



كلية الهندسة المعلوماتية

دراسة فيزيائية

مينا زياد فرحات

جودي حسان طالب

بأشرف الدكتور : عمار النحاس



مقدمة:

صواريخ الفضاء هي صواريخ بعيدة المدى متعددة المراحل .يمكنها حمل اجهزة والات قياس وتصوير ومعدات ارسال واستقبال لاسلكية. ورصد جوي .وقياس درجات الحرارة والرطوبة والاشعاع وقد تحمل قمرا صناعيا او حيوانا او انسان وتقنية الصواريخ هي تقنية غاية في التعقيد؛ لأن محرك الصاروخ يجب أن يصمد، ليس فقط لدرجات الحرارة العالية، ولكن للضغط العالي الفائق والقوى الميكانيكية القوية أيضًا، وأخيرًا ينبغي أن يظل خفيًا لتحقيق مهامه. ويستعمل الناس الصواريخ أساسًا للبحث العلمي ورحلات الفضاء والحرب.

تطور صاروخ الفضاء

بدأ في 4 أكتوبر 1957م عندما أطلق الاتحاد السوفييتي (سابقًا) أول قمر صناعي سبوتنيك 1، . وفي 31 يناير 1958م، أطلق الجيش الأمريكي أول قمر صناعي أمريكي أطلق عليه اسم إكسبلورر-1، إلى المدار بصاروخ جونو-1. وفي 12 أبريل 1961م تم وضع رجل فضاء في مركبة يحملها صاروخ روسي في مدار حول الأرض لأول مرة. وفي 5 مايو 1961م حمل الصاروخ الأمريكي أول رحلة الى الفضاء. وفي 12 أبريل 1981م أطلقت الولايات المتحدة الصاروخ كولومبيا، أول مكوك فضائي يدور حول الأرض.

طورت صواريخ حمل كثيرة بعد الصواريخ البالستية التي صنعت خلال الخمسينيات من القرن الماضي. وكانت كلفة تلك الصواريخ كبيرة . مثل صاروخ تيتان 4 الذي يعتبر أكبر كلفة لإقلاع واحد في التاريخ.

تحتاج صواريخ الفضاء إلى قواعد إطلاق خاصة مجهزة. وأغلب فاعلية القذف تكون حول مركز قاعدة القذف التي ينطلق الصاروخ منها. ويحتوي مكان القذف على :

1- مبنى الهيكل الذي يكمل منه المهندسون الخطوات النهائية في بناء الصاروخ

2- مبنى الخدمة الذي يتأكد فيه العمال من سلامة الصاروخ قبل إطلاقه

3- مركز التَّحْكُم، حيث يوجَّه العلماء إطلاق وطيران الصاروخ. وتقوم محطات الرصد التي تقع في أماكن مختلفة حول العالم بتسجيل مسار رحلة الصاروخ.

يجهز العلماء والمهندسون الصاروخ للإطلاق بطريقة الخطوة خطوة التي تسمَّى العدّ التنازلي، فيرسمون كل خطوة على فترة معينة خلال العد التنازلي، ويتم إطلاق الصاروخ عندما يصل العدّ التنازلي إلى الصفر. ويمكن أن تتسبَّب الأجواء غير المرغوب فيها أو أي صعوبة أخرى في إيقاف الإطلاق الذي يوقف مؤقتًا العد التنازلي.

استعمالات الصواريخ

1- للاستعمالات العسكرية

2- لأبحاث الغلاف الجوي

يستعمل العلماء صواريخ لاكتشاف الغلاف الجوي المحيط بالأرض.

3- لإطلاق مجسات الاكتشاف والأقمار الصناعية

تُسمَّى الصواريخ التي تحمل أجهزة أبحاث في رحلات طويلة لاكتشاف المجموعة الشمسية المجسات. وتجمع المجسات القمرية هذه المعلومات عن القمر. ويمكنها الطيران إلى أبعد من القمر، والدوران حوله أو الهبوط على سطحه. وتأخذ المجسات بين الكوكبية رحلة ذات اتجاه واحد إلى الفضاء من خلال الكواكب. وتجمع المجسات الكوكبية المعلومات عن الكواكب. ويحلّق المجس الكوكبي في مدار حول الشمس مع الكوكب المكتشف. وقد اكتشف أول مجس كوكبي كوكبي المريخ، والزهرة. كما اكتشفت المجسات أيضًا كلاً من المشتري، وزحل، ونبتون.

تحمل الصواريخ الأقمار الصناعية في مدارات حول الأرض. وتجمع بعض هذه الأقمار المعلومات للبحث العلمي.

4- للسفر عبر الفضاء.

توفر الصواريخ الطاقة لمركبة الفضاء التي تدور حول الأرض وتطير إلى القمر والكواكب. وهذه الصواريخ، مثل تلك المستعملة في قذف المجسات والأقمار الصناعية، تسمى الصواريخ الحاملة أو عربات الإطلاق..

يستطيع مكوك الفضاء القابل للاستخدام مرات عديدة أن يحلّق في الفضاء ويعود إلى الأرض ليقوم برحلات أخرى. ويمكن لمثل هذا المكوك أن يحمل آدميين ومستلزمات إلى ومن محطات فضائية قد تدور حول الأرض.

هناك أربعة أنواع رئيسية من الصواريخ:

1- صواريخ الوقود الدافع الصلب:

تتحرق مادة بلاستيكية أو مطاطية تسمى الحبوب. وتتكون الحبوب من الوقود والمؤكسد في الحالة الصلبة.، فإن الوقود والمؤكسد للمادة الصلبة لا يشتعلان إذا تلامسا مع بعضهما. ويجب إشعال الوقود بإحدى طريقتين: يمكن إشعاله بحرق شحنة صغيرة من المسحوق الأسود وهو خليط من نترات البوتاسيوم، والفحم النباتي والكبريت. كذلك يمكن إشعال الوقود الصلب بالتفاعل الكيميائي لمركب كلور سائل يرش على الحبوب.

تتراوح درجة الحرارة في غرفة الاحتراق للوقود الصلب للصاروخ بين 1,600° و 3,300°م. يستعمل المهندسون في أغلب هذه الصواريخ الفولاذ القوي جداً أو التيتانيوم لبناء حوائط الغرفة حتى تقاوم الضغط الذي ينشأ عن درجات الحرارة العليا. كذلك يستعملون الألياف الزجاجية أو مواد بلاستيكية خاصة

يحترق الوقود الصلب أسرع من الوقود السائل، لكنه ينتج قوة دفع أقل من التي تنتج من احتراق نفس الكمية من وقود سائل في نفس الوقت. يظل الوقود الصلب فعالاً لفترات طويلة من التخزين ولا يمثل خطورة تذكر حتى عند الإشعال. ولا يحتاج الوقود الصلب إلى أجهزة للضخ والمزج اللازمة للوقود السائل، لكنه من ناحية أخرى،

صعب إيقافه وإعادة إشعاله. والمفترض أن تتوفر لرواد الفضاء القدرة على إيقاف وبدء عملية احتراق الوقود حتى يمكنهم التحكم في طيران سفنهم الفضائية. وهناك طريقة واحدة تستعمل لوقف الاحتراق وهي نسف مقطع الفوهة من الصاروخ. لكن هذه الطريقة تمنع إعادة الإشعال.

2- صواريخ الوقود الدافع السائل:

تتحرق خليطًا من الوقود والمؤكسد في شكل سائل. وتحمل هذه الصواريخ الوقود والمؤكسد في صهريج منفصل. وتغذي شبكة من الأنابيب والصمامات عنصري الوقود داخل غرفة الاحتراق. وينبغي أن يمر الوقود أو المؤكسد حول الغرفة قبل المزج مع العناصر الأخرى. هذا من شأنه أن يبرّد غرفة الاحتراق ويسخّن مسبقًا عناصر الوقود للاشتعال.

تتضمن طرق تغذية الوقود والمؤكسد إلى غرفة الاحتراق استعمال إما مضخات أو غاز ذي ضغط عال.

وأكثر الطرق المألوفة هي استعمال المضخات. ويشغل الغاز المنتج باحتراق جزء صغير من الوقود المضخة التي تدفع الوقود والمؤكسد إلى غرفة الاحتراق. أما الطريقة الأخرى، فيدفع الغاز عالي الضغط الوقود والمؤكسد إلى غرفة الاحتراق. ويمكن الحصول على مصدر الغاز ذي الضغط العالي من النيتروجين، أو بعض الغازات الأخرى المخزونة تحت الضغط العالي، أو من حرق كمية صغيرة من الوقود.

بعض أنواع الوقود السائل التي تسمى ذاتية الاشتعال تشتعل عندما يتلامس الوقود والمؤكسد. لكن معظم أنواع الوقود السائل تحتاج إلى جهاز إشعال. يمكن أن يشتعل الوقود السائل عن طريق شرارة كهربائية، أو حرق كمية صغيرة من مادة متفجرة صلبة داخل غرفة الاحتراق. يستمر الوقود السائل في الاحتراق ما دام سريان خليط الوقود والمؤكسد مستمرًا في الوصول إلى غرفة الاحتراق.

تُبنى أغلب خزانات الوقود السائل من الفولاذ أو الألومنيوم الرقيق عالي الصلابة. وأغلب غرف الاحتراق في هذه الصواريخ مصنوعة من الفولاذ أو النيكل.

يُنتج الوقود السائل عادة قوة دفع أكبر من التي تنتج من احتراق نفس الكمية من الوقود الصلب في نفس الفترة الزمنية. كذلك فهو أسهل في بدء وإيقاف الاحتراق من الوقود الصلب. ويمكن التحكم في الاحتراق فقط بفتح أو غلق الصمامات. لكن يصعب التعامل مع الوقود السائل. فإذا خلطت عناصر الوقود دون إشعال، فإن الخليط سوف ينفجر بسهولة. كذلك يحتاج الوقود السائل إلى صواريخ أكثر تعقيداً عما في حالة الوقود الصلب.

3- الصواريخ الكهربائية:

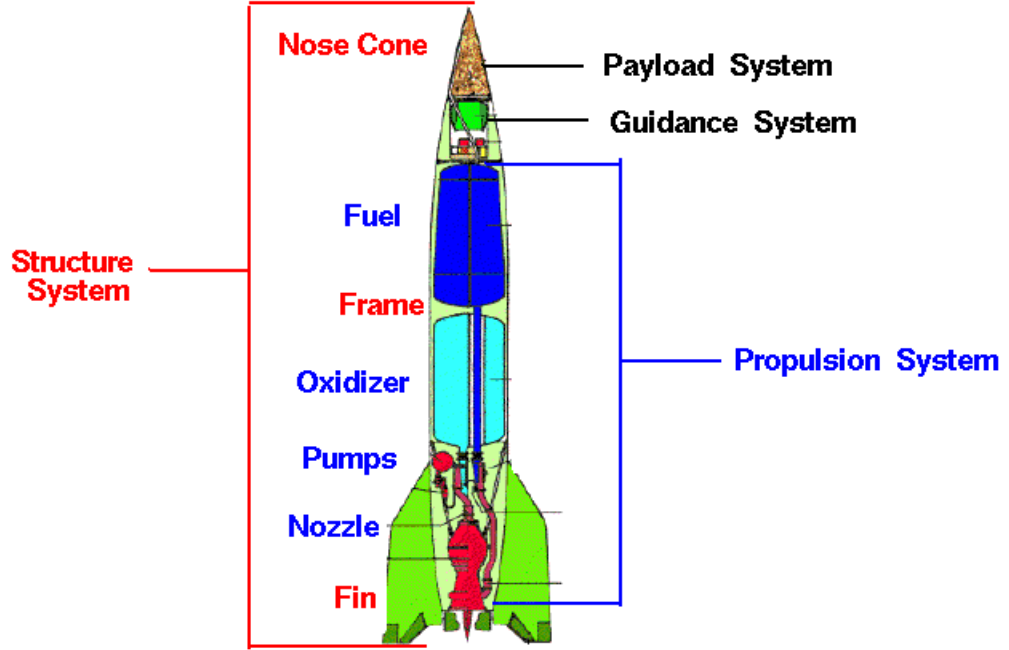
ستعمل الطاقة الكهربائية لإنتاج قوة الدفع ويمكن أن تعمل الصواريخ الكهربائية لفترة أكثر بكثير من أي نوع آخر، لكنها تنتج قوة دفع أقل.

لا يقدر الصاروخ الكهربائي على رفع سفينة فضاء خارج المجال الجوي للأرض، لكنه يستطيع أن يدفع مركبة خلال الفضاء. ويعمل العلماء على تطوير الصواريخ الكهربائية لرحلات فضاء طويلة في المستقبل.

4- الصواريخ النووية:

وهذه الصواريخ تنتج طاقة تعادل ضعفي أو ثلاثة أضعاف ما تنتجه صواريخ الوقود الدفعي الصلب أو السائل. ويعمل العلماء على تطوير الصواريخ النووية لرحلات الفضاء.

اقسام الصاروخ :



للتصميم والتحليل ، يقوم المهندسون بتجميع الأجزاء التي لها نفس الوظيفة في الأنظمة.

هناك أربعة أنظمة رئيسية في صاروخ كامل النطاق :

النظام الهيكلي

نظام الحمولة

نظام التوجيه

نظام الدفع.

-النظام الهيكلي ، أو الهيكل :مشابه لجسم الطائرة.

الإطار مصنوع من مواد قوية جدًا ولكنها خفيفة الوزن ، مثل التيتانيوم أو الألومنيوم ، وعادةً ما تستخدم "أوتار" طويلة تمتد من الأعلى إلى الأسفل وتكون متصلة بـ "أطواق" تدور حول المحيط.

ثم يتم ربط "الجلد" بالموترين والأطواق لتشكيل الشكل الأساسي للصاروخ. يمكن تغليف الجلد بنظام حماية حراري لإبعاد حرارة احتكاك الهواء أثناء الطيران وللحفاظ على درجات الحرارة الباردة اللازمة لأنواع معينة من الوقود والمؤكسدات. يتم تثبيت الزعانف على بعض الصواريخ في الجزء السفلي من الإطار لتوفير الاستقرار أثناء الرحلة.

_نظام حمولة :

يعتمد نظام حمولة الصاروخ على مهمة الصاروخ. كانت أولى حمولات الصواريخ عبارة عن ألعاب نارية للاحتفال بالأعياد. كانت حمولة المحرك الألماني V2 ، عدة آلاف من الجنيهاات من المتفجرات.

و بعد الحرب العالمية الثانية ، طورت العديد من الدول صواريخ باليستية موجهة مزودة برؤوس حربية نووية لحملها. تم تعديل نفس الصواريخ لإطلاق الأقمار الصناعية مع مجموعة واسعة من المهام ؛ الاتصالات ، ومراقبة الطقس ، والتجسس ، واستكشاف الكواكب ، والمراصد ، مثل تلسكوب هابل الفضائي. تم تطوير صواريخ خاصة لإطلاق الناس إلى مدار الأرض وعلى سطح القمر.

- نظام توجيه :

قد يشتمل نظام توجيه الصاروخ على أجهزة استشعار متطورة للغاية وأجهزة كمبيوتر وراдарات ومعدات اتصال لمناورة الصاروخ أثناء الطيران.

تم تطوير العديد من الطرق المختلفة للتحكم في الصواريخ أثناء الطيران.

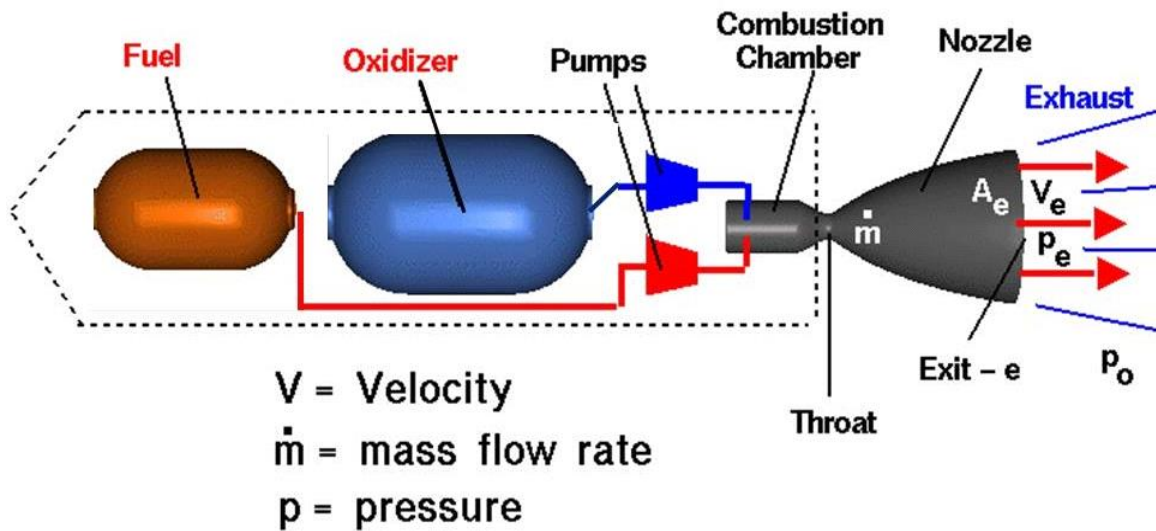
تضمن نظام التوجيه V2 دوارات صغيرة في عادم الفوهة لصرف الدفع عن المحرك. تقوم الصواريخ الحديثة عادة بتدوير الفوهة لمناورة الصاروخ. يجب أن يوفر نظام التوجيه أيضًا مستوى معينًا من الاستقرار حتى لا ينهار الصاروخ أثناء الطيران.

- نظام دفع :هناك فئتان رئيسيتان من أنظمة الدفع

1. محركات الصواريخ السائلة : يتكون من خزانات وقود ومؤكسد (دافع) ، ومضخات ، وغرفة احتراق مع فوهة ، والسبابة المصاحبة.

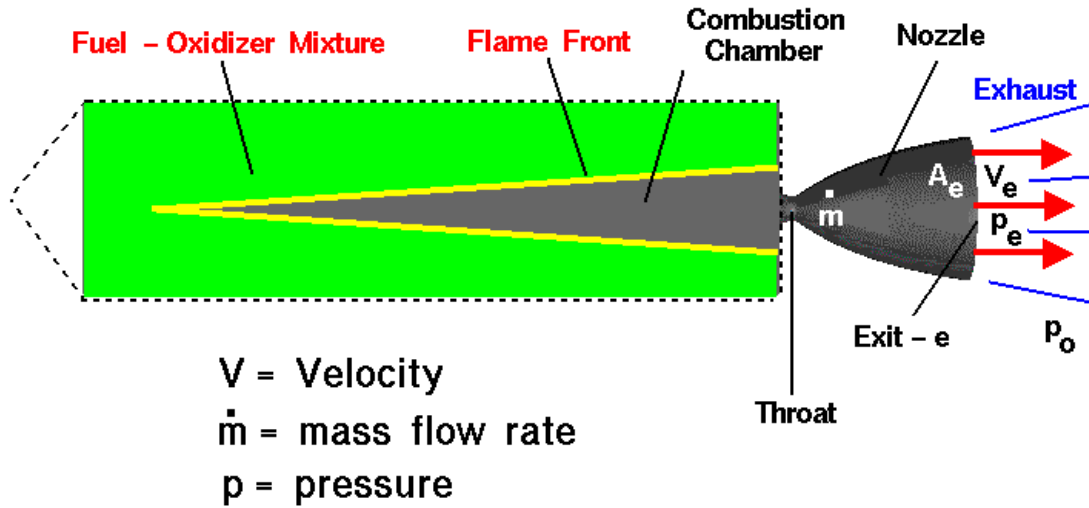
في الصاروخ السائل ، يتم ضخ الوقود المخزن والمؤكسد المخزن في غرفة الاحتراق حيث يتم خلطهما وحرقهما. ينتج عن الاحتراق كميات كبيرة من غاز العادم في درجات حرارة وضغط مرتفعين . يتم تمرير العادم الساخن عبر فوهة تعمل على تسريع التدفق. يتم إنتاج الدفع وفقًا لقانون نيوتن الثالث للحركة.

يعتمد مقدار الدفع الناتج عن الصاروخ على معدل تدفق الكتلة عبر المحرك ، وسرعة خروج العادم ، والضغط عند مخرج الفوهة. كل هذه المتغيرات تعتمد على تصميم الفوهة .



2. ومحركات الصواريخ الصلبة:

. تُستخدم محركات الصواريخ الصلبة في صواريخ جو - جو وجو - أرض ، وعلى نماذج الصواريخ ، وكمعززات لمنصات إطلاق الأقمار الصناعية. في الصاروخ الصلب ، يتم خلط الوقود والمؤكسد معًا في مادة دافعة صلبة معبأة في أسطوانة صلبة. يعمل الثقب عبر الاسطوانة كغرفة احتراق . عند اشتعال الخليط ، يحدث الاحتراق على سطح المادة الدافعة. يتم إنشاء جبهة اللهب التي تحترق في الخليط. ينتج عن الاحتراق كميات كبيرة من غاز العادم في درجات حرارة وضغط مرتفعين. تعتمد كمية غاز العادم التي يتم إنتاجها على مساحة مقدمة اللهب ويستخدم مصممو المحرك مجموعة متنوعة من أشكال الفتحات للتحكم في التغيير في الدفع لمحرك معين. يتم تمرير غاز العادم الساخن عبر فوهة تعمل على تسريع التدفق. ثم يتم إنتاج الدفع وفقًا لقانون نيوتن الثالث للحركة.



يتم تجميع أجزاء الصاروخ المختلفة حسب الوظيفة في الهيكل والحمولة الصافية والتوجيه وأنظمة الدفع.

هناك مجموعات أخرى . لغرض تحديد الوزن وأداء الرحلة ، غالبًا ما يقوم المهندسون بتجميع الحمولة ، والهيكل ، وهيكل الدفع (فوهة ، ومضخات ، وخزانات ، وما إلى ذلك) . يصبح الوزن المتبقي للوقود الدافع هو العامل الوحيد الذي يتغير بمرور الوقت عند تحديد أداء الصاروخ.

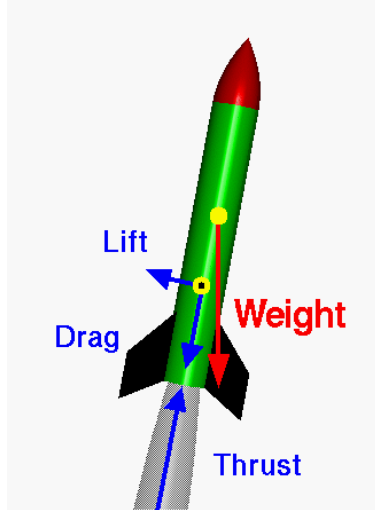
القوى المؤثرة على الصاروخ :

لقوى هي كميات متجهة لها مقدار واتجاه. عند وصف عمل القوات ، يجب على المرء أن يأخذ في الاعتبار كل من الحجم والاتجاه. أثناء الطيران ، يتعرض الصاروخ لأربع قوات . "الوزن والدفع والرفع والسحب (القوى الديناميكية الهوائية)".

الوزن

يعتمد الوزن على كتلة جميع أجزاء الصاروخ. يتم توجيه قوة الوزن دائما نحو مركز الأرض وتعمل من خلال مركز الجاذبية , حيث الوزن هو القوة الناتجة عن جاذبية الصاروخ .

تزن الصواريخ الفضائية ، المحملة بالكامل ، حوالي 2 مليون كجم (4.4 مليون رطل) وتطلبت قوة دفع مجتمعة حوالي 35 مليون نيوتن (7.8 مليون رطل-قوة) للوصول إلى الارتفاع المداري



لاحظ نيوتن انه تعتمد قوة الجاذبية بين جسمين على كتلة الجسمين وعكس مربع المسافة بين الجسمين. الأجسام الأكثر ضخامة تخلق قوى أكبر وكلما تباعد الأشياء يكون جاذبيتها أضعف. تمكن نيوتن من التعبير عن العلاقة في معادلة وزن واحدة. قوة الجاذبية ، F ، بين جسمين تساوي ثابتًا عالميًا ، G ، مضروبًا في حاصل ضرب كتلة الجسميات ، m1 و m2 ، مقسومة على مربع المسافة ، d ، بين الجسميات.

$$F = G * m1 * m2 / d^2$$

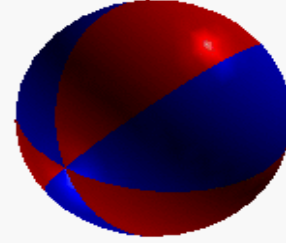
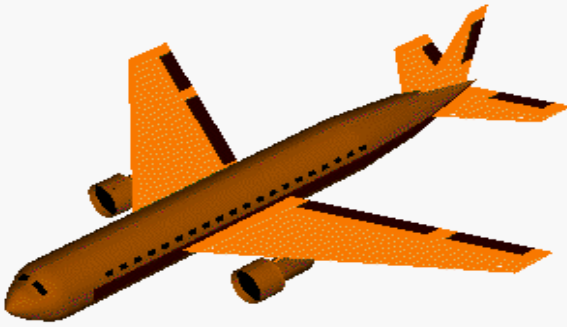
إذا كان لديك الكثير من الجسميات التي تعمل على جسيم واحد ، فيجب عليك إضافة مساهمة كل الجسميات الفردية. بالنسبة للأجسام القريبة من الأرض ، يكون مجموع كتلة كل الجسميات هو ببساطة كتلة الأرض ، ثم تُقاس المسافة من مركز الأرض. تبلغ المسافة على سطح الأرض حوالي 4000 ميل. جمع العلماء ثابت الجاذبية العالمي ، وكتلة الأرض ، ومربع نصف قطر الأرض لتشكيل تسارع الجاذبية الأرضية ، ge على سطح الأرض ، تبلغ قيمتها 9.8 مترًا لكل ثانية مربعة أو 32.2 قدمًا لكل ثانية مربعة

$$ge = G * m \text{ Earth} / (d \text{ Earth})^2$$

$$ge = 9.8 \text{ m/sec}^2 = 32.2 \text{ ft/sec}^2$$

الوزن W ، أو قوة الجاذبية ، هو مجرد كتلة جسم مضروبة في عجلة الجاذبية.

$$W = m * ge$$



In general: $F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$

Force equals a gravitational constant times the product of the masses divided by the square of the distance between the masses.

On Earth: $g_e = G \frac{m_{\text{earth}}}{d_{\text{earth}}^2} = 9.8 \frac{\text{meter}}{\text{sec}^2} = 32.2 \frac{\text{feet}}{\text{sec}^2}$

$$W_e = m g_e$$

Weight equals mass times gravitational acceleration.

نظرًا لأن وزن الجسم يعتمد على كتلة الجسم ، وكتلة الجسم الجاذب ، ومربع المسافة بينهما

يعتمد ثابت الجاذبية g على كتلة الكوكب وعلى نصف قطر الكوكب. إذن ، جسم ما له قيمة مختلفة لقوة الوزن على الأرض والقمر والمريخ لأن كل كوكب له كتلة مختلفة ونصف قطر مختلف

كتلة الصاروخ هي نفسها على سطح الأرض والقمر والمريخ. لكن قوة الوزن على سطح القمر تساوي تقريبًا 1/6 الوزن على الأرض ، ويبلغ الوزن على المريخ ثلث الوزن تقريبًا على الأرض. لا تحتاج إلى نفس القدر من الدفع لإطلاق نفس الصاروخ من القمر أو المريخ ، لأن الوزن أقل على هذه الكواكب.

نظرًا لأن ثابت الجاذبية g_e يعتمد على مربع المسافة من مركز الأرض ، فإن وزن الجسم يتناقص مع الارتفاع .

إضافة الى ذلك جميع القوى كميات متجهة لها مقدار واتجاه. بالنسبة للصاروخ ، و الوزن هو القوة التي يتم توجيهها دائماً نحو مركز الأرض. يعتمد حجم هذه القوة على كتلة جميع أجزاء الصاروخ نفسه ، بالإضافة إلى كمية الوقود ، بالإضافة إلى أي حمولة على متن الصاروخ. يتم توزيع الوزن في جميع أنحاء الصاروخ ، ولكن يمكننا غالباً التفكير في أنه تم تجميعه والعمل من خلال نقطة واحدة تسمى مركز الثقل. أثناء الطيران ، يدور الصاروخ حول مركز الجاذبية ، لكن اتجاه قوة الوزن يظل دائماً باتجاه مركز الأرض.

أثناء الإطلاق ، يحترق الصاروخ ويستنفد وقوده ، وبالتالي يتغير وزن الصاروخ باستمرار. بالنسبة لصاروخ نموذج ، التغيير هو نسبة مئوية صغيرة من الوزن الإجمالي ويمكننا تحديد وزن الصاروخ كمجموع أوزان المكون. بالنسبة لصاروخ كامل الحجم ، يكون التغيير كبيراً ويجب تضمينه في معادلات الحركة. أنشأ المهندسون العديد من نسب الكتلة التي تساعد على توصيف أداء الصاروخ مع تغير الكتلة. غالباً ما يتم إطلاق الصواريخ كاملة الحجم أو تقسيمها إلى صواريخ أصغر يتم التخلص منها أثناء الطيران لزيادة الصواريخ

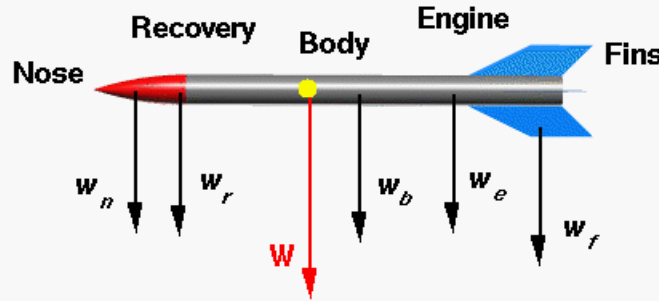
تعتبر نسبة الدفع إلى الوزن للصاروخ مقياس لعجلة الصاروخ (تسارعه) معبرا عنها بعجلة الجاذبية الأرضية g . ونسبة الدفع إلى الوزن F/Wg هي قيمة مطلقة تعطي عجلة الصاروخ بالنسبة إلى g_0 ، في حالة أقلاع الصاروخ في الفراغ من دون تأثير للجاذبية.

ولكن الصاروخ يقلع عادة من الأرض ويقع بذلك تحت تأثير الجاذبية الأرضية من جهة كما هو معرض إلى الضغط الجوي من جهة أخرى. ولهذا فإن تعيين نسبة دفع الصاروخ إلى وزنه يستلزم أخذ الوزن الكلي للصاروخ على سطح الأرض في الحسبان. وهذا الوزن الكلي Wg يتكون من وزن الوقود ووزن الصاروخ نفسه. وتسمى هذه النسبة نسبة الدفع إلى الوزن على الأرض .

لهذا نجد أن نسبة الدفع إلى الوزن لمحرك الصاروخ تكون أكبر بالنسبة إلى وزن المحرك نفسه عن النسبة إلى وزن الصاروخ كله. وفائدة تعيين نسبة الدفع إلى وزن المحرك أنها تعطينا الحد الأقصى للعجلة (التسريع) التي يمكن أن يكتسبها صاروخ معين نظريا على أساس كمية وقود محدودة الوزن وتصميم الهيكل مناسب.

ولكي ينجح الإقلاع من على سطح الأرض لا بد أن تكون نسبة الدفع إلى الوزن أكبر من 1 (أي أكبر من g). ويسهل الإقلاع كلما كانت تلك النسبة أكبر من g .

وهناك مسائل عديدة تؤثر على نسبة الدفع إلى الوزن وهي تتغير أثناء الإقلاع بحسب سرعة الصاروخ والارتفاع عن الأرض وكذلك تغير وزن الصاروخ بسبب استهلاك الوقود المستمر. وكذلك تؤثر العوامل الجوية على الإقلاع مثل درجة الحرارة، والضغط وكثافة الهواء. وبحسب نوع المحرك ووزن الصاروخ يعتمد اقلاعه أيضا على الجاذبية الأرضية في مكان الإقلاع وكذلك الموقع بالنسبة إلى خط العرض الجغرافي.



Each component has some weight $w_i = m_i g$

where m_i is the component mass and

where g is the gravitational acceleration.

Total rocket weight W is the sum of the component weights.

$$W = w_n + w_r + w_b + w_e + w_f$$

$$W = \sum_i^n w_i$$

$$W = \int w(x) dx$$

الوزن هو القوة الناتجة عن جاذبية كوكب على كتلة صاروخ. يرتبط الوزن بالكتلة من خلال معادلة الوزن ، ولكل جزء من الصاروخ وزن وكتلة فريدة. بالنسبة لبعض المشاكل من المهم معرفة توزيع الوزن. لكن بالنسبة لمسار الصاروخ واستقراره ، نحتاج فقط إلى الاهتمام بالوزن الإجمالي وموقع مركز الجاذبية.

يمكن حساب كتلة أي مكون فردي إذا عرفنا حجم المكون وتركيبه الكيميائي. كل مادة (الألومنيوم ، خشب البلسا ، البلاستيك ، وقود الصواريخ ، إلخ) لها كثافة فريدة. يتم تعريف الكثافة r على أنها الكتلة مقسومة على الحجم v

$$r = m / v$$

إذا تمكنا من حساب حجم المكون ، فحينئذٍ:

$$m = r * v$$

الوزن الإجمالي W للصاروخ هو ببساطة مجموع وزن كل المكونات الفردية.

$$W = w(\text{nose}) + w(\text{recovery}) + w(\text{engines}) + w(\text{body}) + w(\text{fins})$$

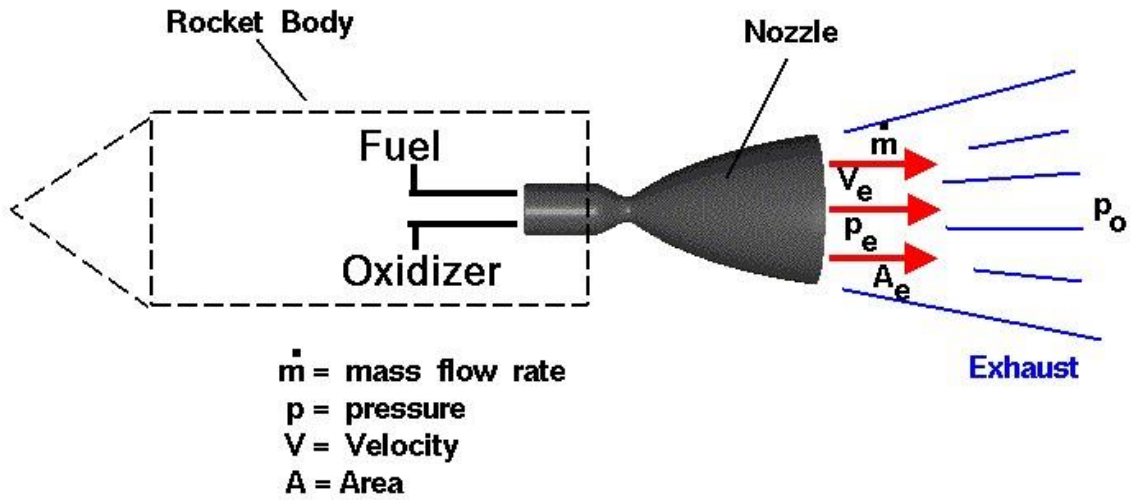
ما السرعة التي يجب أن يسافر بها الصاروخ للوصول إلى الفضاء؟

هذا يعتمد حقًا على ما تعنيه بـ "في الفضاء". إذا كنت ترغب فقط في الدخول في مدار حول الأرض ، فعليك الوصول إلى سرعات لا تقل عن 4.9 ميل في الثانية ، أو حوالي 17600 ميل في الساعة. إذا كنت تريد الهروب تمامًا من جاذبية الأرض والسفر إلى قمر أو كوكب آخر ، فأنت بحاجة إلى أن تكون أسرع - بسرعة لا تقل عن 7 أميال في الثانية أو حوالي 25000 ميل في الساعة.

الدفع

الدفع هو القوة التي تحرك الصاروخ عبر الهواء ، وعبر الفضاء. يتم توليد الدفع بواسطة نظام الدفع للصاروخ من خلال تطبيق قانون نيوتن الثالث للحركة. لكل عمل هناك إعادة عمل متساوية ومعاكسة. في نظام الدفع ، يعمل المحرك على غاز أو سائل ، يسمى سائل العمل ، ويسرع سائل العمل من خلال نظام الدفع. تؤدي إعادة العمل إلى تسارع سائل العمل إلى قوة الدفع على المحرك. يتم طرد سائل العمل من المحرك في اتجاه واحد ويتم تطبيق قوة الدفع على المحرك في الاتجاه المعاكس.

القوى هي كميات متجهة لها مقدار واتجاه. عند وصف عمل القوات ، يجب على المرء أن يأخذ في الاعتبار كل من الحجم والاتجاه. عادة ما يكون اتجاه الدفع على طول المحور الطولي للصاروخ من خلال مركز ثقل الصاروخ. ولكن في بعض الصواريخ ، يمكن تدوير فوهة العادم واتجاه الدفع . يمكن بعد ذلك المناورة بالصاروخ باستخدام عزم الدوران حول مركز الجاذبية. يمكن تحديد مقدار الدفع بواسطة معادلة الدفع العامة.



$$\text{Thrust} = F = \dot{m} V_e + (p_e - p_0) A_e$$

في هذه الشريحة، نعرض مخططاً لمحرك صاروخي. في محرك صاروخي ، يتم إشعال الوقود المخزن والمؤكسد المخزن في غرفة الاحتراق. ينتج الاحتراق كميات كبيرة من غاز العادم عند درجة حرارة وضغط عاليين. يتم تمرير العادم الساخن من خلال فوهة تسرع التدفق. يتم إنتاج الدفع وفقاً لقانون نيوتن الثالث للحركة.

تعتمد كمية الدفع التي ينتجها الصاروخ على معدل تدفق الكتلة عبر المحرك ، وسرعة خروج العادم ، والضغط عند مخرج الفوهة. كل هذه المتغيرات تعتمد على تصميم الفوهة. تسمى أصغر منطقة مقطعية مستعرضة للفوهة حلق الفوهة.

يتم اختناق تدفق العادم الساخن في الحلق ، مما يعني أن رقم ماخ يساوي 1.0 في الحلق ويتم تحديد معدل تدفق الكتلة \dot{m} بواسطة منطقة الحلق. تحدد نسبة

المساحة من الحلق إلى المخرج Ae سرعة الخروج Ve وضغط الخروج pe. ضغط الخروج يساوي فقط ضغط التيار الحر في بعض ظروف التصميم. لذلك يجب علينا استخدام النسخة الأطول من معادلة الدفع المعممة لوصف قوة دفع النظام. إذا تم إعطاء ضغط التيار الحر بواسطة p0، تصبح معادلة الدفع F:

$$F = \dot{m} V_e + (p_e - p_0) A_e$$

احظ أنه لا توجد كتلة تيار حر مضروبا في مصطلح سرعة التيار الحر في معادلة الدفع لأنه لا يتم جلب هواء خارجي على متن الطائرة. نظرا لأن المؤكسد يتم حمله على متن الصاروخ، يمكن للصواريخ توليد قوة دفع في فراغ حيث لا يوجد مصدر آخر للأكسجين. هذا هو السبب في أن الصاروخ سيعمل في الفضاء، حيث لا يوجد هواء محيط، ولن يعمل توربين غازي أو دافع. تعتمد المحركات التوربينية والمراوح على الغلاف الجوي لتوفير الهواء كمائع عمل للدفع والأكسجين في الهواء كمؤكسد للاحتراق.

كما انه يعتمد حجم الدفع على معدل التدفق الكتلي لسائل العمل عبر المحرك وسرعة الخروج وضغط سائل العمل. تتميز كفاءة نظام الدفع بالدافع المحدد؛ نسبة كمية الدفع المنتجة إلى تدفق وزن الوقود الدافع ماذا يعني هذا الكلام؟



Rocket Thrust Equation $F = \dot{m} V_e + (p_e - p_0) A_e$

where p = pressure, V = velocity, A = area, \dot{m} = mass flow rate, F = thrust

Define: **Equivalent Velocity:** $V_{eq} = V_e + \frac{(p_e - p_0) A_e}{\dot{m}}$ $F = \dot{m} V_{eq}$

Define: **Total Impulse:** $I = F \Delta t = \int F dt = \int \dot{m} V_{eq} dt = m V_{eq}$

Define: **Specific Impulse:** $\frac{\text{Total Impulse}}{\text{Weight}} \quad I_{sp} = \frac{I}{m g_0} = \frac{V_{eq}}{g_0} \quad \text{units} = \text{sec}$

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m} g_0}$$

من قانون نيوتن الثاني للحركة، يمكننا تعريف القوة بأنها التغير في زخم جسم ما مع تغير في الزمن. الزخم هو كتلة الجسم مضروبة في السرعة. عند التعامل مع غاز، تعطى معادلة الدفع الأساسية على النحو التالي:

$$F = \dot{m} e * V_e - \dot{m} 0 * V_0 + (p_e - p_0) * A_e$$

الدفع F يساوي معدل تدفق كتلة الخروج $\dot{m} e$ مضروباً في سرعة الخروج V_e مطروحاً منه معدل تدفق كتلة التيار الحر $\dot{m} 0$ مضروباً في سرعة التدفق الحر V_0 بالإضافة إلى فرق الضغط عبر المحرك

$$p_e - p_0 \text{ أضعاف مساحة المحرك } A_e$$

بالنسبة لمحركات الصواريخ السائلة والصلبة يتم حمل الوقود الدافع والوقود المؤكسد على متن الصاروخ. لا يوجد هواء تيار حر يتم إحضاره إلى نظام الدفع ، لذلك تبسط معادلة الدفع الى :

$$F = \dot{m} * V_e + (p_e - p_0) * A_e$$

حيث أسقطنا تسمية الخروج على معدل التدفق الكتلي.

باستخدام الجبر دعونا نقسم على كتلة التيار الحر:

$$F / \dot{m} = V_e + (p_e - p_0) * A_e / \dot{m}$$

نعرف سرعة جديدة تسمى السرعة المكافئة V_{eq}

لتكون السرعة الموجودة على الجانب الأيمن من المعادلة أعلاه

$$V_{eq} = V_e + (p_e - p_0) * A_e / \dot{m}$$

ثم تصبح معادلة الدفع الصاروخي:

$$F = \dot{m} * V_{eq}$$

يتم تعريف الدافع الكلي (I) للصاروخ على انه متوسط الدفع مضروباً في اجمالي وقت الاطلاق نرسم للوقت الإجمالي ب دلتا:

$$I = F * \Delta t$$

وبما أن الدفع قد يتغير مع مرور الوقت، يمكننا أيضا تعريف معادلة متكاملة للدفع الكلي. باستخدام الرمز Δt للتكامل، لدينا:

$$I = \int F dt$$

استبدال معادلة الدفع الواردة أعلاه:

$$I = \int (\dot{m} * V_{eq}) dt$$

تذكر أن \dot{m} هو معدل تدفق الكتلة. إنها كمية كتلة العادم في المرة الواحدة التي تخرج من الصاروخ. بافتراض أن السرعة المكافئة تظل ثابتة مع مرور الوقت، يمكننا دمج المعادلة للحصول على:

$$I = m * V_{eq}$$

حيث m هي الكتلة الكلية للدافع يمكننا تقسيم هذه المعادلة على وزن الوقود الدافع لتحديد الدافع المحدد كلمة "محددة" تعني فقط "مقسومة على الوزن" يتم إعطاء الدافع المحدد ISP من خلال:

$$ISP = V_{eq} / g_0$$

حيث g_0 هي تسارع الجاذبية الأرضية. الآن، إذا استبدلنا السرعة المكافئة بدلالة الدفع:

$$ISP = F / (\dot{m} * g_0)$$

رياضيا، ISP هي نسبة من الدفع الناتج الى وزن تدفق الوقود الدافع. يظهر الفحص السريع لوحدات ISP مايلي:

$$ISP = m/sec / m/sec^2 = sec$$

القوى الديناميكية الهوائية :

يتم توليد القوى الديناميكية الهوائية وتعمل على صاروخ أثناء طيرانه في الهواء. القوى هي كميات متجهة لها مقدار واتجاه. يعتمد حجم القوى الديناميكية الهوائية على شكل الصاروخ وحجمه وسرعته وبعض خصائص الهواء الذي يطير من خلاله. وفقا للاصطلاح ، يتم تقسيم القوة الديناميكية الهوائية المفردة إلى مكونين: قوة السحب التي تعارض اتجاه الحركة ، وقوة الرفع التي تعمل بشكل عمودي على اتجاه الحركة. يعمل الرفع والسحب من خلال مركز الضغط وهو متوسط موقع القوى الديناميكية الهوائية على جسم ما.

القوى الديناميكية الهوائية هي قوى ميكانيكية. يتم إنشاؤها عن طريق تفاعل وملامسة جسم صلب مع سائل أو غاز. لا يتم توليد القوى الديناميكية الهوائية بواسطة مجال قوة ، بمعنى مجال الجاذبية ، أو مجال كهرومغناطيسي. لكي يتم إنشاء الرفع والسحب ، يجب أن يكون الصاروخ على اتصال بالهواء. لذلك خارج الغلاف الجوي لا يوجد رفع ولا سحب. يتم توليد القوى الديناميكية الهوائية من خلال الفرق في السرعة بين الصاروخ والهواء. يجب أن تكون هناك حركة بين الصاروخ والهواء. إذا لم تكن هناك حركة نسبية ، فلا يوجد رفع ولا سحب.

يعتمد السحب على كثافة الهواء ، ومربع السرعة ، ولزوجة الهواء وقابليته للانضغاط ، وحجم وشكل الجسم ، وميل الجسم إلى التدفق . بشكل عام ، فإن الاعتماد على شكل الجسم والميل ولزوجة الهواء والانضغاط معقد للغاية.

تتمثل إحدى طرق التعامل مع التبعيات المعقدة في توصيف الاعتماد بمتغير واحد. بالنسبة للسحب ، يسمى هذا المتغير معامل السحب ، المسمى "Cd" هذا يسمح لنا بجمع كل التأثيرات ، البسيطة والمعقدة ، في معادلة واحدة. تنص معادلة السحب على أن السحب D يساوي معامل السحب Cd مضروباً في الكثافة ρ مضروباً في نصف السرعة V المربعة مضروباً في المساحة المرجعية A.

$$D = C_D * A * .5 * \rho * V^2$$



$$D = C_d \frac{\rho V^2 A}{2}$$

Drag = coefficient x density x velocity squared x reference area
two

Coefficient **Cd** contains all the complex dependencies
and is usually determined experimentally.

Choice of reference area **A** affects the value of **Cd**.

ويعتمد الرفع على كثافة الهواء ، ومربع السرعة ، ولزوجة الهواء وقابليته
للانضغاط ، ومنطقة السطح التي يتدفق عليها الهواء ، وشكل الجسم ، وميل الجسم
إلى التدفق. بشكل عام ، فإن الاعتماد على شكل الجسم والميل ولزوجة الهواء
والانضغاط معقد للغاية.

تتمثل إحدى طرق التعامل مع التبعيات المعقدة في توصيف الاعتماد بمتغير واحد.
بالنسبة للرفع ، يسمى هذا المتغير معامل الرفع ، المسمى " C_L ". هذا يسمح لنا بجمع
كل التأثيرات ، البسيطة والمعقدة ، في معادلة واحدة. تنص معادلة الرفع على أن
الرفع L يساوي معامل الرفع C_L مضروباً في الكثافة ρ مضروباً في نصف
السرعة V المربعة مضروباً في مساحة الجناح A .

$$L = C_L * A * .5 * \rho * V^2$$



$$L = C_l \frac{\rho V^2 A}{2}$$

Lift = coefficient x density x velocity squared x wing area
two

Coefficient **C_l** contains all the complex dependencies
and is usually determined experimentally.

تم استخدام القوى الديناميكية الهوائية بشكل مختلف على صواريخ من على متن طائرة . على متن طائرة ، يتم استخدام الرفع للتغلب على وزن الطائرة ، ولكن على الصاروخ يتم استخدام الدفع في معارضة الوزن.

دراسة حركة الصاروخ :

-الحركة الدورانية :

يدور أي صاروخ حول مركز جاذبيته (مركز الثقل)
مركز الثقل وهي النقطة التي تمثل متوسط موقع وزن الصاروخ.
يتم توزيع الكتلة والوزن في جميع أنحاء الصاروخ ،
الصاروخ النموذجي هو مزيج من عدة أجزاء ؛ مخروط الأنف والحمولة ونظام
الاسترداد وأنبوب الجسم والمحرك والزعانف.

كل جزء له وزن مرتبط به يمكنك تقديره أو حسابه باستخدام معادلة وزن نيوتن:

$$w = m * g$$

الوزن، الكتلة، الجاذبية الأرضية 9.8

الوزن الإجمالي للصاروخ النموذجي هو ببساطة مجموع كل الأوزان الفردية للمكونات.

نختار موقعًا مرجعيًا أو خطًا مرجعيًا. يتم تحديد cg بالنسبة لهذا الموقع المرجعي.

الوزن الإجمالي للصاروخ النموذجي هو ببساطة مجموع كل الأوزان الفردية للمكونات.

بما أن مركز الثقل هو موقع متوسط للوزن ،

يمكننا أن نقول أن وزن الصاروخ W مضروبًا في الموقع cg لمركز الجاذبية يساوي مجموع الوزن w لكل مكون مضروبًا في المسافة d لهذا المكون من الموقع المرجعي:

$$W * cg = [w * d](nose) + [w * d](recovery) + [w * d](engine) + ...$$

بالنسبة لصاروخ صغير الحجم ، هناك طريقة ميكانيكية بسيطة لتحديد cg لكل مكون أو للصاروخ بأكمله:

بالنسبة إلى الأشكال الهندسية البسيطة ، نقوم فقط بموازنة المكون أو الصاروخ بأكمله باستخدام سلسلة أو حافة. النقطة التي يتوازن فيها المكون أو الصاروخ هي مركز الجاذبية. هذا مثل موازنة قلم رصاص على إصبعك! من الواضح أننا لم نتمكن من استخدام هذا الإجراء لصاروخ كبير مثل مكوك الفضاء ، لكنه يعمل جيدًا مع نموذج.

هناك طريقة أخرى أكثر تعقيدًا ، وهي تعليق النموذج من نقطة ما ، على سبيل المثال ، زاوية الزعنفه ، وإسقاط سلسلة ثقيلة من نفس النقطة. ارسم خطًا على الصاروخ بطول الخيط. كرر الإجراء من نقطة أخرى على الصاروخ ، الأنف ، على سبيل المثال. لديك الآن خطان مرسومان على الصاروخ. cg هي النقطة التي يتقاطع عندها الخطان. يعمل هذا الإجراء جيدًا مع الكائنات ذات الأشكال غير المنتظمة التي يصعب موازنتها.

تكمّن مشكلة هذا الإجراء في أن cg يمكن أن يقع خارج الجسم لأشكال هندسية معقدة.

يمكننا تحديد نظام إحداثيات ثلاثي الأبعاد من خلال مركز الثقل بحيث يكون كل محور من نظام الإحداثيات هذا متعامدًا على المحورين الآخرين.

معظم الصواريخ متماثلة حول خط يمتد من طرف الأنف إلى مركز مخرج الفوهة. سوف نسمي هذا الخط محور اللف والحركة حول هذا المحور تسمى حركة الدوران. نظرًا لأن الصاروخ متماثل حول محور اللف .

يقع مركز الثقل على طول محور اللف . لتحديد المحاور الأساسية الأخرى ، نختار بعض الخصائص المميزة للتصميم ، مثل موضع الزعنفه ، أو موقع النافذة ،

ثم ضع محور الانعراج yaw axis عموديًا على محور اللف roll axis وعبر مركز الثقل.

شرح الشكل :

رسمنا خطًا أصفر على جسم الصاروخ الذي يقع في المستوى الذي يتكون من محوري الانعراج واللف. (roll and yaw axes).

يمر الخط الأصفر عبر الزعنفه الموجودة على "قمة" الصاروخ. تسمى الحركات حول محور الانعراج (yaw axis) بحركات الانعراج وتؤدي إلى تحرك مقدمة الصاروخ من جانب إلى آخر. يكون محور الميل pitch axis عموديًا على محوري الانعراج واللف yaw and roll axes عند مركز الجاذبية. حركات الميل هي حركة مقدمة الصاروخ لأعلى أو لأسفل .

يمكن مناورة الصاروخ بعدة طرق مختلفة. أثناء الطيران ، تنتج زعانف الصاروخ قوى هوائية. يتم تطبيق هذه القوى في مركز ضغط الصاروخ الذي يبعد مسافة ما عن cg وينتج عزم دوران حول المحاور الرئيسية.

يتسبب عزم الدوران في دوران الصاروخ. تنتج معظم الصواريخ كاملة الحجم حركات الانعراج أو الميل عن طريق تحريك فوهة العادم أو تدويرها. إذا لم يتم محاذاة متجه الدفع مع محور اللف ، فإنه ينتج عزم دوران حول مركز الجاذبية.

تحديد مركز الضغط مهم جدا . لتحديد مدى استقرار الصاروخ ، من الضروري معرفة موقع مركز الضغط بالنسبة لمركز الجاذبية .

-الحركة الانسحابية :

هناك قوتان تؤثران على الصاروخ لحظة الاطلاق :

-قوة الدفع تدفع الصاروخ نحو الأعلى بواسطة دفع الغازات نحو الأسفل في الاتجاه المعاكس .

-الوزن : هو القوة الناتجة عن تأثير الجاذبية على الجسم وتقاس بال N (نيوتن) وأيضا هو القوة الناتجة عن الجاذبية التي تسحب الصاروخ للأسفل نحو مركز الأرض , حيث لكل كغ من الكتلة هناك 9.8 N من الوزن .

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

حيث مع زيادة سرعة الصاروخ ح تبدأ قوة سحب ثالثة (القوة المحصلة وهي مجموع القوى الفريدة) .

تتبع حركة الصاروخ لحظة الاطلاق لقانون نيوتن الثاني حيث :

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

m: الكتلة الكلية للصاروخ .

a: التسارع .

F: محصلة القوى المؤثرة على الصاروخ .

ينتج تسارع الجسم عن طريق التأثير عليه بقوة الدفع .

حيث قوة الدفع اكبر من قوة السحب والثقيل معا .

وينتج انحراف مسار الصاروخ نتيجة تطبيق القوة باتجاه مائل على الصاروخ بزاوية معينة .

ويعود سبب انحراف مسار الصاروخ وجعل المسار منحنيا لتوفير الوقود و وصول الصاروخ الى الوجهة المطلوبة باقل فترة زمنية ممكنة .

كما أنه القوانين الثلاثة لنيوتن هي في الحقيقة بيانات بسيطة عن كيفية تحرك الأمور. ولكن معهم ، يمكن إجراء قرارات دقيقة لأداء الصواريخ.

* قانون نيوتن الأول :

الحركة هي أيضا مصطلح نسبي. كل المادة في الكون تتحرك طوال الوقت ، ولكن في قانون نيوتن الأول ، تعني الحركة هنا تغيير الموقع فيما يتعلق بالبيئة المحيطة و يتغير الصاروخ الذي ينفجر من منصة الإطلاق من حالة سكون إلى حالة حركة. في رحلة الصواريخ، تصبح القوات متوازنة وغير متوازنة طوال الوقت. صاروخ على منصة الإطلاق متوازن. يدفع سطح المنصة الصاروخ لأعلى بينما تحاول الجاذبية سحبه لأسفل. عندما يتم إشعال المحركات، فإن الدفع من الصاروخ يخل بتوازن القوى ، وينتقل الصاروخ إلى الأعلى. في وقت لاحق ، عندما ينفد وقود الصاروخ ، يتباطأ ، ويتوقف عند أعلى نقطة من رحلته ، ثم يسقط مرة أخرى إلى الأرض.

*قانون نيوتن الثاني:

يمكن إعادة صياغة قانون نيوتن الثاني للحركة بالطريقة التالية: كلما زادت كتلة وقود الصواريخ المحترقة، وكلما تمكن الغاز المنتج من الهروب من المحرك بشكل أسرع، زاد دفع الصاروخ.

*قانون نيوتن الثالث:

مع الصواريخ، فإن العمل هو طرد الغاز من المحرك. رد الفعل هو حركة الصاروخ في الاتجاه المعاكس. لتمكين الصاروخ من الإقلاع من منصة الإطلاق، يجب أن يكون الإجراء أو الدفع من المحرك أكبر من كتلة الصاروخ. ومع ذلك، في الفضاء، حتى الدفعات الصغيرة ستسبب في تغيير اتجاه الصاروخ.

وضع قوانين نيوتن للحركة معا:

يجب بذل قوة غير متوازنة لإطلاق صاروخ من منصة الإطلاق أو لمركبة في الفضاء لتغيير السرعة أو الاتجاه (قانون نيوتن الأول). يتم تحديد مقدار الدفع (القوة) الناتجة عن محرك الصاروخ من خلال كتلة وقود الصاروخ الذي يتم حرقه ومدى سرعة إفلات الغاز من الصاروخ (قانون نيوتن الثاني). رد فعل الصاروخ أو حركته يساوي وفي الاتجاه المعاكس للعمل أو الدفع من المحرك (قانون نيوتن الثالث).

العلاقة الشعاعية وإيجاد سرعة الصاروخ:

قبل اطلاق الصاروخ تكون سرعة الصاروخ معدومة $V_r = 0$ ، و قوة مقاومة الهواء $F_r = 0$.

$$W = mg \text{ قوة ثقل الصاروخ ثابتة ..}$$

وذلك تبعا لقانون نيوتن الأول

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

ولكن لحظة الاطلاق تؤثر قوة الدفع على الصاروخ وبالتالي ينتج قوة مقاومة الهواء و تتغير قيمة قوة الثقل تبعا لتغير الكتلة ، حيث حركة الصاروخ الفضائي يعتمد على تغير كمية الحركة ..

وبتطبيق قانون نيوتن الثاني

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

$$\vec{F_r} + \vec{W} + \vec{F_{th}} = m \vec{a}$$

F_r - : مقاومة الهواء .

$$F_r = \frac{1}{2} k \rho v^2$$

حيث :

k : معامل السحب const

ويكون من 0.01 الى 0.03 للطائرات والصواريخ.

s : المقطع العرضي الفعال للجسم بشكل عمودي على اتجاه سرعة الجسم.

ρ : كثافة الهواء

$$\rho = 1.423 \text{ m.s}^{-3}$$

v : سرعة الصاروخ .

-W: قوة الثقل الصاروخ

$$W = m. g$$

m : الكتلة الكلية للصاروخ (مع الوقود) .

g : تسارع الجاذبية الأرضية

$$g = 9.8 \text{ m.s}^{-2}$$

-Fth : قوة الدفع

$$F_{th} = -V_c \frac{dm}{dt}$$

V_c : سرعة خروج الوقود

$\frac{dm}{dt}$: معدل تغير الكتلة

بالإسقاط على محور شاقولي موجه الى الأعلى :

$$-F_r -W + F_{th} = m. a$$

بالتعويض:

$$-\frac{1}{2} k \rho s v^2 - m. g - V_c \frac{dm}{dt} = m. a$$

بعزل v (سرعة الصاروخ)

$$v^2 = -2 \frac{\left(m \cdot a + m \cdot g + V_c \frac{dm}{dt} \right)}{k \rho}$$

نظرا لظهور مربع السرعة على انه سالب نلجأ لمعادلة معادلة تسالكوفسكي الصاروخية، أو معادلة الصاروخ المثالي (Tsiolkovsky rocket equation)، حيث تصف حركة العربات التي تتبع المبدأ الأساسي للصاروخ: آلة قادرة على تزويد نفسها بالتسارع (كدفع) عبر نفث بعض كتلتها بسرعة عالية وتندفع بالتالي وفقا لمبدأ حفظ كمية الحركة .

$$\Delta v = V_c \cdot \ln \left(\frac{m}{m_f} \right)$$

Δv : التغير الأعظمي في السرعة للصاروخ (في غياب قوى خارجية مؤثرة).

m : الكتلة الابتدائية متضمنة الوقود.

m_f : الكتلة النهائية بدون الوقود، تعرف أيضا بالكتلة الجافة .

V_c : سرعة الوقود .

ويتم تحديد المدخلات من قبل الباحث

حيث يتم تحديد كتلة الصاروخ الكلية m وكتلة الوقود m_0 ب kg

ويحدد سرعة خروج الوقود V_c ب $kg \cdot s^{-1}$.

(سرعة احتراق الوقود) .

المراجع :

<https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/rocket/rktwt1.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/rocket/wteq.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/rocket/rktwt.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/K-12/rocket/rktcg.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/rotations.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/rktcg.html>

https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/TRCRocket/rocket_principles.html

[Rocket Thrust Equation \(nasa.gov\)](#)

[Rocket Aerodynamic Forces \(nasa.gov\)](#)

[The Drag Equation \(nasa.gov\)](#)

[The Lift Equation \(nasa.gov\)](#)

