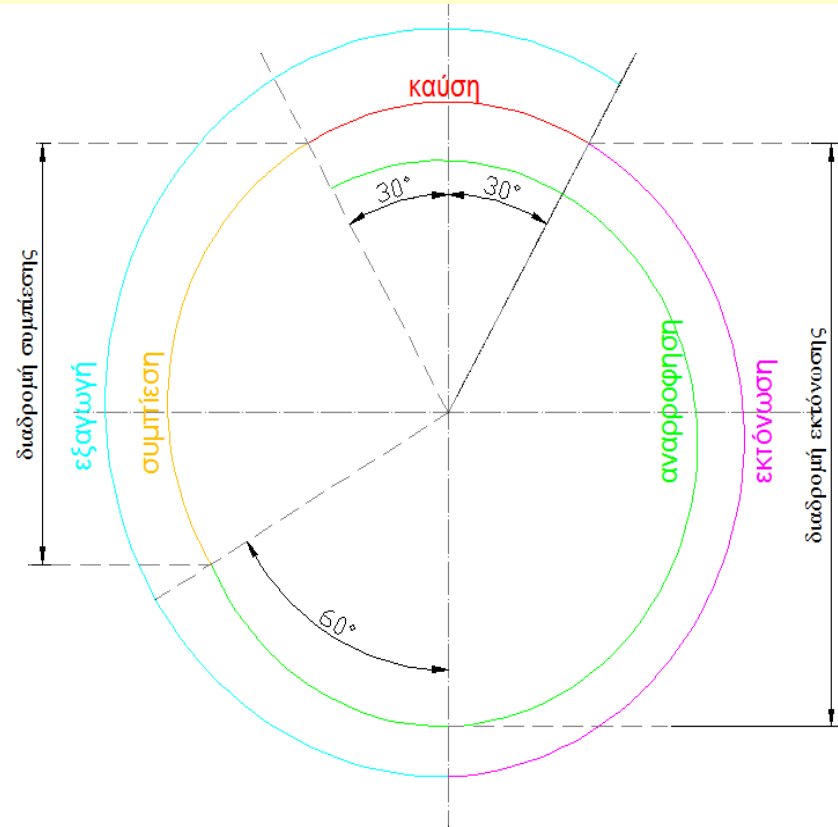
[Toyota Tacoma](#) V6 (beginning in 2015 for the 2016 model year)



# Σύγκριση των κυκλικών διαγραμμάτων των κύκλων Otto και Atkinson



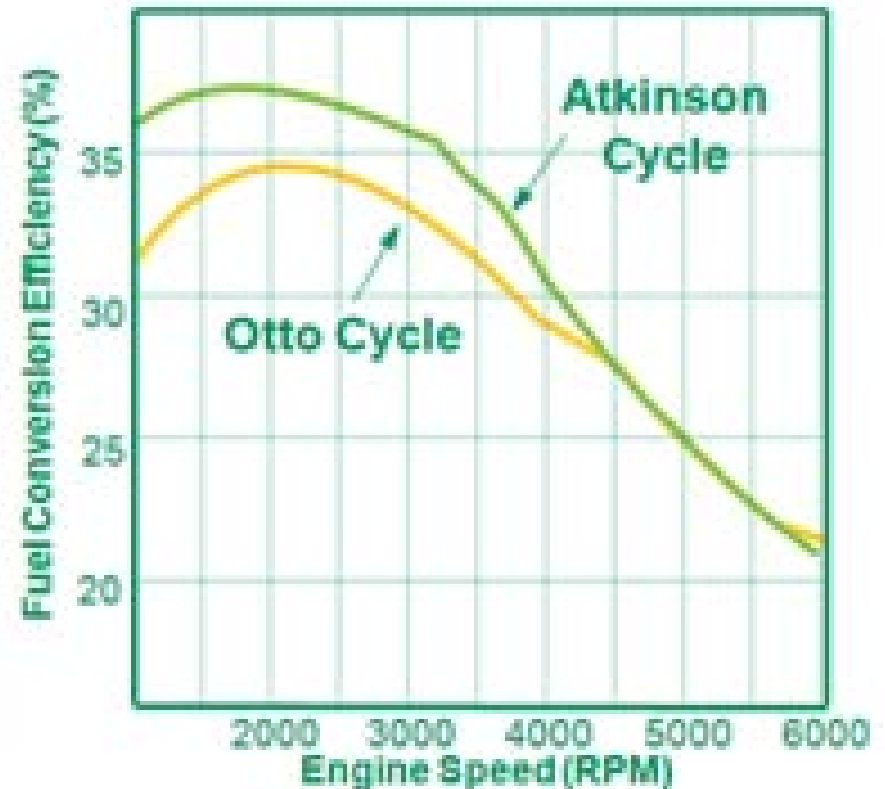
Κυκλικό διάγραμμα λειτουργίας συμβατικού κινητήρα Otto



Κυκλικό διάγραμμα λειτουργίας σύγχρονου κινητήρα Atkinson

# Σύγκριση θερμοδυναμικών κύκλων Otto και Atkinson

## Comparison of Otto and Atkinson Cycles



# Θερμοδυναμικός κύκλος Atkinson και ο βελτιωμένος κύκλος Miller

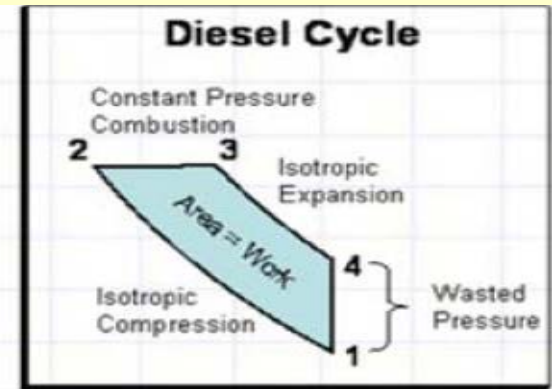
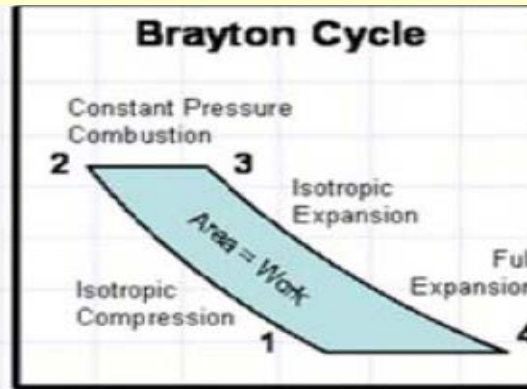
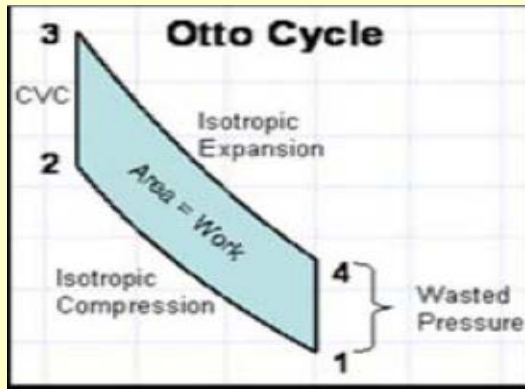
Το 1957 ο αμερικανός μηχανικός **Ralph Miller** πατεντάρει το δικό του θερμοδυναμικό κύκλο, κάνοντας χρήση του θερμοδυναμικού κύκλου Atkinson σε υφιστάμενους κινητήρες, εφαρμόζοντας την λογική του Atkinson και βελτιώνοντας τους με το δικιά του θερμοδυναμική συνεισφορά.

Οι κινητήρες με το θερμοδυναμικό κύκλο Miller είναι στην πραγματικότητα βελτιωμένοι κινητήρες του κύκλου Atkinson. Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται με την υπερπλήρωση του κινητήρα που λειτουργεί με τον κύκλο Atkinson.

Χρησιμοποιείται σε μεγάλους κινητήρες ηλεκτροπαραγωγής ή κινητήρες καραβιών όπως και στα αυτοκίνητα Mazda KJ-ZEM V6, Millenia sedan, Eunos800 sedan (Australia luxury car) και στο Subaru B5-TPH.

Στον κινητήρα κύκλου Miller η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει ανοιχτή μέχρι που η πίεση της υπερπλήρωσης ισοβαθμίζει με την πίεση του κυλίνδρου. Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα Miller αυξάνεται περίπου 15% .

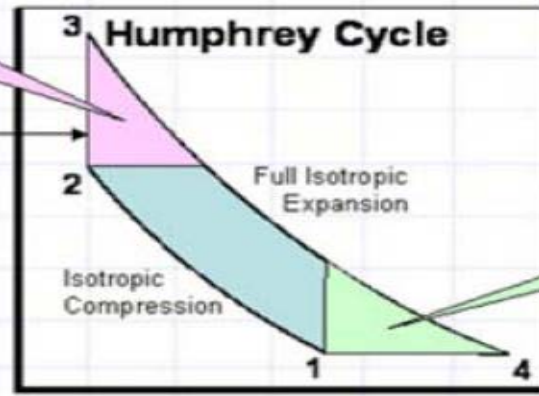
# Σύγκριση θερμοδυναμικών κύκλων Otto, Brayton, Diesel και Atkinson/Humphrey



Work available to the Humphrey and Otto cycles, but not available to the Brayton or Diesel cycles

Constant Volume Combustion

Pressure

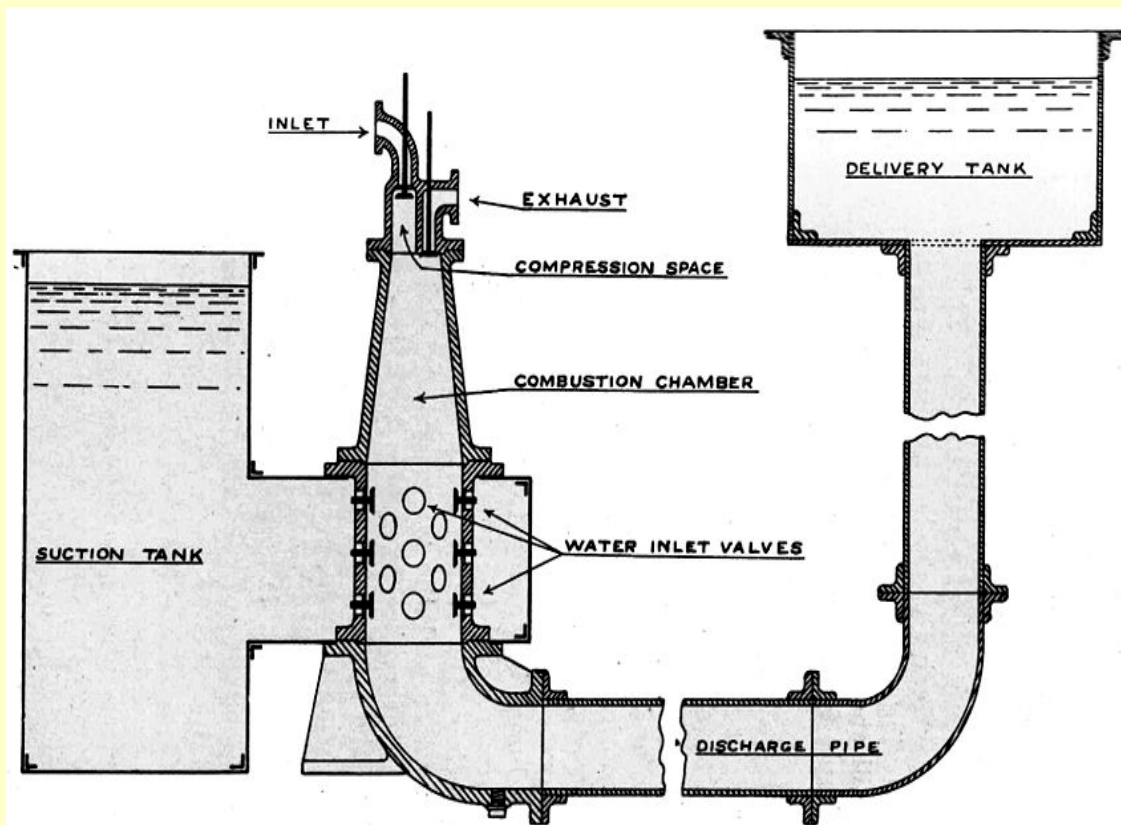
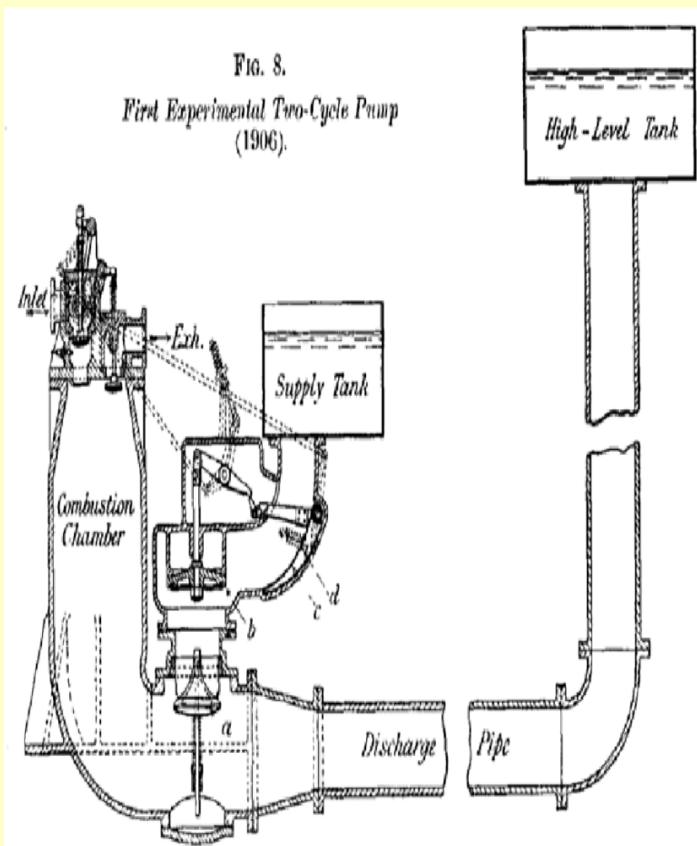


Work available to the Humphrey and Brayton cycles, but not available to the Otto or Diesel cycles

Volume

# Θερμοδυναμικός κύκλος Humphrey

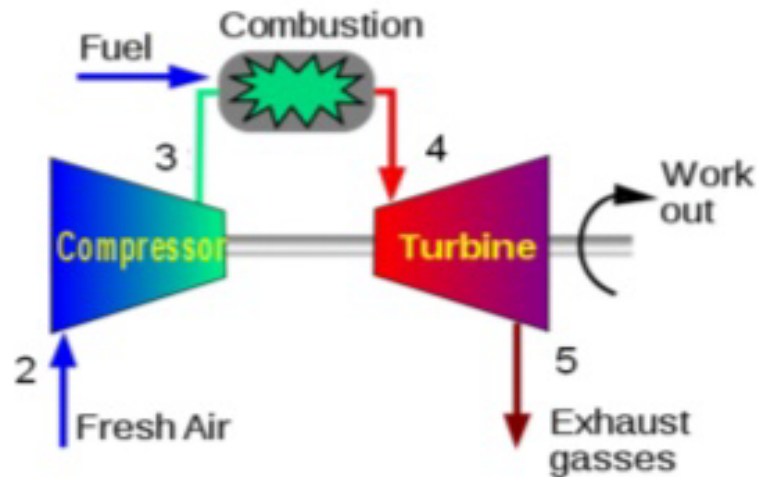
Το 1906 ο βρετανός μηχανικός Herbert **Humphrey** πατενταρει μία αντλία που λειτουργεί με το «υγρό έμβολο» που χρησιμοποιήθηκε για μεγάλες παροχές αλλά όχι για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η σύλληψη της ιδέας του βρήκε εφαρμογή στους στροβιλοκινητήρες





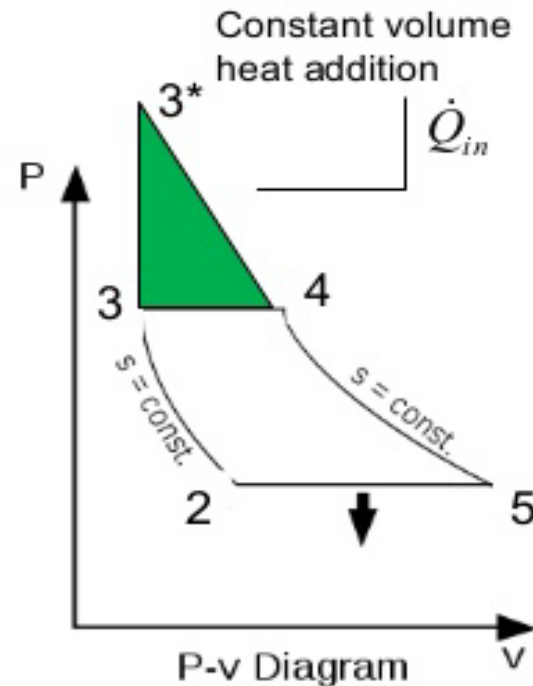
# Θερμοδυναμικός κύκλος Humphrey

## Ideal Thermodynamic Cycle



**Humphrey cycle:** heat addition at constant volume

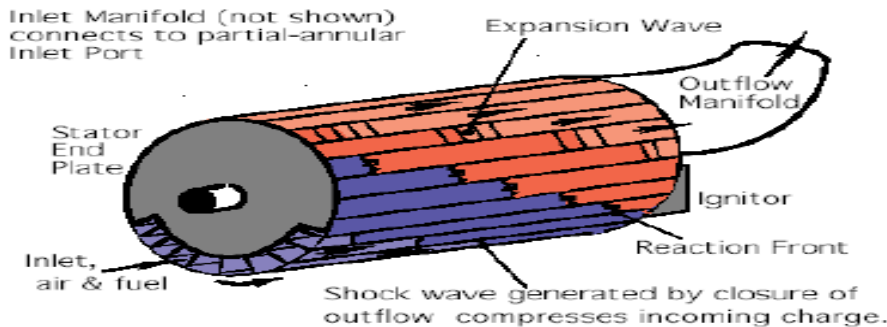
$$\eta_H = 1 - \gamma \frac{T_2}{T_3} \frac{\left(\frac{T_4}{T_3}\right)^\gamma - 1}{\frac{T_4}{T_3} - 1}$$



Thermal efficiency improves by more than 15% and as much as 10 to 40% improvement in Isp (Ref. Bussing (1996); Heiser & Pratt (2002); Povinelli (2002))

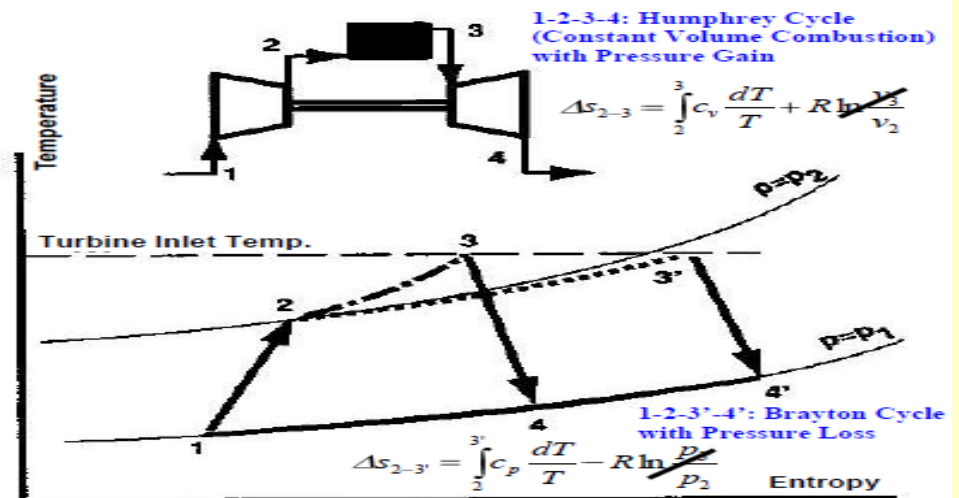
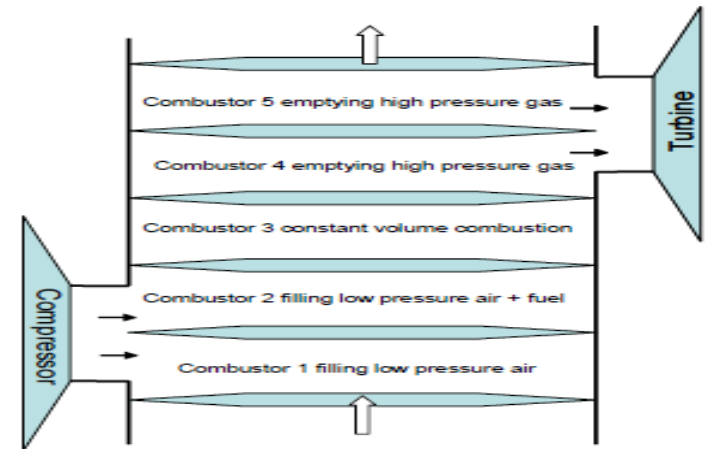
# Θερμοδυναμικός κύκλος Humphrey

## Rotary Pressure Gain Combustor for Gas Turbine Performance Enhancement



- ✓ Higher Efficiency + Output Work >> Reduce Fuel Burn
- ✓ Less NO<sub>x</sub> Emissions >> Environment Friendly
- ✓ Compact and Light Combustor >> Reduce Engine Cost
- ✓ Steady at Inlet/Outlet >> Uniform Flow at Turbine Inlet
- ✓ No Need for New Materials >> Current Technology
- ✓ Low Rotational Speed >> Low Stress Rotating Machine

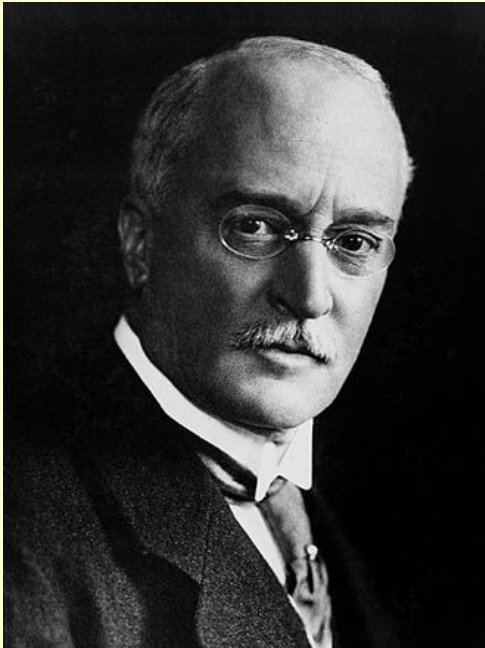
The pressure gain combustor is a device designed to produce an increase in total pressure during combustion, and necessarily employs unsteady, intermittent combustion. The interest in using pressure gain combustors is because they approach the constant-volume combustion of the ideal Humphrey cycle, which has a fundamental thermodynamic advantage over the Brayton Cycle created by conventional constant-pressure combustors.





# Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Diesel

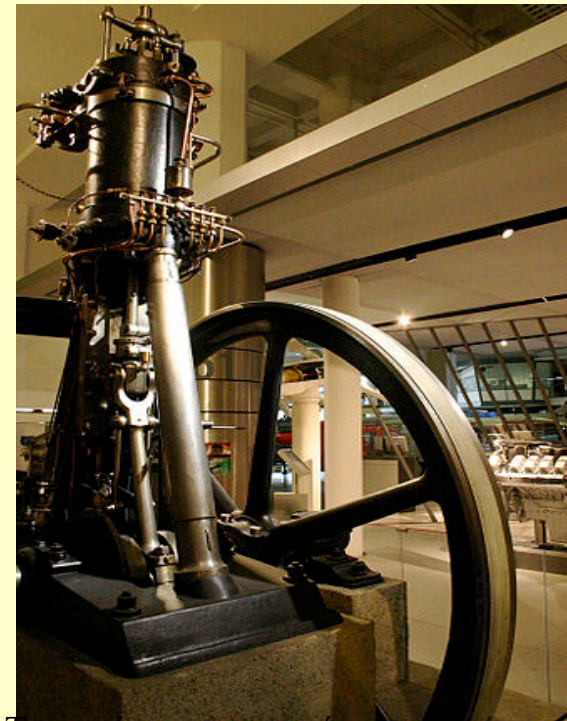
Ο γεννημένος στο Παρίσι, γιός Βαυαρών προσφύγων Rudolf Christian Karl Diesel και απόφοιτος του Πολυτεχνείου του Μονάχου εφευρίσκει και πατεντάρει το 1892 τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναυση του καυσίμου μείγματος από τη συμπίεση του αέρα.



Το 1893 γίνονται οι πρώτες δοκιμές του κινητήρα αρχικά με καύσιμο μείγμα άνθρακα – νερό 50-50% και μετά με φουστικέλαιο.

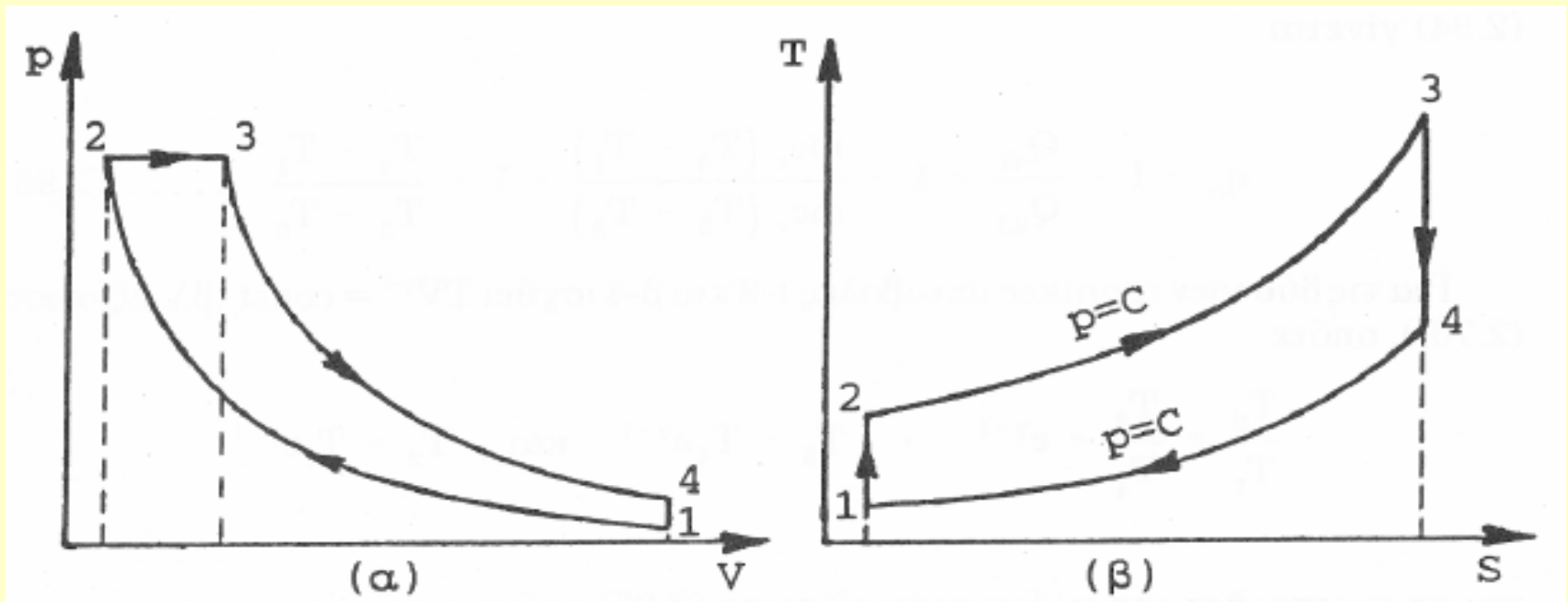


Diesel's original 1897 engine on display at the Deutsches Museum in Munich,



Τον πρώτο του κινητήρα κατασκευάζει σε συνεργασία με την εταιρία MAN

# Θερμοδυναμικός κύκλος Diesel



Ο θερμοδυναμικός κύκλος Diesel συγκρινόμενος με τον Otto στην ίδια συμπίεση έχει μικρότερο βαθμό απόδοσης όμως δίνει τη δυνατότητα χρήσης υψηλότερων συμπίεσεων (~ 15 – 25) ανεβάζοντας το βαθμό απόδοσής του στα ~ 45%. Αρχικά ο Diesel προσπαθούσε να χρησιμοποιήσει για καύσιμο ένα μείγμα άνθρακα – νερού 50-50%, μετά ο κινητήρας λειτούργησε ικανοποιητικά με φυσικόελαίο μέχρι που να καθιερωθεί το καύσιμο το οποίο πήρε και το όνομά του.

Πως φτάσαμε στο πετρέλαιο και γιατί καθιερώθηκε ως καύσιμο για τους κινητήρες Diesel ?

# Θερμοκρασίες αυτανάφλεξης διαφόρων καυσίμων

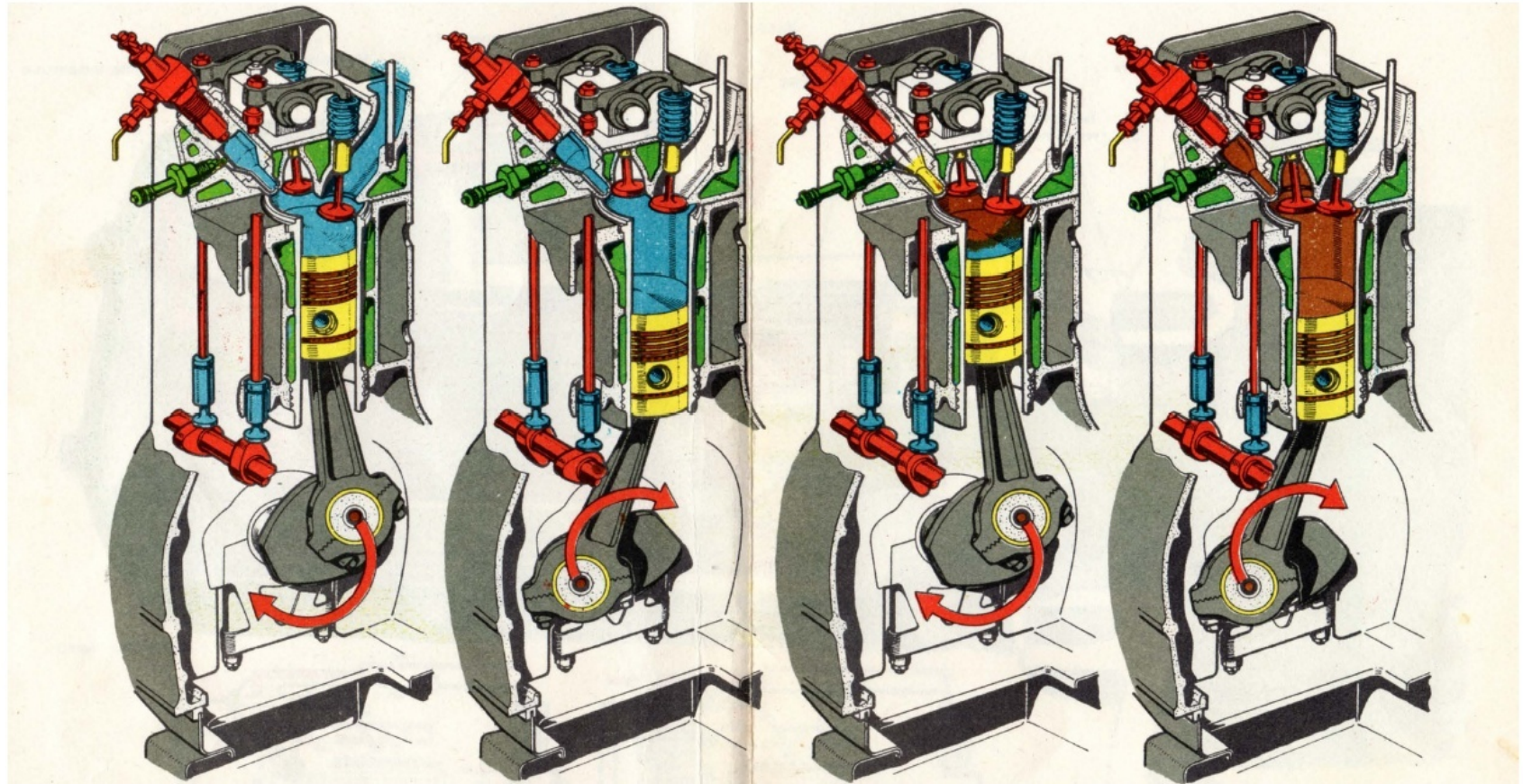
Fuel or Chemical	Autoignition temperature (°C)	Fuel or Chemical	Autoignition temperature (°C)	Fuel or Chemical	Autoignition temperature (°C)
Silane	21	Cyclohexanol	300	Propylene, propene	458
Phosphorus, white	34	Wood	300	Isophorone	460
Phosphorus, transparent	49	Acetylene	305	Isobutane	462
Carbon disulfide, CS <sub>2</sub>	90	Diethylamine	312	Xylene	463
Diethylether	160	Furfural	316	Acetone, propanone	465
Acetaldehyde	175	Tetrahydrofuran	321	Isobutene	465
Hexadecane, cetane	202	Gas oil	336	Methanol, Methyl Alcohol	470
Dodecane, dihexyl	203	Butyl alcohol	345	Propane	470
Heptane	204	Charcoal	349	Magnesium	473
Diesel, Jet A-1	210	Ethyl Alcohol, Ethanol	365	Nitrobenzene	482
Fuel Oil No.1	210	Glycerol	370	Oak Wood - dry	482
Dimethyl sulphoxide	215	Diisobutyl ketone	396	Pyridine	482
n-Heptane	215	Isopropyl alcohol	399	Ethylene, ethene	490
Paper	218	Isopropyl Alcohol	399	Styrene	490
n-Octane	220	Petroleum	400	Hydrogen	500
Gun Cotton	221	Semi anthracite coal	400	Ethane	515
Hexane	223	Butane	405	Methyl ethyl ketone	516
Naphtha	225	n-Butane	405	Lignite - glow point	526
n-Hexane	225	Ethyl acetate	410	Semi bituminous coal - glow	527
Isononane	227	Epichlorohydrin	416	p-Xylene	530
Peat	227	Cyclohexanone	420	Toluene	530
Sulphur	243	Isopentane	420	Toluene	535
Cyclohexane	245	Trichloroethylene	420	Benzene	560
Paper	246	Butyl acetate	421	Coal-tar oil	580
Gasoline, Petrol	246	Butyl methyl ketone	423	Methane (Natural Gas)	580
Nitro-glycerine	254	Neoheaxane	425	Anthracite - glow point	600
Fuel Oil No.2	256	Isobutyl alcohol	426	Dichloromethane	600
n-Pentane	260	Acetic acid	427	Light gas	600
Phosphorus, amorphous	260	Pine Wood - dry	427	Carbon monoxide	609
Fuel Oil No.4	262	Diisopropyl ether	443	Light hydrocarbons	650
Isohexane	264	Isooctane	447	Diethanolamine	662
Gasoline, Petrol	280	Neopentane	450	Carbon	700
Rifle Powder	288	Propyl acetate	450	Coke	700
Kerosene	295	Bituminous coal - glow point	454	Heavy hydrocarbons	750
n-Pentene	298	Methyl acetate	455	Production gas	750

Το καύσιμο Diesel είναι παράγωγο του πετρελαίου, σχετικά χαμηλής ενεργειακής αξίας με μικρή όμως θερμοκρασία αυτανάφλεξης 210°C. Αυτό είναι που το καθιέρωσε ως καύσιμο για τους κινητήρες Diesel



# Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Diesel

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ (ΚΥΚΛΟΥ DIESEL)



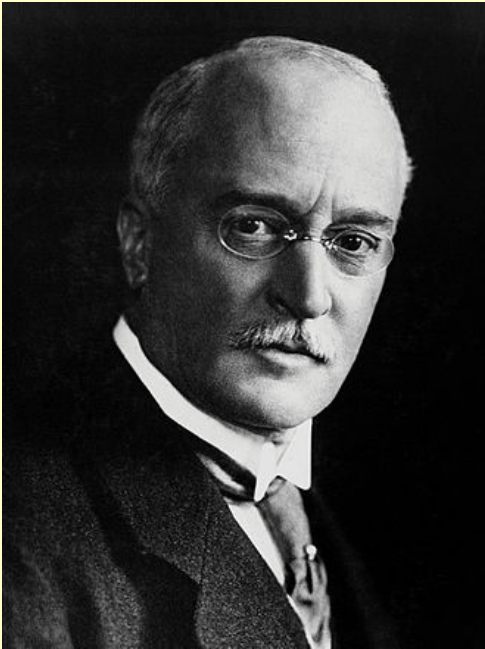
1τος χρόνος  
Εισαγωγή - αναρρόφηση  
Το έμβολο κινείται προς το Κ.Ν.Σ. και εισάγει - αναρροφά αέρα μέσω της ανοικτής βαλβίδας εισαγωγής

2τος χρόνος  
Συμπίεση  
Το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. συμπιέζοντας τον αέρα οι βαλβίδες είναι κλειστές

3τος χρόνος  
Ψεκάζεται καύσιμο, καύση και εκτόνωση  
Το έμβολο κινείται προς το Κ.Ν.Σ. από την πίεση των καυσαερίων οι βαλβίδες είναι κλειστές

4τος χρόνος  
Εκκένωση  
Το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. εκκενώνοντας τον κύλινδρο απ' τα καυσαέρια μέσω της ανοικτής βαλβίδας εξαγωγής

# Θερμοδυναμικός κύκλος και κινητήρας Diesel



Στις 29 Σεπτεμβρίου του 1913 ο Rudolf Diesel εξαφανίστηκε από το ατμόπλοιο Dresden με το οποίο ταξίδευε από την Antwerpen του Βελγίου για το Λονδίνο. Ο εφευρέτης που άλλαξε την παγκόσμια οικονομία με την κατασκευή μηχανών εσωτερικής καύσης υψηλής απόδοσης είχε οικονομικά προβλήματα όμως δεν σκόπευε να αυτοκτονήσει όπως ειπώθηκε. Μετά από μέρες βρέθηκαν σε ένα επιπλέον σώμα σε αποσύνθεση κάποια αντικείμενα προσωπικής χρήσης όπως τα γυαλιά του και αναγνωρίστηκαν από τον υιό του.

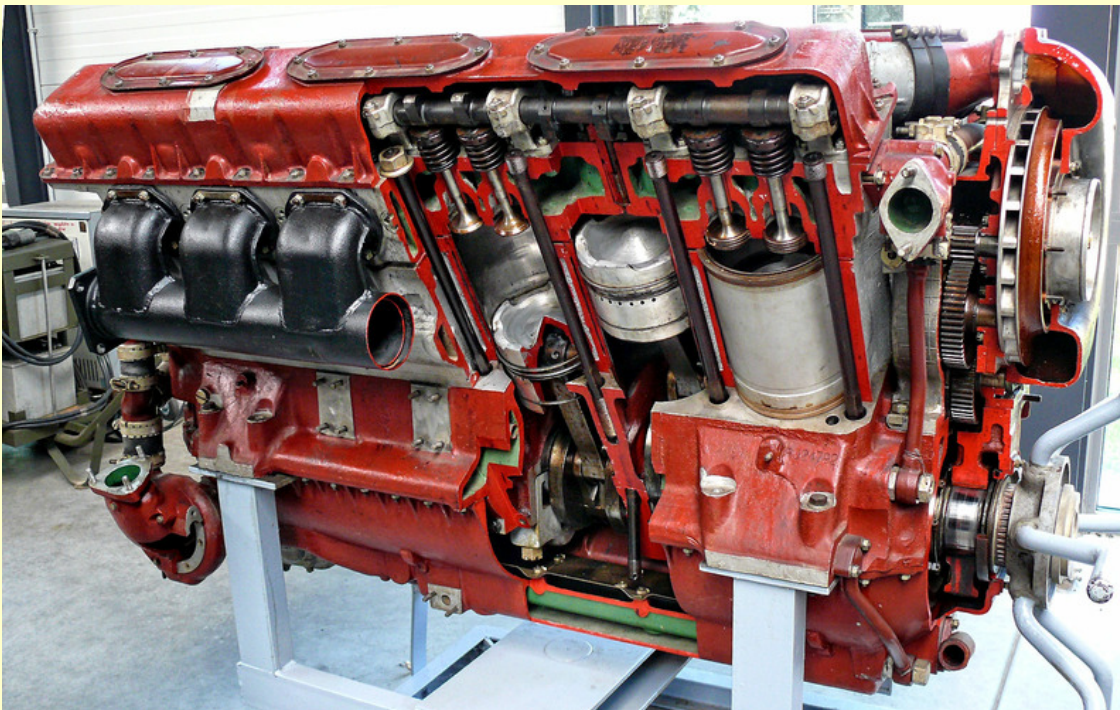
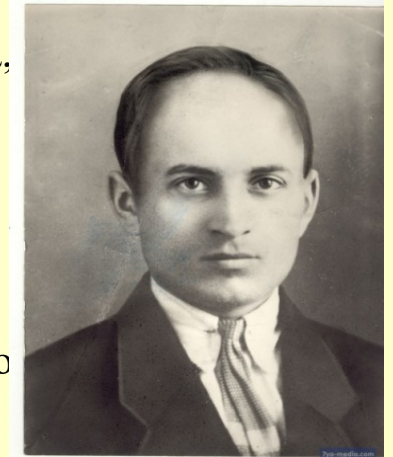
Η πιθανότερη εκδοχή για το θάνατο του Rudolf Diesel που δεν ήταν η επίσημη είναι ότι τον Βαυαρό μηχανικό εφευρέτη σκότωσαν πράκτορες της γερμανικής κυβέρνησης για να μην πουλήσει τα δικαιώματα του κινητήρα του σε αγγλική εταιρία κατασκευής υποβρυχίων με την οποία είχε ραντεβού στο Λονδίνο.

Οι γερμανοί προετοιμάζονταν για τον Α' παγκόσμιο πόλεμο και είχαν σχεδιάσει αρκετές δολοφονίες ανεπιθύμητων, όπως είναι και η δολοφονία του δικού μας βασιλιά Γεωργίου στη Θεσσαλονίκη το 1913.



# Εφαρμογή κινητήρα Diesel

Ο κινητήρας Diesel καθιερώθηκε ως κινητήρας μεγάλης ισχύος για πλοία, τρένα, φορτηγά οχήματα, ηλεκτροπαραγωγή κλπ. Μία άγνωστη πλευρά του κινητήρα Diesel συνδεδεμένη με τον ελληνισμό είναι ότι ο κινητήρας των σοβιετικών θρυλικών αρμάτων μάχης T-34 σχεδιάστηκε από τον Κωνσταντίνο Τσελπάν μηχανολόγο μηχανικό ελληνικής καταγωγής από την Μαριούπολη. Ο σχεδιασμός του κινητήρα ήταν έτη μπροστά σε σχέση με τον ανταγωνισμό και απροβλημάτιστος στη λειτουργία του και για το οποίο έλαβε ο Έλληνας το βραβείο Λένιν. Ο κινητήρας αυτός παράγεται σε διάφορες εκδόσεις μέχρι τις μέρες μας.



Ο 12κύλινδρος V60° υδρόψυκτός 500 ίππων κινητήρας Diesel του άρματος μάχης T-34 με αλουμινένιο κορμό, βαθμό συμπίεσης 15, άμεσο ψεκασμού καυσίμου στα 200bar, με 4ρης βαλβίδες ανά κύλινδρο, με 2 εκκεντροφόρους επικεφαλής κινούμενοι από άξονα, μέγιστη πίεση στον κύλινδρο 95bar, ήταν τεχνολογικό θαύμα της εποχής του και δίκαια νικητής του Β' παγκοσμίου πολέμου.



# Θερμοδυναμικός κύκλος Diesel - εξέλιξη

Ο Charles Franklin Kettering και οι συνάδελφοι του εργαζόταν για την Electro-Motive και την General Motors Research Corporation επί της αποδοτικότητας του Diesel κινητήρα (τετράχρονο) ο οποίος μέχρι και τη δεκαετία 1930 είχε σαρώσει στην κίνηση μεγάλης ισχύος, όμως φαινόταν τα άνω όρια του.

Ο τετράχρονος κινητήρας σε κάθε 2 περιστροφές έχει ένα δυνατό χρόνο. Η αύξηση των στροφών στους μεγάλους κινητήρες δεν είναι εφαρμόσιμη λύση. Η ομάδα του Kettering οδηγείται στη μείωση των χρόνων του κινητήρα (από 4-χρονου σε 2-χρόνου) με αποτέλεσμα την αύξηση σχεδόν 100% της ισχύος ενός κυλίνδρου. Η πλήρωση και εκκένωση του δίχρονου βενζινοκινητήρα και πετρελαιοκινητήρα δεν είναι ίδιες. Ο δίχρονος Diesel έχει θυρίδα εισαγωγής συμπιεστή πλήρωσης αέρος και βαλβίδα εξαγωγής στο άνω μέρος του κυλίνδρου.

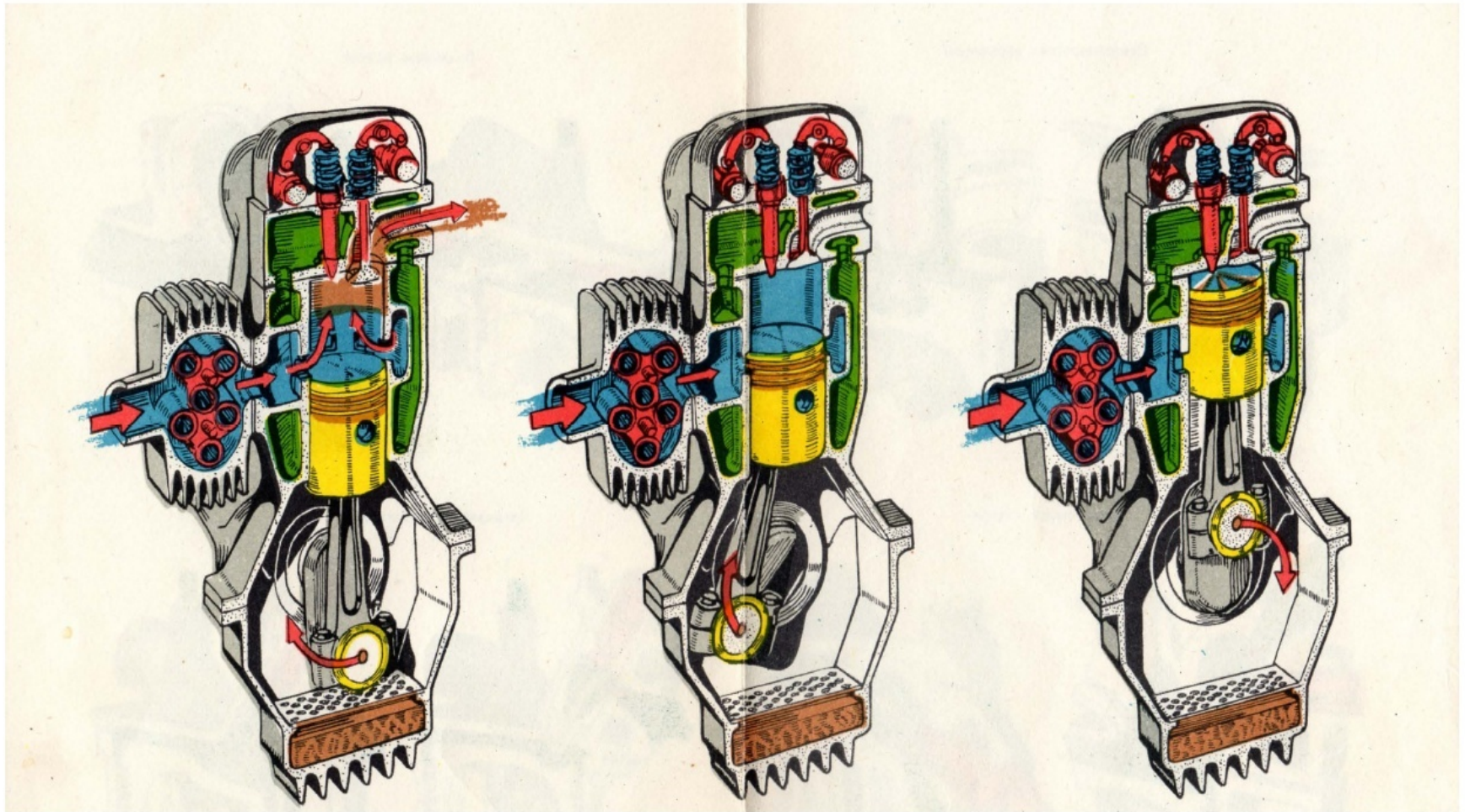
Ο κινητήρας συνήθως χρησιμοποιείται στους βραδύστροφους κινητήρες πλοίων, τρένων, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης ισχύος κλπ. Η μικρότερη σχέση βάρους/ισχύος του δίνει πλεονεκτήματα που ο τετράχρονος Diesel κινητήρας δεν έχει.

Στην διπλανή φωτογραφία ο δίχρονος κινητήρας J13-534 ρώσικων φορτηγών οχημάτων παραγωγής του 2011.



# Θερμοδυναμικός κύκλος Diesel εξέλιξη

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΑ (ΚΥΚΛΟΥ DIESEL)

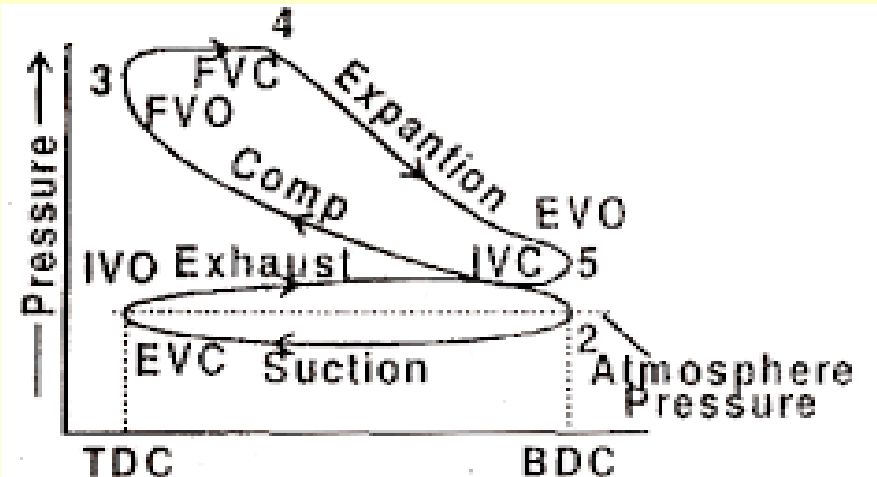
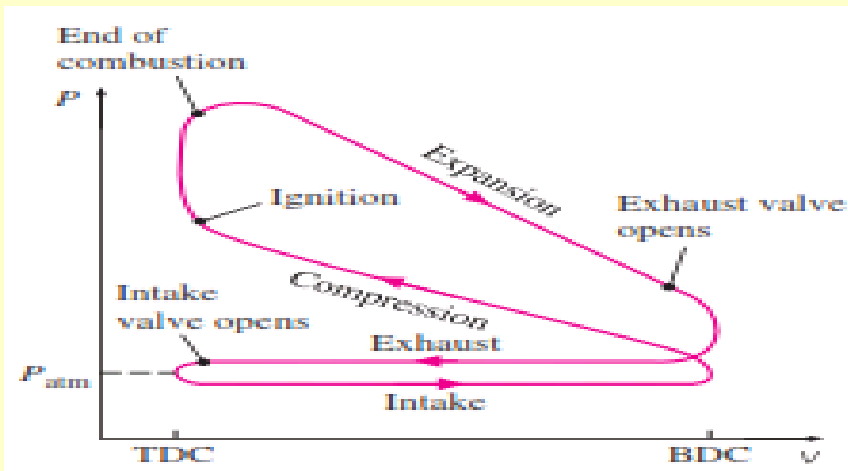


1ος χρόνος  
Το έμβολο στο Κ.Ν.Σ έχει ανοίξει τις θυρίδες εισαγωγής αέρα και ο συμπιεστής γεμίζει αέρα τον κύλινδρο Έχει ανοίξει η βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων

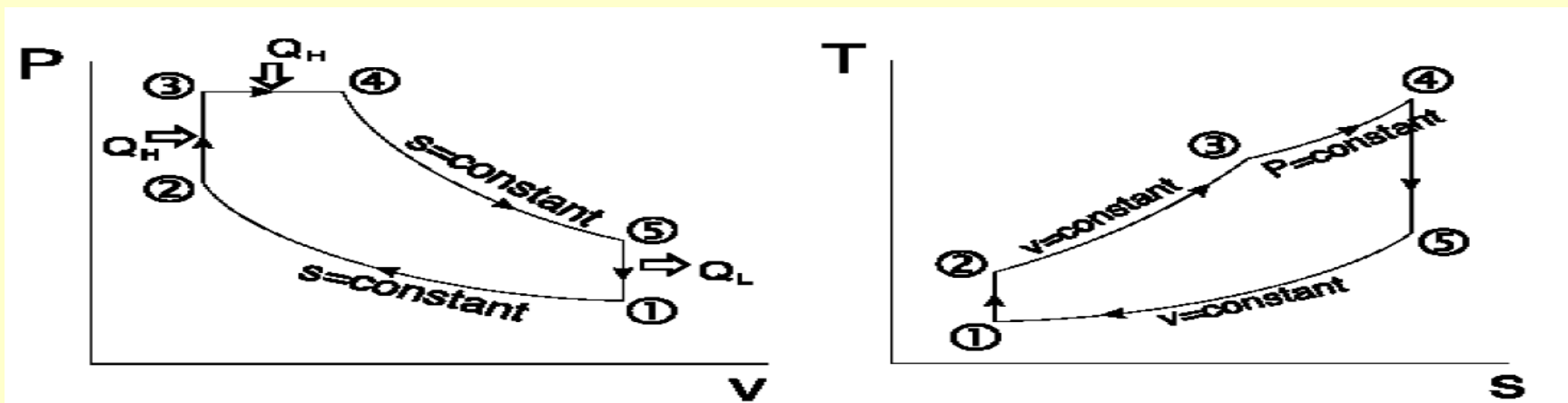
2ος χρόνος  
Το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. συμπιέζοντας τον αέρα στον κύλινδρο αυξάνοντας την θερμοκρασία του Η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή

3ος χρόνος  
Ψεκασμό του καυσίμου, καύση και εκτόνωση των καυσαερίων κινώντας το έμβολο προς το Κ.Ν.Σ. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή

# Πραγματικοί κύκλοι Otto - Diesel



Συγκρίνοντας τους δύο πραγματικούς κύκλους Otto και Diesel παρατηρείται ότι έχουν μικρή διαφορά. Η καύση στους δύο κύκλους γίνεται με μεταβολή του όγκου και της πίεσης. Στον Otto είναι μεγαλύτερη η διάρκεια της καύσης με σταθερό όγκο και στον Diesel μεγαλύτερη η διάρκεια της καύσης με σταθερή πίεση. Έτσι υιοθετείται ο **Ενοποιημένος Θερμοδυναμικός Κύκλος Otto – Diesel**





# Ενοποιημένος κύκλος Otto-Diesel

Στην πραγματικότητα και οι κινητήρες Otto και οι κινητήρες Diesel έχουν περίοδο καύσης με σταθερό όγκο και περίοδο καύσης με σταθερή πίεση (διαφέρει η διάρκειά τους).

Στους κινητήρες Otto η καύση πραγματοποιείται σε πολύ μικρό χρόνο όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και στην πραγματικότητα δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά ο όγκος του θαλάμου καύσης.

Σε κινητήρες Diesel για να επιτευχθεί η καύση σε σταθερό όγκο δημιουργείται ειδικός θάλαμος όπου πραγματοποιείται η καύση σε συνθήκες σταθερού όγκου και μετά βγαίνουν τα καυσαέρια στον χώρο εκτόνωσης μεταξύ του εμβόλου και της κεφαλής.

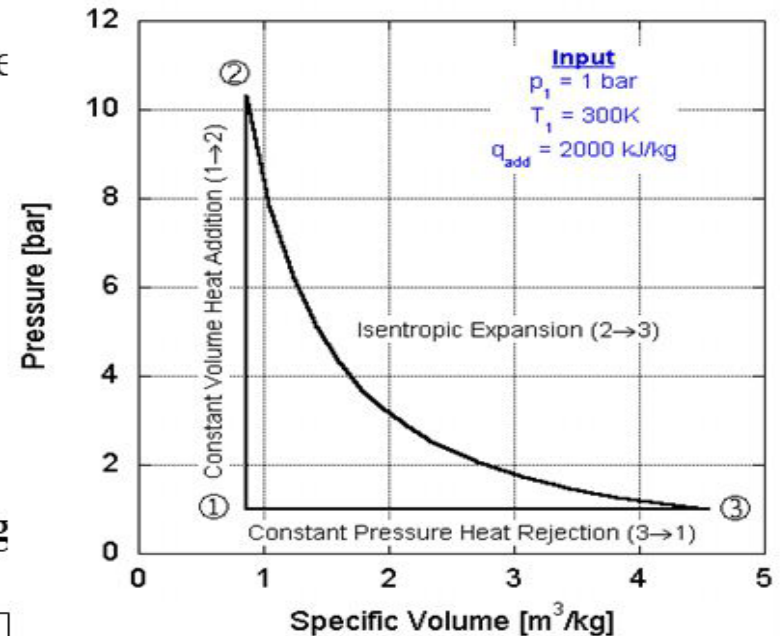
Σήμερα όλοι οι κινητήρες έχουν ένα ποσοστό της καύσης τους που πραγματοποιείται σε σταθερό όγκο και ένα ποσοστό της καύσης που πραγματοποιείται σε σταθερή πίεση.

Η διαφορά των σημερινών κινητήρων Otto και Diesel βρίσκεται στον τρόπο ανάφλεξης του μείγματος καύσιμο-αέρα και είναι αυτό που καθορίζει τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία των κινητήρων τους, με ηλεκτρικό σπινθήρα στον κινητήρα Otto και με αυτανάφλεξη στον κινητήρα Diesel.

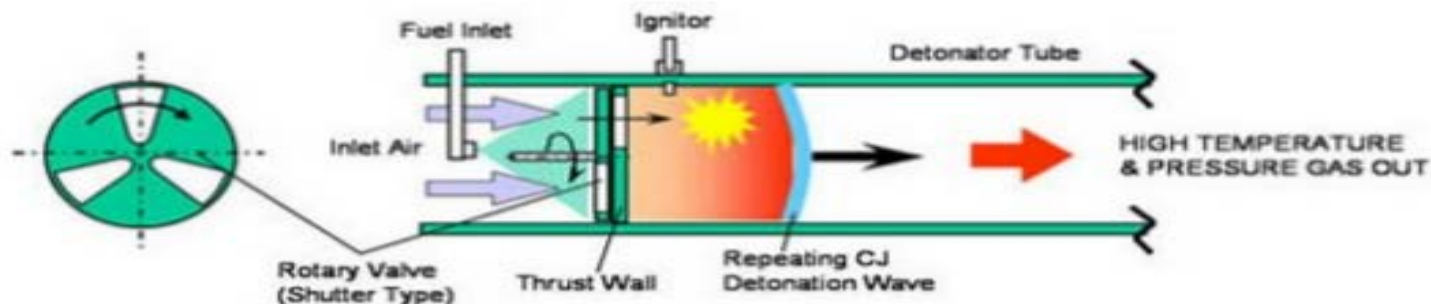
Η αγγλόφωνη βιβλιογραφία χρησιμοποιεί δύο ορισμούς σε αντικατάσταση των Otto και Diesel που σωστότερα χαρακτηρίζουν τους δύο κινητήρες Spark Ignition Engine και Compression Ignition Engine .

# Παλμικός αεροθερμοδυναμικός αυλός

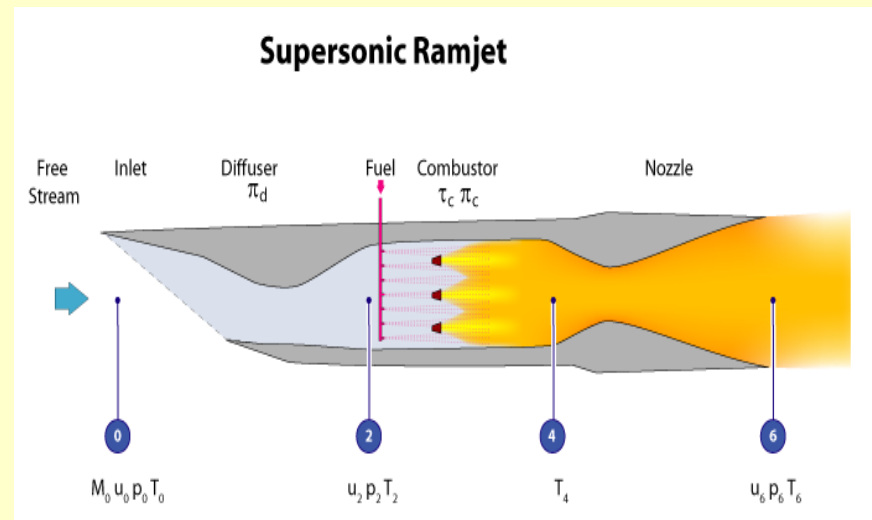
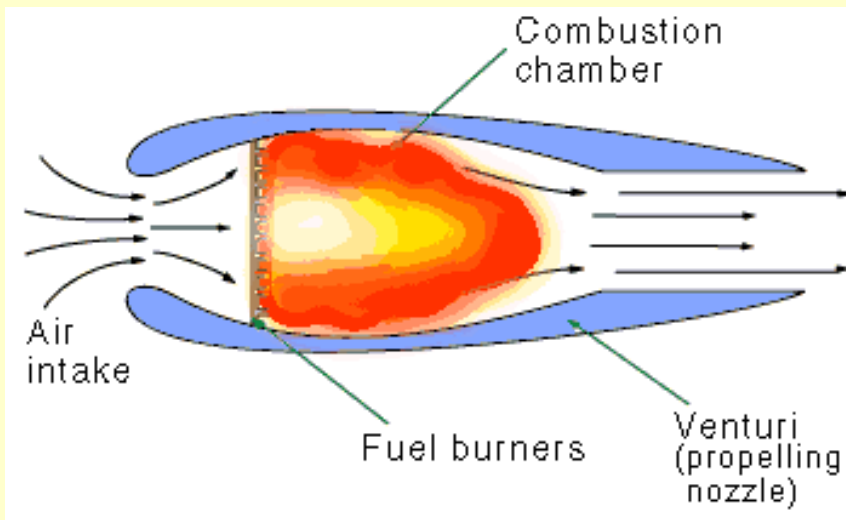
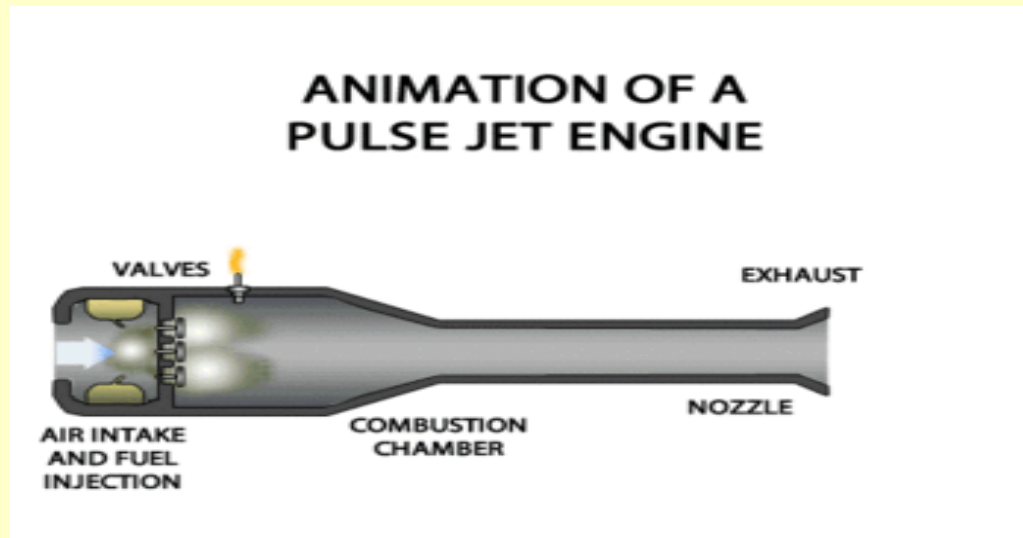
- The **Lenoir cycle** is an idealized thermodynamic cycle often used to model a pulse-jet engine.
- Comprises of 3 cycles:
  - **Heat added at constant volume.**
  - **Adiabatic Expansion.**
  - **Exhaust of the hot gasses at a constant pressure.**
- Thrust can be directly calibrated on the basis that the cycle is completed over two working strokes.



$$\text{Thrust } F = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{V_0 - V_1} \left[ \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dv - p_0(V_0 - V_1) \right] \right\} \text{ lb.}$$

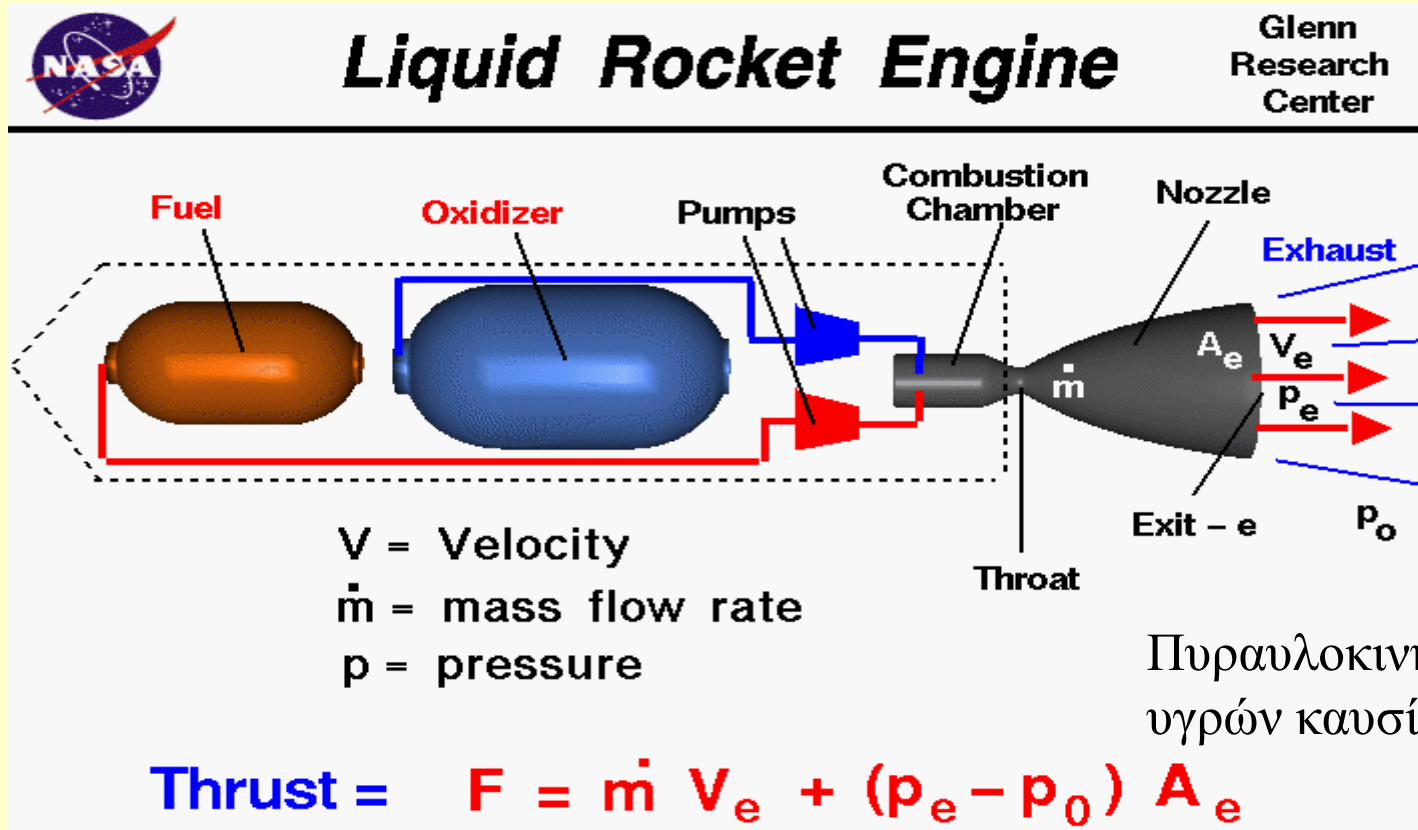


# Αεροθερμodynamικός αυλός





# Διάγραμμα Πυραυλοκινητήρα



Πυραυλοκινητήρες υπάρχουν με στερεά και υγρά καύσιμα. Πυραύλους με κινητήρα στερεών καυσίμων εμφανίστηκαν σε επιχειρησιακή χρήση στην αρχή του Β' παγκοσμίου πολέμου με το πύραυλο "Κατιούσα" των σοβιετικών. Πυραύλους με κινητήρα υγρών καυσίμων είχαν οι πύραυλοι V2 των γερμανών στο τέλος του πολέμου.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Ευχαριστώ  
για την  
προσοχή σας

[koumbakis@gmail.com](mailto:koumbakis@gmail.com)