

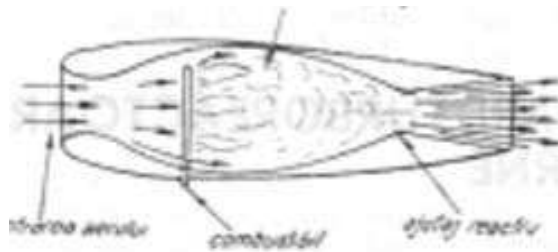
# Motorul turboreactor

## Caracteristici functionale:

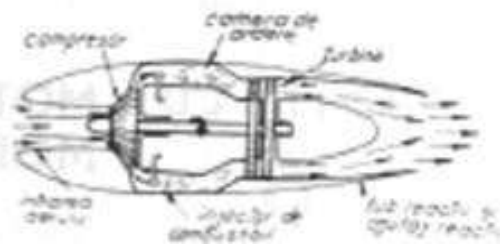
Posibilitatea folosirii unui ajutor de reactie a interesat proiectantii de avioane mult timp, dar de la început vitezele mici ale avionului si incompatibilitatea unui motor cu piston pentru producerea curentului de aer necesar ajutorului, au prezentat multe obstacole.

Un inginer francez, **Rene Lorin** a brevetat în 1913 un motor cu propulsie prin reactie. În acea perioadă era imposibil de realizat sau de folosit pe avioane, si totusi astăzi, statoractorul este foarte asemănător coceptiei lui Lorin.

În 1930, **Frank Whittle** a donat primul său patent de folosire a unei turbine cu gaz pentru producerea propulsiei cu reactie dar au trecut 11 ani ca motorul său să îndeplinească primul zbor.



**Motorul lui Lorin**



**Motorul lui Witlle**

## Principile propulsiei cu reactie:

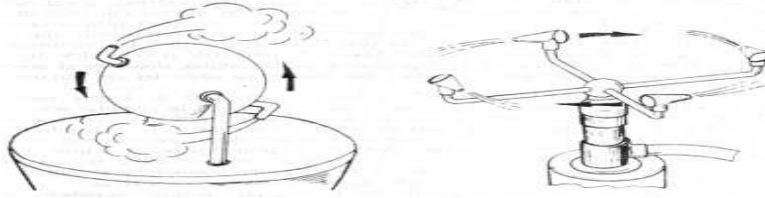
Propulsia cu reactie este o aplicatie practicã a celei de-a treia legi a miscãrii, a lui **Sir Isaac Newton** care afirmã cã, “*pentru orice forã care actioneazã asupra unui corp existã o forã egalã si de sens contrar*”. În cazul nostru, forta de propulsie este aerul atmosferic care trecând prin motor este accelerat.

Un motor cu reactie prodeuce tractiunea într-un mod similar cu cea a combinatiei motor-elice, dar în timp ce elicea dã o acceleratie micã unei cantitãti mari de aer, motorul cu reactie dã o acceleratie mare unei cantitãti mici de aer.

Acelasi principiu al reactiei are loc în toate formele de miscare; el a fost aplicat si folosit în multe feluri, dar cel mai timpuriu si mai cunoscut exemplu de forã de reactie este motorul lui Heron produs

initial ca jucărie. Această jucărie arată cum reacția aerului dintr-un număr de ajutaje ar putea realiza o reacție egală și opusă ajutajelor, cauzând astfel rotirea motorului.

Cunoscutul stropitor de grădină este cel mai practic exemplu al acestui principiu, pentru că mecanismul se rotește în virtutea reacției jeturilor de apă.

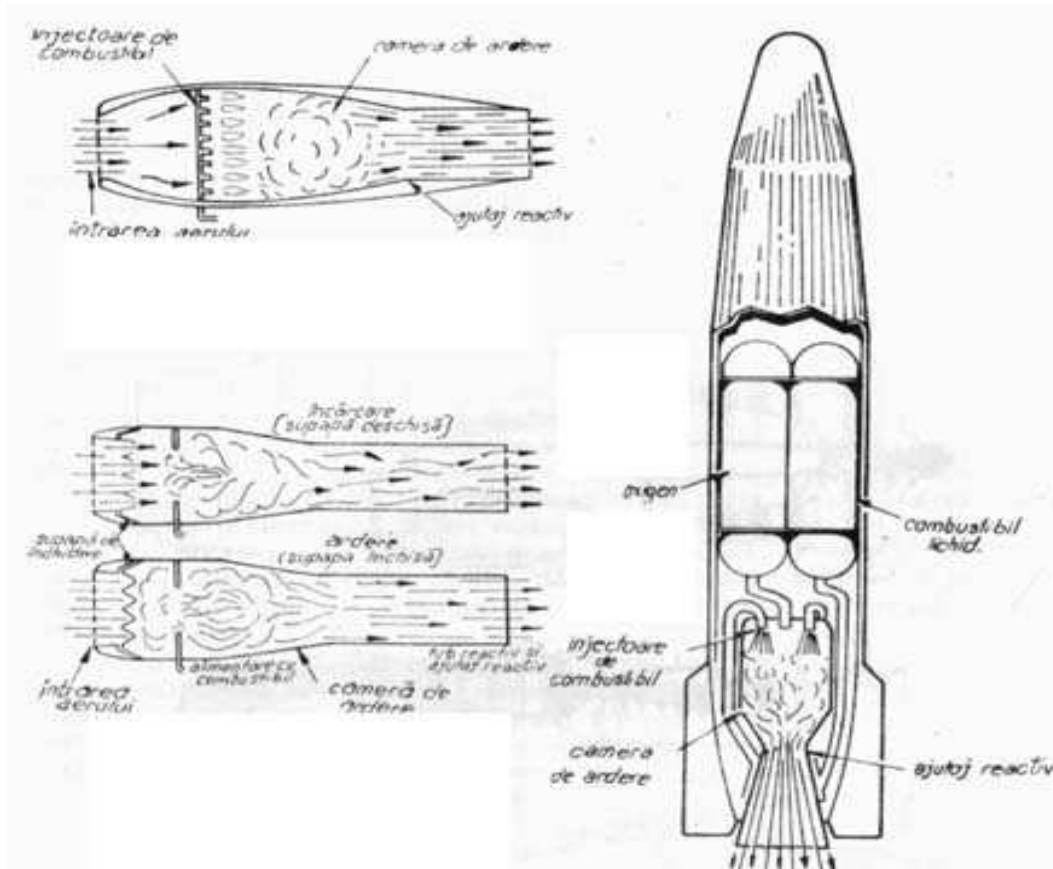


**Motorul lui Heron și stropitorul**

**Metodele propulsie cu reacției:**

Tipul de motor cu reacție, statoreactor, pulsoreactor, rachetă sau turbină cu gaze diferă numai în felul în care “producătorul de tracțiune”, sau motorul, obține și transformă energia în lucru mecanic pentru zbor.

*Motorul statoreactor* este de fapt o conductă aerodinamică. Nu are piese în rotație și e format dintr-un canal cu o intrare divergentă și o ieșire convergentă sau convergent divergentă. El necesită mișcarea de înaintare distribuită lui înainte ca orice fel de tracțiune să fi fost produsă.



**Comparatie între statoreactor (stânga sus), pulsoreactor (stânga jos) și motorul rachetă (dreapta)**

*Motorul pulsoreactor* folosește principiul de ardere intermitentă și spre deosebire de statoractor poate funcționa în condiție statică. Motorul este format dintr-o conductă aerodinamică similară statoractorului dar din cauza presiunilor mari implicate are o construcție mai robustă. Gura de intrare are o serie de supape de intrare care sunt menținute prin resort în poziția deschisă. Aerul atras prin supapele deschise trece în camera de ardere și este încălzit de arderea combustibilului injectat. Expansiunea ridicată duce la ridicarea presiunii forțând supapele să se închidă și gazele expandate sunt apoi expulzate spre spate.

O scădere a presiunii creată de gazele evacuate permite supapelor să se deschidă și să repete ciclul. Pulsoreactoarele au fost create pentru propulsia rotorului de elicopter și printr-un studiu atent al secțiunii de curgere de-a lungul motorului s-a putut reduce numărul de supape. El este însă incapabil să egaleze performanța motorului modern cu turbină cu gaze.

*Motorul rachetă* este un motor cu reacție deosebit de celelalte prin faptul că nu folosește aerul atmosferic drept curent sau fluid de propulsie. El este deci potrivit pentru etape scurte.

Folosirea turbinei cu gaz la propulsia prin reacție a îndepărtat defectul inerent al rachetei și statoractorului pentru că, prin introducerea unui compresor, acționat de turbină s-a asigurat un mijloc de producere a tracțiunii la viteze mici.

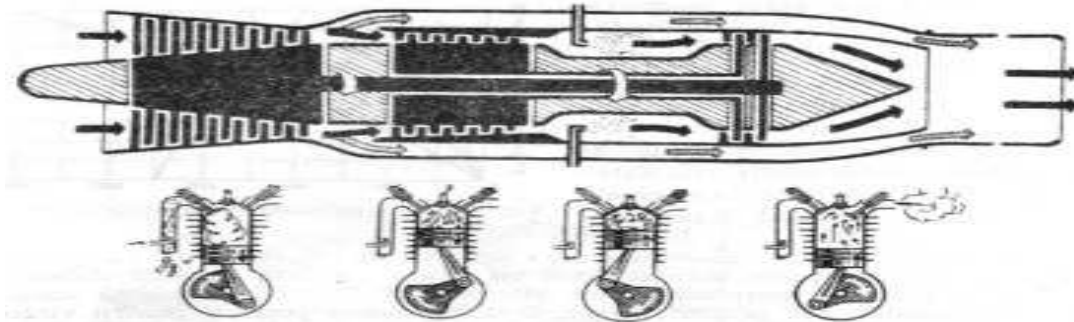
Motorul absoarbe aer din atmosferă și după comprimarea și încălzirea acestuia, proces care se produce la toate motoarele calde, energia ridicată a gazelor de ardere le obligă să iasă afară prin ajutorul reactiv cu o viteză de 2250 km/h. În mersul său prin motor aerul cedează o parte din energia sa turbinei cu gaze care la rândul ei acționează compresorul.

Probele termo și aerodinamice sunt complexe. Acestea rezultă din temperaturile mari de funcționare ale camerelor de ardere și ale turbinei, din efectele scurgerii variabile de-a lungul paletelor compresorului și ale turbinei, și din construcția sistemului de evacuare prin care gazele sunt evacuate formând jetul propulsiv. Pentru vitezele de zbor mai mici de 560 km/h, motorul cu reacție autentic este mai puțin eficient decât un motor cu elice, întrucât eficiența sa, care depinde în mare măsură de viteza de înaintare tindă să scadă. Pentru un avion ce funcționează la viteze medii, se folosește combinația de elice și motor cu turbină cu gaze. Avantajele acestei combinații au fost extinse prin introducerea motoarelor cu ventilator și canal de ocolire dând astfel o eficiență propulsivă comparabilă cu cea a turbopropulsorului.

### **Ciclul motorului turboreactor:**

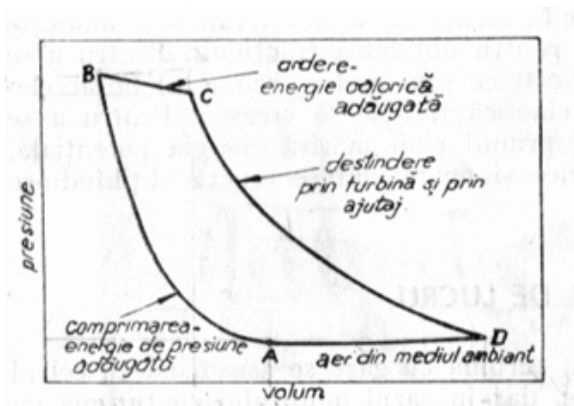
Motorul cu turbină cu gaze este în esență un motor termic care folosește aerul atmosferic ca fluid de lucru pentru obținerea tracțiunii. Pentru a se realiza aceasta, curentul de aer care trece prin motor

trebuie să fie accelerat, respectiv viteza sau energia sa cinetică trebuie să crească. Pentru a se obține această creștere trebuie în primul rând mărită energia potențială, urmată de creșterea energiei calorice și fenomenul se repetă obținându-se un jet cu viteză mare.



### Compartie între ciclul de lucru al unui motor cu piston și cel al unui motor turboreactor

Ciclul de lucru al motorului cu turbină cu gaze se aseamănă cu cel al motorului cu piston în patru timpi, dar în cazul motorului cu turbină cu gaze, arderea are loc la presiune constantă în timp ce la motorul cu piston, arderea are loc la volum constant. Studiul ambelor cicluri arată că în fiecare caz există: **ADMISIE**, **COMPRESIE**, **ARDERE** și **EVACUARE**. La motorul cu piston, ciclul este intermitent, pistonul fiind partea implicată în toți cei patru timpi. Dimpotrivă, motorul cu turbină cu gaze, are un ciclu continuu cu un compresor separat, un sistem de ardere, un sistem de evacuare și turbină. Ciclul continuu și absența pieselor reciproce, dau o funcționare mai lentă a motorului și fac posibil ca o cantitate mare de energie să fie folosită pentru obținerea randamentului propulsiv. În cazul motorului cu turbină cu gaze, combustia are loc la presiune constantă, cu o creștere în volum, deci presiunile de vârf care se obțin într-un motor cu piston sunt evitate. Aceasta permite folosirea camerelor de combustie cu greutate mică și prefabricate și folosirea de combustibili inferiori, deși temperaturile mai mari ale flăcării cer materiale speciale pentru a se asigura o durată mare a folosirii camerei de ardere.



Ciclul de lucru cu ajutorul căruia funcționează motorul cu turbină cu gaze este, în forma sa cea mai simplă, reprezentat în diagrama volum-presiune din figură. Punctul **A** reprezintă aerul de la presiunea atmosferică, aer comprimat de-a lungul liniei **AB**. De la **B** la **C** se

adaugă căldura aerului prin introducerea și arderea combustibilului la presiune constantă, deci se mărește considerabil volumul de aer. Pierderile de presiune din camera de ardere sunt indicate de panta dintre **B** și **C**. De la **C** la **D** gazele care rezultă din ardere se destind în turbină și în ajutorul de reacție până la presiunea atmosferică. În timpul acestei părți a ciclului o parte din energia gazelor expandate este transformată în putere mecanică.

Deoarece motorul turboreactor este un motor termic, cu cât e mai ridicată temperatura de ardere, cu atât este mai mare și destinderea gazelor. Temperatura de ardere nu trebuie să depășească o valoare limită întrucât mărimea ei la intrarea în turbina este condiționată de materialele folosite.

Utilizarea paletelor răcite cu aer în ansamblul turbinei, permite folosirea unei temperaturi cât mai mari a gazului și în consecință se obține un randament termic ridicat.

### **Relatiile dintre presiune, volum și temperatură:**

În timpul ciclului motor curentul de aer sau “fluidul de lucru”, primește și cedează căldură, producând schimbări în temperatura, volumul și presiunea fluidului. Aceste schimbări au loc în timp scurt în motor și sunt strâns legate și respectă un principiu comun cuprins legile lui **Boyle** și **Charles**. Pe scurt, aceasta înseamnă că valorile presiunii și volumului de aer la diferite etape în ciclul motor sunt proportionale cu temperatura absolută a aerului corespunzător acestor etape.

Aplicațiile acestei relații sunt folosite la schimbarea stării amestecului, spre exemplu, fie că acesta este încălzit prin ardere, ori încălzit prin compresie, ori destins de către turbină, energia lui folosește pentru funcționare compresorului. Schimbarea căldurii este direct proporțională cu lucrul mecanic adăugat sau extras de la gaz.

Există trei timpi principali în ciclul de lucru al motorului în timp ce au aceste schimbări. În timpul **COMPRESIEI**, lucrul mecanic este dat aerului producând creșterea presiunii și temperaturii. În timpul **COMBUSTIEI**, când combustibilul se adaugă aerului, se produce arderea care mărește temperatura și volumul amestecului, presiunea rămâne constantă deoarece motorul funcționează într-un ciclu cu presiune constantă. În timpul **DESTINDERII**, când lucrul mecanic obținut din curentul de gaz prin ansamblul turbinei acționează compresorul, scade temperatura și presiunea gazelor, volumul lor crescând.

Eficiența cu care aceste schimbări sunt realizate va determina măsura în care relațiile cerute dintre presiune, volum și temperatură sunt obținute. Cu cât e mai eficient compresorul (randament intern mare), cu atât presiunea obținută pentru un același lucru mecanic consumat este mai ridicată. În schimb, cu cât turbina folosește mai eficient gazul destins (randament intern al turbinei mare) cu atât lucrul mecanic obținut este mai mare și gazul se destinde.

Când aerul este comprimat sau destins cu un randament  $\eta=100\%$ , se spune ca avem compresie si destindere adiabatică. Totusi, deoarece o astfel de schimbare arată că nu există nici o pierdere de energie în timpul procesului, fie prin frecare, fie prin transmitere ori turbionare, evident este imposibil sa se obțină în practică o transformare adiabatică completă; 90% reprezinta valoarea randamentului intern (termic) pentru un compresor si o turbină cu performante bune.

Vom calcula randamentul motorului presupunând că este cunoscut raportul de compresie  $e = V_1/V_2$ . Vom considera ciclul ideal, astfel că nu se vor lua în calcul pierderile de energie din transformarea **BC** si nici faptul că pe transformarea **CD** o parte din energie este transformată în putere mecanică si transmisă compresorului. Vom avea deci un ciclu format din două adiabate si două izobare.

$$\eta = 1 - |Q_1| / Q_2$$

$$\eta = 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2)$$

Ecuatiile transformărilor sunt:

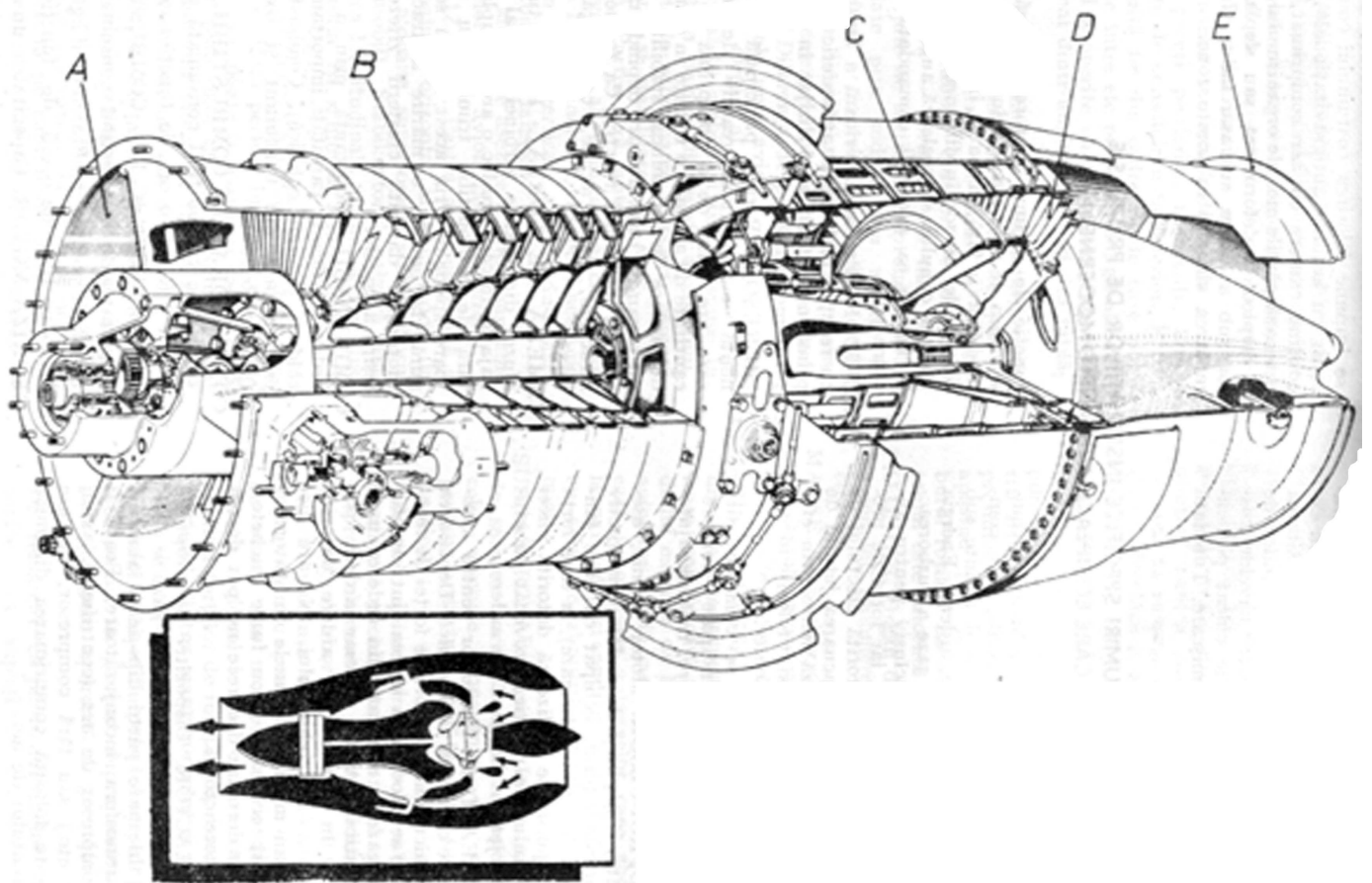
$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad V_2 / T_2 = V_3 / T_3$$

$$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1} \quad V_4 / T_4 = V_1 / T_1$$

Din prima ecuatie se obtine relatia  $T_2 = T_1(V_1 / V_2)^{\gamma-1} = T_1 e^{\gamma-1}$  iar apoi, folosind celelalte ecuatii:  $T_4 = T_3(V_1 / V_2)^{\gamma-1} = T_3 e^{\gamma-1}$ . Randamentul va fi:

$$\eta = 1 - (T_4 / T_3)(1 - T_1 / T_4) / (1 - T_2 / T_3)$$

$$\eta = 1 - 1 / e^{\gamma-1}$$



**Părțile principale ale motorului turboreactor cu compresor axial:**  
**A: Priza de aer; B: Compresorul; C: Camerele de ardere; D: Turbina;**  
**E: Ajutajul reactiv;**