INGENIERÍA DE FLUIDOS 26-2-02

Desde 1983 se han estado estudiando los llamados RamAccelerators, cuyo objetivo es el de acelelar un proyectil en el interior de un tubo hasta velocidades supersónicas (para puesta en órbita de cargas, por ejemplo). El sistema se esquematiza en la figura adjunta. El proyectil se mueve en el interior del tubo de sección A con número de Mach $M_1 > 1$. El gas que llena el tubo es una mezcla reactiva, de forma que da lugar a la formación de una detonación que aumenta la presión del fluido detrás del proyectil, lo que provoca una fuerza de propulsión F que lo acelera. En ejes solidarios con el proyectil el movimiento del gas es estacionario, con condiciones aguas arriba del cuerpo (conocidas) dadas por p_1, h_1 y M_1. Para determinar el valor de F en el caso $M_1 = 5$ se sugiere seguir los siguientes pasos:

1. La presencia del cuerpo produce la compresión del gas a través de una serie de ondas de choque oblicuas tridimensionales. Suponiendo que la compresión producida es asimilable a dos ondas de choque oblícuas con deflexión de la corriente $\delta = 15^o$, determine el valor del número de Mach M_2 y de la presión p_2/p_1 aguas abajo.

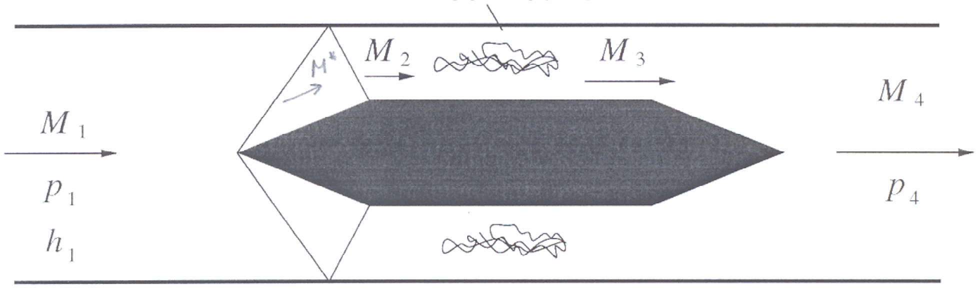
2. El proceso de combustión produce una adición de calor en el conducto de paso lateral que queda entre la pared del tubo y el proyectil, cuyo área trasversal es $A_l = 0.4A$. Determine el valor de M_3 y p_3/p_1 al final del proceso de combustión suponiendo que $Q/h_1 = 1$, siendo Q la cantidad de calor que se libera por unidad de masa de gas.

3. La corriente supersónica se expande isentrópicamente en la sección de cola del proyectil, dando lugar a la aceleración de la corriente, que alcanza condiciones finales M_4 y p_4/p_1, que se piden determinar.

4. Haciendo uso de la ecuación integral de cantidad de movimiento, compruebe que la fuerza que se ejerce sobre el cuerpo puede expresarse en la forma

$$\frac{F}{Ap_1} = \frac{p_4}{p_1}(1 + \gamma M_4^2) - (1 + \gamma M_1^2) \tag{1}$$

valor que se pide calcular.



① $M_1=5,\ \delta=15 \rightarrow \beta_1=25$ $\quad p^*/p_1 = 4.98$ $\quad \beta_2=31$ $\quad M_{2n}=0.65$ $\quad \boxed{M_2 = 2.36}$

$M_{1N}=2.11 \rightarrow M_N^*=0.56,\ M^*=3.2$ $\quad \frac{p_2}{p^*}=2.98$ $\quad \boxed{\frac{p_2}{p_1} = 14.84}$

② $\frac{F^2(M_3)}{F^2(M_2)} = 1 + \frac{Q}{h_2(1+\frac{\gamma-1}{2}M_2^2)} = 1 + \frac{Q}{h_1(1+\frac{\gamma-1}{2}M_1^2)} = 1.16,\ F(M_3)=0.42,\ \boxed{M_3 \simeq 1.75}$

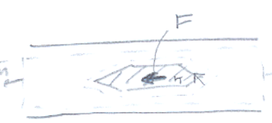
$\hookrightarrow F(M_2)=0.39$

$\frac{p_3}{p_2} = \frac{1+\gamma M_2^2}{1+\gamma M_3^2} = 1.66,\ \boxed{\frac{p_3}{p_1} = 24.7}$

③ $M_3=1.75,\ \frac{A_l}{A^*}=1.385,\ \frac{A}{A^*} = \frac{A}{A_l}\frac{A_l}{A^*} = \frac{1.385}{0.4} = 3.46 \rightarrow \boxed{M_4 \simeq 2.8}$

$\frac{p_0}{p_3}=5.3$ $\quad p_4/p_3 = \frac{p_0/p_3}{p_0/p_4} = \frac{5.3}{27.1} = 0.195$ $\quad \boxed{p_4/p_1 = 4.83}$

④ $\boxed{\frac{F}{Ap_1} = 21.8}$



$\int \rho \vec{v}\vec{v}\cdot\vec{n}d\sigma = -\int p\vec{n}d\sigma \Rightarrow \rho_4 U_4^2 A - \rho_1 U_1^2 A = p_1 A - p_4 A + F$

$\frac{F}{Ap_1} = \frac{p_4}{p_1}\left(1 + \frac{U_4^2}{p_4/\rho_4}\right) - \left(1 + \frac{U_1^2}{p_1/\rho_1}\right)$