

راکتهای اتمی

نوشته :

مهدی صرام

استادیارگروه تکنولوژی هسته‌ای - مرکز اتمی دانشگاه تهران

مقدمه - انرژی اتمی در امور مربوط به فضا کار بردهای زیادی پیدا نموده است ، بطور کلی این کاربردها را میتوان بدو دسته تقسیم نمود .

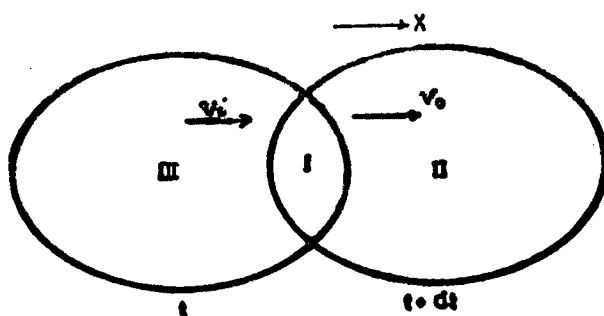
۱- استفاده از انرژی اتمی برای تولید برق که خود بحث جداگانه و مفصلی است و تنها باین نکته اکتفا میشود که اعمار مصنوعی متعددی در حال گردش بدور زمین هستند که از ژنراتورهای اتمی بنام (SNAP) برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز خود استفاده میکنند . (3-SNAP) اسسال نهمین سال فعالیت خود را در یک قمر مصنوعی که از آن برای ردیابی استفاده میشود میگذراند ، این ژنراتور حدود ۳ وات برق تولید میکند .

۲- استفاده از انرژی اتمی برای تولید نیروی کشش (Propulsion) در این زمینه تا آنجا که اطلاع در دست است در ایالات متحده امریکا فعائیتهای زیادی از حدود سال ۱۹۶۰ آغاز گردیده و پروژه‌های مختلفی نظیر Nerva , Phoebus , Rover و غیره همگی جنبه‌های مختلف استفاده از راکتورهای اتمی برای تولید نیروی کشش را بررسی میکنند ، در این مقاله سعی خواهد شد که مهمترین این پروژه‌ها که طرح راکت اتمی نروا (Nerva) میباشد بدقت بررسی شده و نتایج حاصله باراکتهای شیمیائی معمولی مقایسه گردد .

هدف اصلی ساختن راکت نروا که طرح مشترك سازمان فضائی (NASA) و کمیسیون انرژی اتمی (AEC) امریکا میباشد عبارتست از تولید نیروی کشش مناسب برای سفینه‌های فضائی ، فعائیت‌های عمده در این زمینه عبارتند از :

۱- تکمیل ساختمان راکت نروا.

۲- ساختن یک راکت چند مرحله‌ای با یک مرحله اتمی برای سفینه‌های فضائی.



شکل ۱

در ابتدا به بحث مختصری درباره تئوری ایجاد نیروی کشش در راکت‌های اتمی پرداخته و سپس

نتایج را بررسی مینمائیم.

مقدارگازی را در نظر بگیرید که در زمان t حجم $(III+I)$ و در زمان $t+dt$ حجم $(I+II)$

را اشغال کرده است، حجم I را حجم کنترل می‌گوئیم (Control Volume) طبق قانون نیوتن داریم:

$$\Sigma F_x = \frac{d}{dt} (mv_x) \quad (1)$$

که m جرم گاز و v_x سرعت حرکت در جهت X و F_x نیروی وارده میباشد. میتوان نوشت که:

$$\frac{d}{dt} (mv_x) = \frac{[(mv_x)_I + (mv_x)_{II}]_{t+dt} - [(mv_x)_I + (mv_x)_{III}]_t}{dt} \quad (2)$$

ولی تغییرات زمانی اندازه حرکت:

$$[(mv_x)_I]_t - [(mv_x)_I]_{t+dt} =$$

در حجم کنترل I :

$$= \frac{\partial}{\partial t} (mv_x)_I$$

$$(mv_x)_{II} \text{ }_{t+dt} = \text{اندازه حرکت خروجی} = \frac{\Sigma v_x [\delta m_{II}]_{t+dt}}{dt}$$

$$= \Sigma v_{x_0} \left[\frac{\delta m_{II}}{dt} \right]_{t+dt}$$

از طرفی میدانیم که:

$$dt \text{ فلوی اندازه حرکت خروجی در } dt = \oint_{\text{سطح}} (V_x dm)_0$$

$$dt = \oint_{\text{سطح}} (v_x dm)_i$$

و طبق رابطه (۲):

$$\Sigma F_x = \frac{d}{dt} (mv_x) = \frac{d}{dt} (mv_x)_I + \oint (v_x dm)_o - \oint (v_x dm)_i$$

در حالت تعادل Steady State مقدار:

$$\frac{d}{dt} (mv_x)_I = 0$$

و:

$$dm_o = dm_i$$

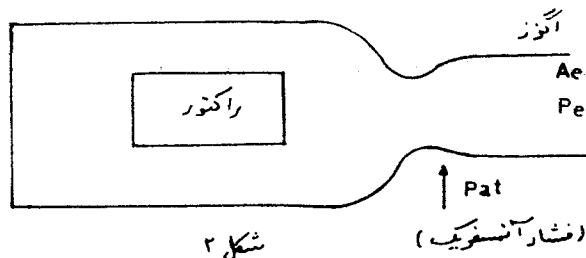
(جرم گاز خروجی برابر با جرم گاز ورودی میباشد)

$$\left(\frac{dm}{dt} \right)_i = \left(\frac{dm}{dt} \right)_o = \dot{m} = \text{سرعت حرکت جرم}$$

در حالت یکک دیمانسینی مقدار v_x ثابت میباشد و بنابراین:

$$\Sigma F_x = \dot{m}(v_o - v_i) \quad (3)$$

در رابطه (۳) v_o و v_i سرعت در حدود مرزی حجم کنترل و \dot{m} سرعت حرکت جرم میباشد، رابطه (۳) را حال در مورد یکک راکت اتمی میتوانیم بکار ببریم.



$$\Sigma F_x = F_{xg}$$

نیروی روی گاز

$$F_{xg} = \text{نیروی کشش روی گاز} + PeAe$$

$$(\text{نیروی کشش روی راکت}) = - F_{xg}$$

و بنابراین رابطه اساسی راکت خواهد بود:

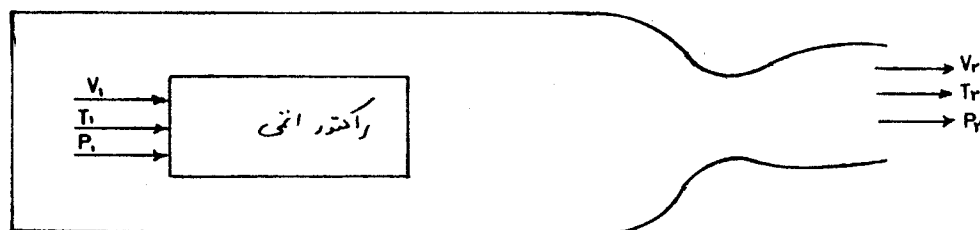
$$T = \dot{m}(v_o - v_i) + Ae(Pe - Pat) \quad (4)$$

برای تصحیح دیمانسیون در رابطه (ε) داریم :

$$T_1 = \text{نیروی کشش خالص} = \frac{\dot{m}}{g} (v_o - v_i) + Ae(P_e - P_{at}) \quad (5)$$

که g شتاب ثقل میباشد.

اینک به بحث مختصری درباره ساختمان راکت نروا پرداخته و فرمول (۵) را درباره آن بکار میبریم. شکل ۳ یک راکت اتمی نروا را نشان میدهد که در آن یک راکتور اتمی انرژی لازم را برای حرکت درآوردن



شکل ۳

راکت تولید میکند P_1, T_1, V_1 به ترتیب سرعت، درجه حرارت و فشار در مرحله ورود به راکتور و P_2, T_2, V_2 پارامترهای مربوطه پس از خروج از راکتور میباشد برای آنکه بتوانیم نیروی کشش راکت نروا را با راکت‌های معمولی شیمیائی مقایسه کنیم باید بتوانیم رابطه بین V_2 و V_1 را که سرعت‌های ورودی و خروجی میباشد پیدا نمائیم، برای این منظور از رابطه (۵) حاصله استفاده میکنیم. در رابطه (۵) اختلاف P_e و P_{at} آنچنان است که میتوان از مقدار $Ae(P_e - P_{at})$ در مقابل

مقدار کمیت $\frac{\dot{m}}{g} (v_o - v_i)$ صرف نظر نمود، پس :

$$T_1 = \frac{\dot{m}}{g} (v_o - v_i)$$

که مطابق شکل ۳ :

$$V_i = V_1 \quad V_o = V_2$$

حال با در نظر گرفتن اصل بقا انرژی داریم :

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g \cdot J} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g \cdot J}$$

که h_1 و h_2 مقدار انتالپی ورودی و خروجی و J عدد ثابت برای تبدیل واحدها میباشد

$$: \left(J = 778 \frac{\text{فوت پوند}}{\text{BTU}} \right)$$

$$V_2^2 - V_1^2 = 2(h_1 - h_2)g \cdot J$$

$$V_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)g \cdot J + V_1^2} \quad (6)$$

Cp ضریب ثابت میباشد ، پس :

$$V_2 = \sqrt{2g \cdot J T_1 C_p \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) + V_1^2} \quad (7)$$

برای گاز کامل طبق روابط ترمودینامیکی برای انبساط آدیاباتیک داریم :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad K = \frac{C_p}{C_v}$$

$$R = \frac{1040}{\text{جرم سلکولی}} = \text{عدد ثابت گازها}$$

$$C_p J = \frac{k}{k-1} R$$

$$C_p - C_v = \frac{R}{J}$$

$$C_p - C_v = C_p \left(1 - \frac{c_v}{c_p}\right) = C_p \left(1 - \frac{1}{k}\right) = \frac{R}{J}$$

$$C_p = \frac{k}{k-1} \frac{R}{J} \quad (8)$$

مقدار cp فوق را در رابطه (7) گذاشته و مقدار سرعت V_2 که همان سرعت اگزوز خروجی راکت اتمی میباشد بدست میآید .

$$V_2 = \sqrt{2g \cdot \frac{k}{k-1} R T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} + V_1^2 \right]}$$

مقدار V_1 ناچیز است و میتوان از آن صرفنظر نمود و نیز :

$$\frac{P_2}{P_1} \ll \ll 1$$

است و بنابراین :

سرعت اگزوز = V_e :

$$V_2 = \sqrt{2g \cdot \frac{k}{k-1} R T_1} = V_e \quad (9)$$

در این رابطه مهم g . شتاب ثقل k عدد ثابت گاز که تابع نوع گاز بوده و R عدد ثابت گازها برابر با $R = \frac{1040}{\text{جرم ملکولی}}$ میباشد.

یک پارامتر مهم در راکت‌های اتمی فضائی پارامتر اسپالس ویژه (Specific Impulse) میباشد و مقدار آن I برابر است با :

$$I = \frac{Ve}{g}$$

حال که فرمول اسپالس ویژه را پیدا نمودیم میتوانیم مقادیر آنرا برای راکت‌های اتمی و راکت‌های معمولی شیمیائی مقایسه کنیم (راکت ساترن ۵ و راکت S-4B از جمله راکت‌های شیمیائی هستند که در پروژه آپولو از آنها استفاده شده است).

جدول مقایسه اسپالس ویژه

$\frac{I}{I_1}$	$\sqrt{\frac{K}{K-1}}$	K	ماده
۲٫۶۲	۱٫۵۹	۱٫۶۶	۱- هیدرژن اتمی
۲٫۰۸	۱٫۸۷	۱٫۴۰	۲- « ملکولی
۱٫۳۱	۱٫۵۹	۱٫۶۶	۳- هلیوم
۱٫۰۰ (مبدأ)	۲٫۳۵	۱۵	۴- مواد شیمیائی مخلوط با اکسیژن

در این جدول مبدأ کار برای اسپالس ویژه I_1 ، اسپالس ویژه یک راکت شیمیائی معمولی است که مثلاً با مخلوط گازهای هیدرژن و اکسیژن و غیره کار میکنند (نظیر راکت ساترن ۵). I_1 اسپالس ویژه مبدأ میباشد، در راکت‌های اتمی در نظر است از هیدرژن اتمی یا ملکولی استفاده شود.

مقادیر K و اسپالس ویژه برای این موارد در جدول فوق نشان داده شده است، ملاحظه میشود که وقتی از هیدرژن اتمی بعنوان گاز خروجی از راکت اتمی استفاده میکنیم اسپالس ویژه راکت باندازه ۲٫۶۲ بهتر از راکت‌های شیمیائی است، در اینجا موضوع درسه حرارت اولیه T_1 مطرح میگردد. در راکت‌های شیمیائی ما کزیمم درجه حرارت اولیه حدود ۸۰۰ درجه بوده در حالیکه باتکنولوژی امروزه ما کزیمم درجه

حرارت راکت‌های اتمی که تا کنون ساخته شده‌اند در حدود ۴۰۰۰ درجه می‌باشد. لذا می‌بینیم که راکت اتمی به نسبت:

$$\sqrt{\frac{8000}{4000}} = \sqrt{2} = 1.41$$

برتری خود را نسبت به راکت‌های شیمیائی از دست می‌دهد و نی با وجود این یک راکت اتمی که از هیدروژن استفاده می‌کند دارای بهره بیشتری باندازه $\frac{2762}{1.41} = 1960$ در مقایسه با راکت‌های شیمیائی می‌باشد، توجه کنید که مقدار امپالس ویژه بیش از ۸۰ درصد در راکت‌های اتمی افزایش یافته است. امپالس ویژه کمیت مهمی است که تعیین کننده نیروی کشش یک راکت با وزن معین برای خروج از جاذبه ثقل می‌باشد. ماکزیمم امپالس ویژه یک راکت شیمیائی حدود ۴۰۰ است در حالیکه برای راکت‌های اتمی میتوان امپالس ویژه ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ بدست آورد و این مزیت و برتری راکت‌های اتمی بر راکت‌های شیمیائی معمولی است.

در راکت‌های اتمی نروا از هیدروژن مایع (۴۲۰-) درجه فارنهایت استفاده میشود، پس از گرم شدن مایع در راکتور اتمی راکت درجه حرارت آن به حدود ۴۰۰۰ درجه فارنهایت میرسد و بصورت گاز (اگزوز) از دهانه راکت خارج میگردد. مراحل مختلف این راکت تا کنون چندین بار در آزمایشگاه آزمایش شده است امپالس ویژه این راکت ۸۰۰ و نیروی کششی آن حدود ۷۰۰۰ پوند می‌باشد. راکت اتمی نروا یک راکت بسیار مناسب برای مرحله سوم سفینه‌های فضائی می‌باشد، در طرح اولیه این راکت یک نیروی کششی حدود ۷۰۰۰۰ پوند پیش بینی شده بود این راکت امروزه توانسته است نیروی کششی ۷۰۰۰۰ پوند تولید نماید.

بخطایر می‌آوریم که در پروژه‌های آپولو ابتدا سفینه عظیم آپولو بکمک راکت ساترن ۵ با نیروی کششی حدود ۳ میلیون پوند از زمین بحرکت درمی‌آید. مرحله دوم راکت این سفینه را در مدار مناسبی بدور زمین قرار میدهد و مرحله سوم این سفینه که یک راکت نسبتاً کوچکی است برای جدا نمودن از جاذبه ثقل زمین و فرستادن آن بطرف کره ماه می‌باشد. راکت اتمی نروا با نیروی کششی ۷۰۰۰۰ پوند میتواند جایگزین مرحله فوق‌الذکر شود و سفینه سرنشین دار را بطرف ماه یا کرات دورتر بفرستد.

برای فرستادن انسان به کرات دورتر نظیر مریخ و غیره راکت اتمی نروا با امپالس ویژه و نیروی کششی مناسبی که دارد بهترین راکت موجود در عصر حاضر می‌باشد.

امید بسیار زیادی است که در آینده نزدیکی از این راکت‌های اتمی در پروژه‌های فضائی استفاده

گردد.

منابع :

۱- گزارش سالیانه کمیسیون انرژی اتمی امریکا به کنگره

فصل هشتم - ژانویه ۱۹۷۲

۲- تحقیقات انرژی اتمی امریکا - کمیسیون انرژی اتمی امریکا

فصل دوم - ژانویه ۱۹۷۲