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 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 el caso de la configuración subdetonativa que se esquematiza en la figura adjunta la detonación se forma detrás del proyectil, dejando la corriente bloqueada con $M_5 = 1$. 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 $M_1 = 3.5$ 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 $\delta = 15°$, determine el valor del número de Mach M_2 y de la presión p_2/p_1 aguas abajo.

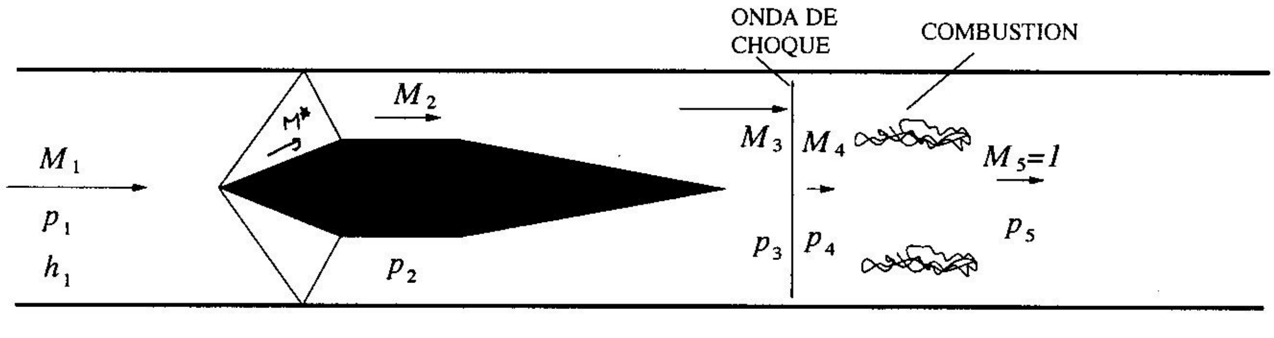
2. La corriente, aún supersónica, se expande isentrópicamente en la sección de cola del proyectil, dando lugar a la aceleración de la corriente, que alcanza condiciones finales M_3 y p_3/p_1, que se piden determinar sabiendo que el área transversal de paso que queda entre la pared del tubo y el proyectil es $A_2 = 0.4A$.

3. Suponiendo que la detonación se pude analizar como una onda de choque normal seguida de una zona de adición de calor, obtenga las condiciones detrás de la onda de choque normal M_4 y p_4/p_1, así como el valor del calor que se libera por unidad de masa de gas Q, dando el resultado en la forma Q/h_1. Determine también el valor de la presión final p_5/p_1.

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

$$\frac{F}{Ap_1} = \frac{p_3}{p_1}(1 + \gamma M_3^2) - (1 + \gamma M_1^2) \tag{1}$$

valor que se pide calcular.



1) $\left.\begin{array}{l} M_1 = 3.5 \\ \delta = 15° \end{array}\right\} \rightarrow \begin{array}{l} M^* = 2.6 \\ P^*/P_1 = 3.2 \end{array} \xrightarrow{\delta = 15°} \begin{cases} M_2 = 1.95 \\ \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_*}\frac{P_*}{P_1} = 2.5 \times 3.2 = 8 \end{cases}$

$M_2 = 1.95 \rightarrow \begin{array}{l} P_2/P_{02} = 0.138 \\ A^*/A_2 = 0.6175 \end{array}$

2) $\frac{A_2}{A} = \frac{A^*/A}{A^*/A_2} = 0.4 \rightarrow \frac{A^*}{A} = 0.4 \times 0.6175 = 0.247 \rightarrow \begin{cases} P_3/P_{03} = 0.029 \\ M_3 = 2.95 \end{cases} \rightarrow \frac{P_3}{P_1} = \frac{P_3/P_{03}}{P_2/P_{02}}\frac{P_2}{P_1} = \frac{0.029}{0.138} \times 8 = 1.68$

3) $M_3 = 2.95 \rightarrow M_4 = 0.4782$

$P_4/P_1 = \frac{P_4}{P_3}\frac{P_3}{P_1} = 9.986 \times 1.68 = 16.78$

$\frac{Q}{h_{04}} = \left(\frac{F(M_5)}{F(M_4)}\right)^2 - 1 \Rightarrow \boxed{\frac{Q}{h_1}} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2}M_1^2\right)\left[\left(\frac{F(M_5)}{F(M_4)}\right)^2 - 1\right] = \boxed{1.79}$

$h_{04} = h_{01} = h_1\left(1 + \frac{\gamma-1}{2}M_1^2\right)$

0.456

0.37

$\boxed{\frac{P_5}{P_1}} = \frac{1 + \gamma M_4^2}{1 + \gamma M_5^2}\frac{P_4}{P_1} = \boxed{9.23}$

4) $\frac{F}{AP_1} = \frac{P_3}{P_1}\left(1 + \gamma M_3^2\right) - \left(1 + \gamma M_1^2\right) = \boxed{3.99}$