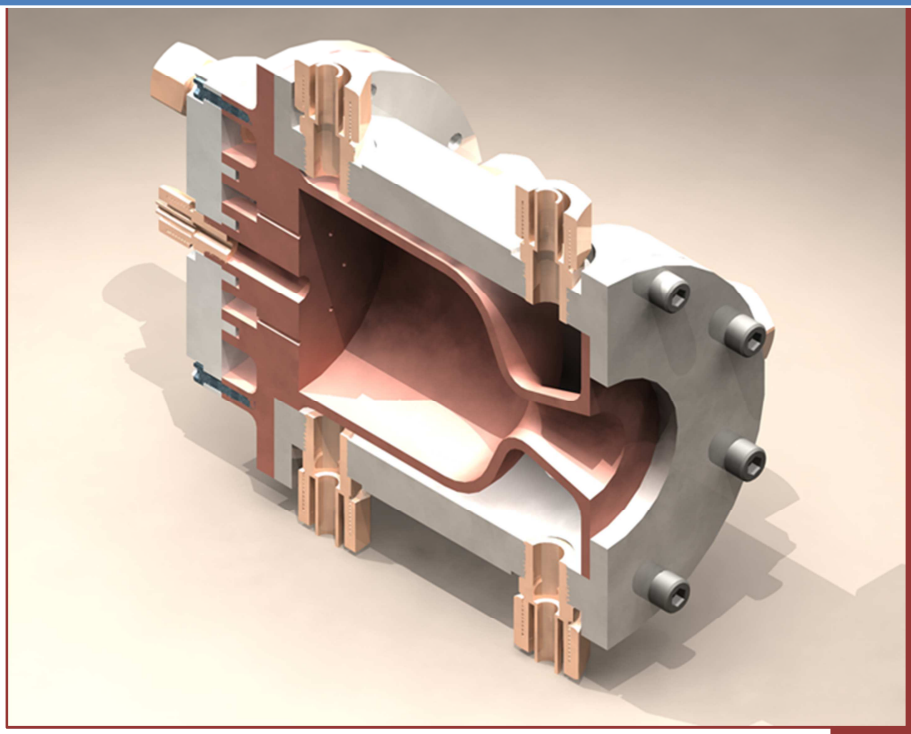
2010

# كيف تصمِّم و تصنع محرِّك صغير لصاروخ يعمل بالوقود السائل



إعداد : أمين محمد حسن الصافي

جامعة الخرطوم – كلية الهندسة / قسم الميكانيكا

11/1/2010

إنّ الحمد لله نحمده ونستعينه ونستغفره ونعوذ بالله من شرور أنفسنا ومن سيئات أعمالنا من يهده الله فلا مضل له ومن يضلل فلا هادي له وأشهد أن لا إله إلاّ الله وحده لا شريك له وأشهد أن محمدا عبده ورسوله

قَالَ تَعَالَىٰ: ﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ ٱتَّقُواْ ٱللَّهَ حَقَّ تُقَاتِهِۦ وَلَا تَمُوتُنَّ إِلَّا وَأَنتُم مُّسۡلِمُونَ ﴿١٠٢﴾ ﴾ آل عمران: ١٠٢

﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلنَّاسُ ٱتَّقُواْ رَبَّكُمُ ٱلَّذِي خَلَقَكُم مِّن نَّفۡسٖ وَٰحِدَةٖ وَخَلَقَ مِنۡهَا زَوۡجَهَا وَبَثَّ مِنۡهُمَا رِجَالٗا كَثِيرٗا وَنِسَآءٗۚ وَٱتَّقُواْ ٱللَّهَ ٱلَّذِي تَسَآءَلُونَ بِهِۦ وَٱلۡأَرۡحَامَۚ إِنَّ ٱللَّهَ كَانَ عَلَيۡكُمۡ رَقِيبٗا ﴿١﴾ ﴾ النساء: ١

﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ ٱتَّقُواْ ٱللَّهَ وَقُولُواْ قَوۡلٗا سَدِيدٗا ﴿٧٠﴾ يُصۡلِحۡ لَكُمۡ أَعۡمَٰلَكُمۡ وَيَغۡفِرۡ لَكُمۡ ذُنُوبَكُمۡۗ وَمَن يُطِعِ ٱللَّهَ وَرَسُولَهُۥ فَقَدۡ فَازَ فَوۡزًا عَظِيمًا ﴿٧١﴾ ﴾ الأحزاب: ٧٠ - ٧١

**أمّا بعد :**

فقد رأيت أن أجمع كتابا شاملاً محاولاً فيه إرساء المبادئ الأساسية لتصميم صاروخ صغير يعمل بالوقود السائل. وفي هذا الباب رأيت أن أترجم كتاب ***HOW to DESIGN, BUILD and TEST SMALL LIQUID-FUEL ROCKET ENGINES*** مع إضافة بعض الزيادات التوضيحية. يتناول هذا الباب طريقة تصميم وتصنيع و إختبار محرِّك الصاروخ. في نهاية هذا الباب سوف يتم إستخدام طرق حوسبة الموائع Computational Fluid Dynamics (CFD) للتنبؤ بأداء المحرِّك و أداء نظام تبريد المحرِّك.

وفي الأبواب القادمة إن شاء الله سوف أضمِّن بعض الأساسيات و طرق التوجيه وتتبع الهدف وطرق إختيار الشكل الأنسب للصاروخ وغيرها.

أسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجه تعالى وأن ينفع بهذا الكتاب أمّة الإسلام وخاصة إخواننا المجاهدين في غزة وفي كل مكان والله من وراء القصد.

نسقبل أرائكم و إقتراحاتكم على : how.rocket@gmail.com

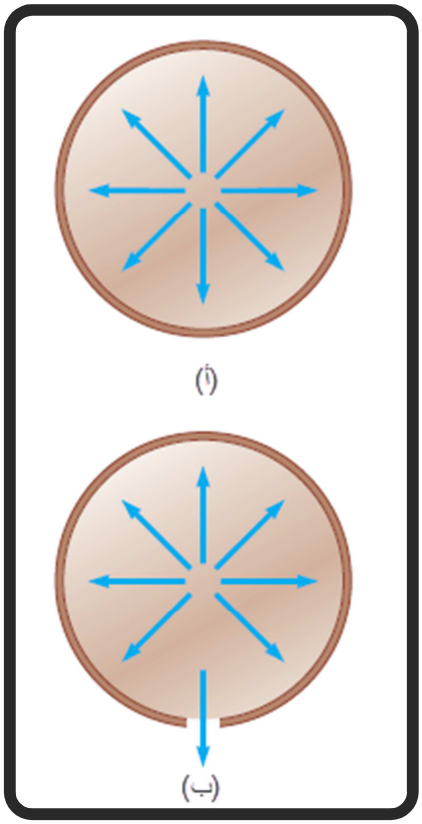
أمين الصافي

الإثنين 24 ذو القعدة 1431 هجري

الهدف من هذا المنشور هو تزويد المهتمين بالصواريخ بمعلومات لتصميم وتصنيع صاروخ ذو وقود سائل.

## المقدِّمة :

ماكينة الصاروخ هي عبارة عن جهاز بسيط فيه يتم حرق الدوافع (الوقود والمؤكسد) في غرفة إحتراق لإنتاج غازات ذات ضغط و حرارة عاليين لتمدد هذه الغازات خلال منفث ( قد يكون مجرى لام أو مجرى ناشر أو لام- ناشر) لإنتاج قوة دفع.



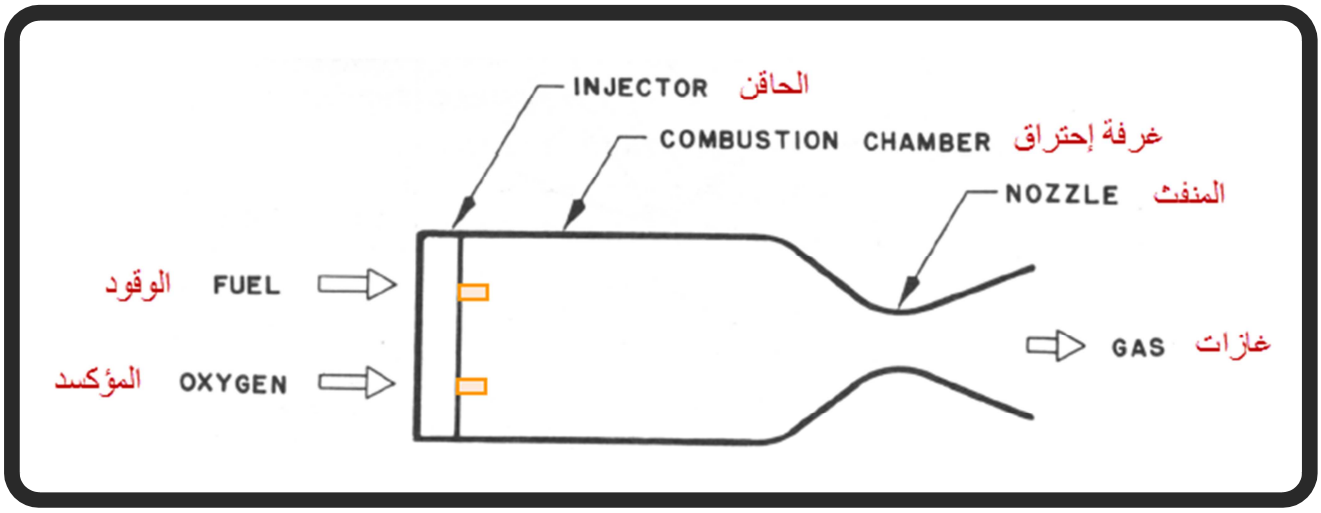

**رسم توضيحي 1 :**

**(أ) رد فعل غرفة الإحتراق بغير منفث لها رد فعل متساوي في جميع الإتجاهات**

**(ب) وجود فتحة في الأسفل يزيل رد الفعل في الأسفل وينتج صافي رد فعل الى أعلى**

تتكون عادة الدوافع من وقود ومؤكسد في الحالة السائلة. وعندما يتم ضغط الدوافع لدفعها الى غرفة الإحتراق يتم إشعال الخليط لتكوين غازات ذات ضغط عالي و حرارة عالية ثم يتم تسريع (تعجيل) هذه الغازات في المنفث بسرعة عالية وبالتالي إنتاج زخم لدفع الصاروخ. يتكون هذا الزخم من كتلة الغازات الخارجة و سرعتها. القوة التي تدفع الصاروخ هي عبارة عن رد فعل نتيجة لدفع هذه الغازات بهذه السرعة العالية ( *قانون نيوتن الثالث : لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار و مضاد له في الإتجاه*). هذه الظاهرة هي هي نفسها التي تدفع بخرطوش الماء الى الخلف عندما تنطلق منه المياه من خلال المنفث (منفث لام في هذه الحالة) وكذلك الحال عندما تُطلق الرصاصة من السلاح فإنه يرتد في الإتجاه المعاكس (رسم توضيحي 1).

تتكون ماكينة الصاروخ من غرفة إحتراق Combustion Chamber , منفث Nozzle, حواقن Injectors الدوافع (الوقود والمؤكسد) كما هو موضح في الرسم توضيحي 2. غرفة الإحتراق هي التي يتم فيها خلط وحرق الوقود و المؤكسد تحت ضغط عالي.




**رسم توضيحي 2 : أجزاء محرك الصاروخ**

يجب أن تكون غرفة الإحتراق قويَّة بما فيه الكفاية لتتحمل الضغط و الحرارة العاليَيْن للغازات النتاجة من عملية الإحتراق. ولذلك يتم تبريد غرفة الإحتراق بواسطة مُبرِّد (يمكن إستخدام الوقود نفسه كمُبرِّد بتمريره حول غرفة الإحتراق وقبل إدخاله اليها) .

غرفة الإحتراق أيضا يجب أن تكون بالطول الكافي لضمان الإحتراق الكامل قبل دخول الغازات الي مِنفث الصاروخ.

مُهِّمة مِنفث الصاروخ هي تحويل الطاقة الكيميائية الحرارية المتولِّدة في غرفة الإحتراق الى طاقة حركية. يقوم منفث الصاروخ بتحويل الغازات ذات السرعة البطيئة و الضغط و الحرارة العاليَيْن الى غازات ذات سرعة عالية و ضغط و حرارة منخفضين.

## هل تشاهد الأفلام و المسلسلات و تنظر الى النساء ؟ وتنظرين الى الرجال ؟

يقول الله تعالى : ﴿ سُورَةٌ أَنزَلْنَٰهَا وَفَرَضْنَٰهَا وَأَنزَلْنَا فِيهَآ ءَايَٰتٍۭ بَيِّنَٰتٍ لَّعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ ﴿١﴾ ﴾ النور: ١

## هل أصبحت تستهين بكلام الله تعالى

﴿ ۞ يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ لَا تَتَّبِعُواْ خُطُوَٰتِ ٱلشَّيْطَٰنِۚ وَمَن يَتَّبِعْ خُطُوَٰتِ ٱلشَّيْطَٰنِ فَإِنَّهُۥ يَأْمُرُ بِٱلْفَحْشَآءِ وَٱلْمُنكَرِۚ وَلَوْلَا فَضْلُ ٱللَّهِ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَتُهُۥ مَا زَكَىٰ مِنكُم مِّنْ أَحَدٍ أَبَدًا وَلَٰكِنَّ ٱللَّهَ يُزَكِّى مَن يَشَآءُۗ وَٱللَّهُ سَمِيعٌ عَلِيمٌ ﴿٢١﴾ ﴾ النور: ٢١

﴿ قُل لِّلْمُؤْمِنِينَ يَغُضُّواْ مِنْ أَبْصَٰرِهِمْ وَيَحْفَظُواْ فُرُوجَهُمْۚ ذَٰلِكَ أَزْكَىٰ لَهُمْۗ إِنَّ ٱللَّهَ خَبِيرٌۢ بِمَا يَصْنَعُونَ ﴿٣٠﴾ ﴾ النور: ٣٠

## وغرّك حلم الله و تسويل النفس ووعد الشيطان

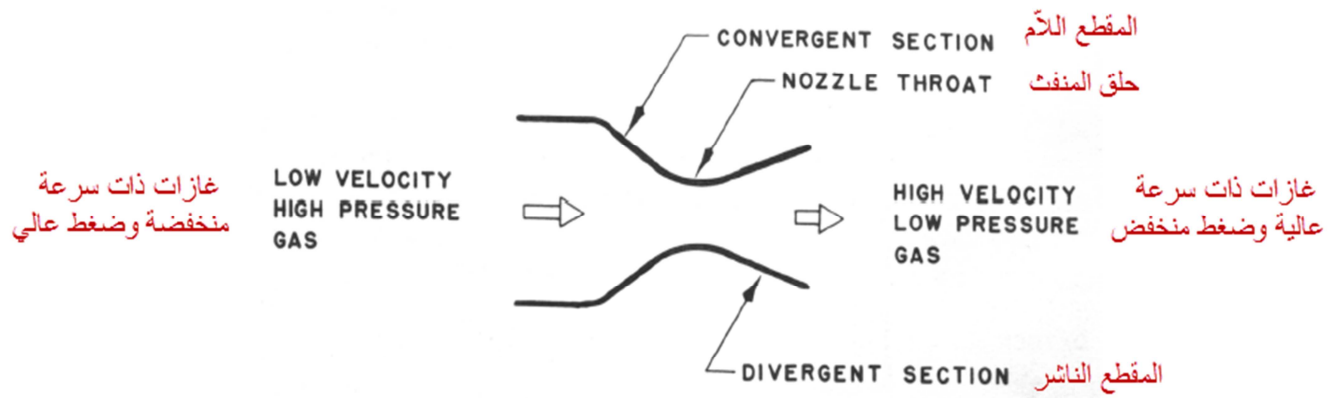
﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلْإِنسَٰنُ مَا غَرَّكَ بِرَبِّكَ ٱلْكَرِيمِ ﴿٦﴾ ﴾ الانفطار: ٦

﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلنَّاسُ ٱتَّقُواْ رَبَّكُمْ وَٱخْشَوْاْ يَوْمًا لَّا يَجْزِى وَالِدٌ عَن وَلَدِهِۦ وَلَا مَوْلُودٌ هُوَ جَازٍ عَن وَالِدِهِۦ شَيْـًٔاۚ إِنَّ وَعْدَ ٱللَّهِ حَقٌّۖ فَلَا تَغُرَّنَّكُمُ ٱلْحَيَوٰةُ ٱلدُّنْيَا وَلَا يَغُرَّنَّكُم بِٱللَّهِ ٱلْغَرُورُ ﴿٣٣﴾ ﴾

لقمان: ٣٣

بما أنّ قوة الدفع تعتمد على الكتلة (كتلة الغازات التي تسري خلال منفث الصاروخ) و السرعة, فإن السرعة العالية للغازات تكون مطلوبة. يمكن الحصول على سرعة تصل الى 1- 2 ميل في الثانية (5000 الى 1200 قدم في الثانية) للغازات في منفث الصاروخ.

منافث الصاروخ المستخدمة للحصول على هذه السرعات العالية تسمى منافث DeLaval (على إسم مخترعها) و تتكون من منفث لام – ناشر Convergent-Divergent Nozzle كما في الرسم التوضيحي 3. أصغر مساحة مقطع للسريان خلال المنفث تسمى حلق المنفث.




**رسم توضيحي 3 : منفث DeLaval**

مساحة مقطع السريان في نهاية المقطع الناشر للمنفث تسمى مساحة خروج المنفث. يتم صنع المنفث طويلا عادة ( أو مساحة الخروج كبيرة كفاية) بحيث يخفض ضغط الغازات عند مساحة الخروج الى الضغط الجوي. إذا تم تصميم الصاروخ ليتم إطلاقه عند سطح البحر فإن الضغط يكون 14.7(psi) pounds per square inch . أما إذا تم تصميمه ليعمل في

إرتفعات عالية فإن ضغط الخروج يكون أقل من 14.7 psi (يقل الضغط الجوي كلما زاد الإرتفاع).

الإنخفاض في درجة حرارة الغازات يكون كبيرا و قد يصل الى 2000 الى3000 F. وبما أن الغازات في غرفة الإحتراق يمكن أن تكون بين 5000 الى 6000 F, فإن الغازات عند مساحة الخروج تكون عند درجة حرارة حوالي 3000 F.

# العشر الأوائل من أيام ذي الحجة

﴿ وَٱلۡفَجۡرِ ۝١ وَلَيَالٍ عَشۡرٍ ۝٢ وَٱلشَّفۡعِ وَٱلۡوَتۡرِ ۝٣ وَٱلَّيۡلِ إِذَا يَسۡرِ ۝٤ هَلۡ فِي ذَٰلِكَ قَسَمٞ لِّذِي حِجۡرٍ ۝٥ ﴾ الفجر: ١ - ٥

عن ابن عباس – رضي الله عنهما – أنه قال : يقول رسول الله صلى الله عليه وسلم : " ما من أيامٍ العمل الصالح فيها أحبُّ إلى الله من هذه الأيامِ ( يعني أيامَ العشر ) . قالوا : يا رسول الله ، ولا الجهادُ في سبيل الله ؟ قال : ولا الجهادُ في سبيل الله إلا رجلٌ خرج بنفسه وماله فلم يرجعْ من ذلك بشيء " ( أبو داود ، الحديث رقم 2438 )

## إختيار الدوافع :

يمكن لماكينة الصاروخ حرق توليفات مختلفة من الؤكسدات و الوقود ,بعض منها تم وضعه في الجدول 1 أدناه. معظم هذه الدوافع خطرة و سامة و باهظة الثمن. من خلال الخبرة ينصح مركز أبحاث ROCKETLAB بإستخدام الأكسجين الغازي كمؤكسد و الهيدروكربونات كوقود. تقوم هذه التوليفة بأداء جيد, لهب الإحتراق يكون ظاهراً, ودرجة الحرارة الناتجة عند الإحتراق تكون كافية عند التصميم.

الأكسجين في الحالة الغازية يمكن بسهولة الحصول عليه و بثمن رخيص في أسطوانات مضغوطة و التي تستخدم عند لحام الأستالين. ضغط الغاز يمكن التحكم فيه بسهولة بواسطة المنظمات Pressure Regulators التجارية كما يمكن التحكم في معدل سريان الغازات بواسطة الصمامات التجارية المتوفرة في الأسواق.

**جدول 1 : الأداء المحسوب لبعض الدوافع السائلة**

| Propellant Combination Oxidizer/Fuel | Combustion Pressure, psi | Mixture Ratio | Flame Temp °F | Isp, sec |
|---|---|---|---|---|
| Liquid oxygen & gasoline | 300 | 2.5 | 5470 | 242 |
| Gaseous oxygen & gasoline | 300 | 2.5 | 5742 | 261 |
| Gaseous oxygen & gasoline | 500 | 2.5 | 5862 | 279 |
| Liquid oxygen & JP-4 (jet fuel) | 500 | 2.2 | 5880 | 255 |
| Liquid oxygen & methyl alcohol | 300 | 1.25 | 5180 | 238 |
| Gaseous oxygen & methyl alcohol | 300 | 1.2 | 5220 | 248 |
| Liquid oxygen & hydrogen | 500 | 3.5 | 4500 | 363 |
| Red fuming nitric acid & JP-4 | 500 | 4.1 | 5150 | 238 |

Note: expansion to 14.7 psi

الوقود الهيدروكربوني, مثل الجازولين و الكحول, متوفر في كل المجتمعات.
إحتياطات السلامة معلومة لكل شخص عند التعامل مع هذا النوع من الوقود وذلك لإستخدامها الواسع في محركات الإحتراق الداخلي للسيارات و محطات إنتاج القدرة.

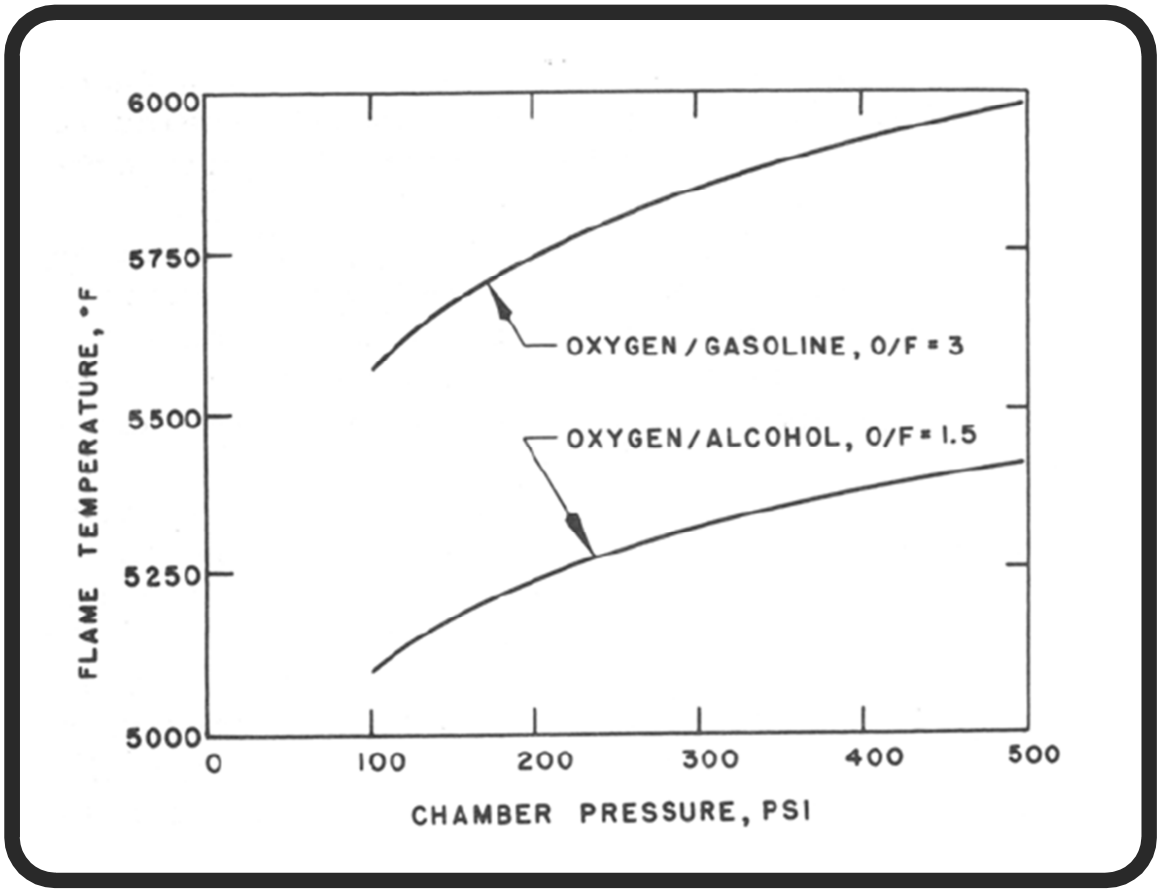
في كل الفصول اللاحقة في هذا المنشور سيتم إعتبار أن الأكسجين الغازي هو المؤكسد و أن الوقود هيدروكربوني .

درجة حرارة اللهب Flame Temperature الناتجه عند إحراق الوقود الهيدروكربوني والأكسجين الغازي في غرف الإحتراق عند ضغوط مختلفة مبيّنة في الرسم التوضيحي 4 وذلك عند نسبة الإختلاط المتكافئة (نسبة الإختلاط للإحتراق الكامل) stoichiometric mixture ratio. نسبة الإختلاط Mixture ratio تعرّف بأنها معدّل سريان المؤكسد مقسومة على معدّل سريان الوقود عند الإختلاط, أو :

$$O/F = w_o/w_f \qquad (1)$$

where $w_o$ = lb of oxygen/sec

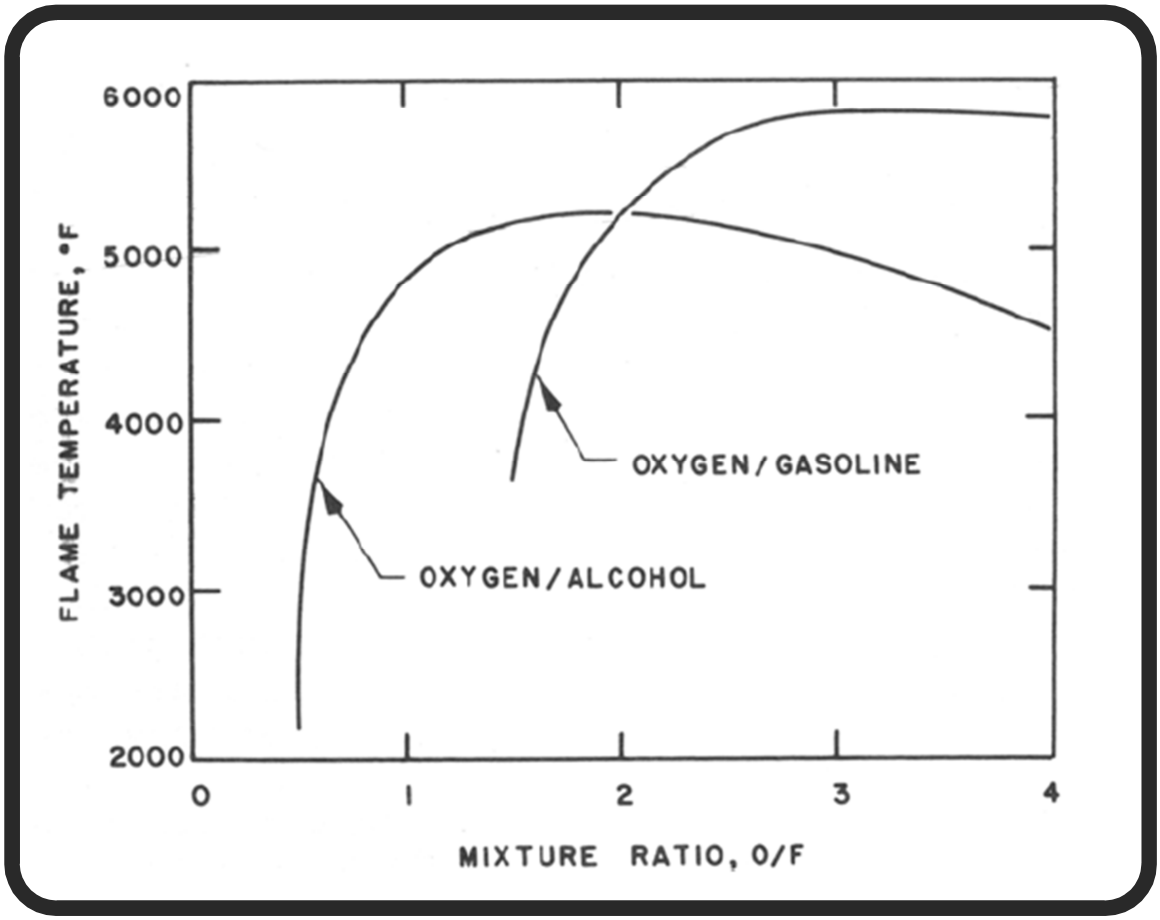
$w_f$ = lb of fuel/sec




**رسم توضيحي 4 : درجة حرارة اللهب عندما يتغير ضغط غرفة الإحتراق عند نسبة الإختلاط المتكافئة**

عند الوصول الى نسبة الإختلاط المتكافئة يكون هناك فقط أكسجين كفاية ليتفاعل مع كل الوقود؛ وفي هذه الحالة تكون درجة حرارة اللهب في أعلى قيمة لها. إذا أريد الحصول على درجة حرارة لهب أقل من هذه القيمة يجب أن يكون الوقود أكثر من الأكسجين؛ تعرف هذه بنسبة الإختلاط الغني بالوقود fuel rich or off-ratio. هذا الظرف يكون أقل قساوة على محرك الصاروخ من ظرف الإحتراق عند الأكسيجن الغني (الأكسجين أكثر من المطلوب للإحتراق الكامل) oxygen-rich .

يوضح الرسم التوضيحي 5 كيف تتغيّر درجة حرارة اللهب عندا يتم تثبيت قيمة الضغط عند الإحتراق و السماح لنسبة الإختلاط بالتغيُّر.




**رسم توضيحي 5 : درجة حرارة اللهب عندما تتغير عند نسبة الإختلاط عند تثبيت ضغط غرفة الإحتراق عند 300 psi**

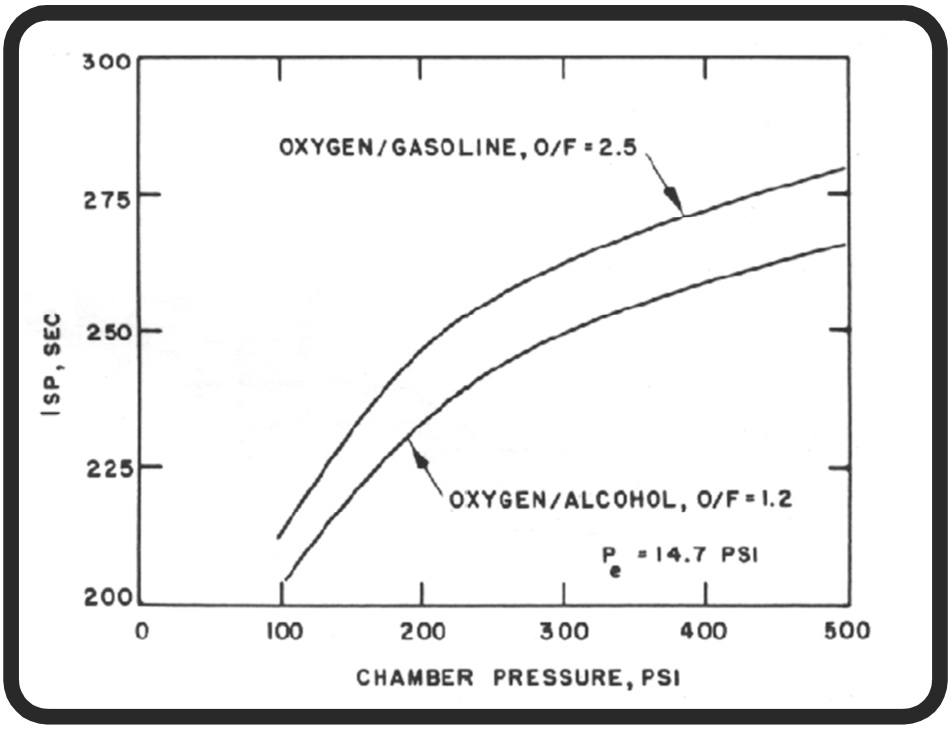
قوة الدفع المتولّدة لكل رطل من كل الدوافع المحترقة في الثانية تعرف بالنبض النوعي و تعطى ب :

$$I_{sp} = \text{thrust/total propellant flow rate} \quad (2)$$

يوضح الرسم التوضيحي 6 أقصى أداء يمكن الحصول عليه من حرق الوقود الهيدروكربوني مع الأكسجين الغازي عند ضغوطات مختلفة لغرفة الإحتراق عندما تتمدد الغازات الي الضغط الجوي. هذا المخطط يمكن الإستفادة منه لحساب معدل السريان الطلوب عندما يراد الحصول على قوة دفع معينة. إفترض أننا نريد تصميم محرك صاروخي يستخدم الأكسجين

الغازي و الجازولين كدوافع و يتم حرقها عند ضغط 200 psi لإنتاج قوة دفع مقدارها 100 lbs . في هذه الظروف أداء الدوافع, من الرسم التوضيحي 6 أدناه, هو 244 lb قوة دفع لكل رطل من الدوافع في الثانية. وبالتالي :

$$w_t = F/I_{sp} = 100/244 = 0.41 \text{ lb/sec} \qquad (3)$$




**رسم توضيحي 6 : أداء النبض النوعي عند أستخدام الوقود الهيدروكربوني مع الأكسجين الغازي**

بما أنّ النبض النوعي الأدنى لنسبة خليط الأكسين و الجازولين هي 2.5 , نحصل على

$$w_o = w_t \, r/(r + 1) = 0.293 \text{ lb/sec} \quad (4)$$

$$w_f = w_t/(r + 1) = 0.117 \text{ lb/sec} \quad (5)$$

$$w_t = w_o + w_f \quad (6)$$

# هل تصوم الأيام البيض

عن عبدالله بن عمرو بن العاص - رضي الله عنهما - قال: قال رسول الله - صلى الله عليه وسلم-: "صوم ثلاثة أيام من كل شهر صوم الدهر كله" متفق عليه.

عن أبي ذر - رضي الله عنه - قال: قال رسول الله - صلى الله عليه وسلم- : "إذا صمت من الشهر ثلاثا فصم ثلاث عشرة، وأربع عشرة، وخمس عشرة" رواه الترمذي.

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم" :ما من عبد يصوم يوما في سبيل الله إلا باعد الله بذلك اليوم وجهه عن النار سبعين خريفا" رواه مسلم.

عن أبي هريرة - رضي الله عنه - قال" :أوصاني خليلي بثلاث: بصيام ثلاثة أيام من كل شهر، وركعتي الضحى، وأن أوتر قبل أن أنام" صحيح البخاري.

## خواص الدوافع :

الخواص الكيميائية و الفيزيائية للأكسجين الغازي, الكحول الميثيلي , و الجازولين مبينَّه في الجدول 2.

**جدول 2 : الخواص الفيزيائيه لبعض الدوافع الصاروخيه**

| Propellant | Gaseous Oxygen | Methyl Alcohol | Gasoline |
|---|---|---|---|
| Chemical formula | $O_2$ | $CH_3OH$ | $C_8H_{18}$ |
| Molecular weight | 32 | 34.04 | 114 |
| Color | colorless | colorless | colorless |
| Effect on metals | none | none | none |
| Fire hazard | high | high | high |
| Toxicity | none | toxic | mild |
| Density | 0.083 lb/ft$^3$ | 48 lb/ft$^3$ | 44.5 lb/ft$^3$ |

Note: The density of gaseous oxygen at conditions other than standard can be determined from
$\rho_2 = \rho_1(P_2/P_1)(T_1/T_2)$, where $P_1$ = 14.7 psi, $T_1$ = 68°F, $\rho_1$ = 0.083

# هل تحافظ على الصلاة

﴿حَافِظُوا عَلَى الصَّلَوَاتِ وَالصَّلاةِ الْوُسْطَى وَقُومُوا لِلَّهِ قَانِتِينَ﴾

قال صلى الله عليه وسلم :( رأس الأمر الإسلام وعموده الصلاة وذروة سنامه الجهاد في سبيل الله) رواه أحمد وغيره بإسناد جيد

## وصف الله أهلها بالمؤمنين

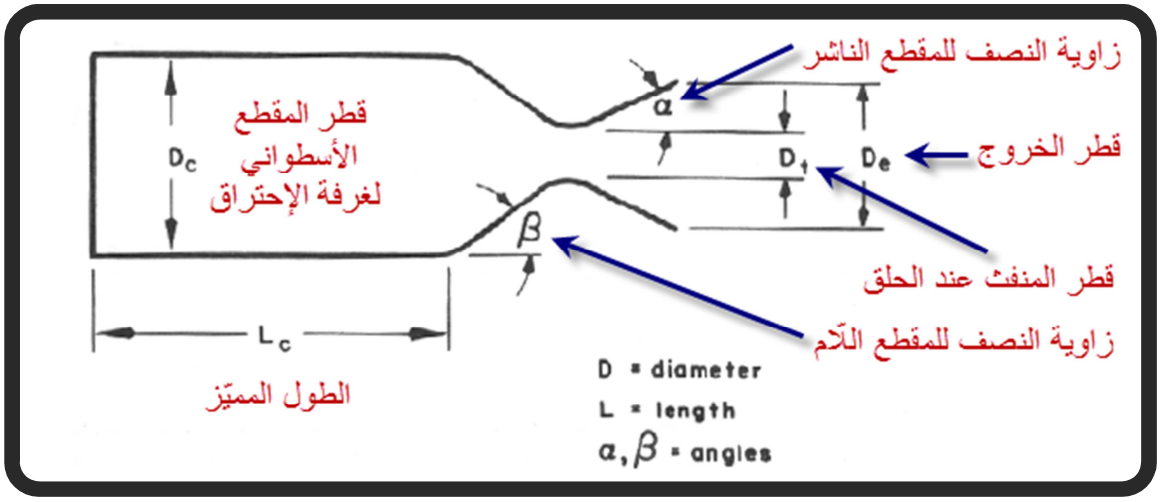
﴿ قَدْ أَفْلَحَ ٱلْمُؤْمِنُونَ ﴿١﴾ ٱلَّذِينَ هُمْ فِي صَلَاتِهِمْ خَٰشِعُونَ ﴿٢﴾ وَٱلَّذِينَ هُمْ عَنِ ٱللَّغْوِ مُعْرِضُونَ ﴿٣﴾ وَٱلَّذِينَ هُمْ لِلزَّكَوٰةِ فَٰعِلُونَ ﴿٤﴾ وَٱلَّذِينَ هُمْ لِفُرُوجِهِمْ حَٰفِظُونَ ﴿٥﴾ إِلَّا عَلَىٰٓ أَزْوَٰجِهِمْ أَوْ مَا مَلَكَتْ أَيْمَٰنُهُمْ فَإِنَّهُمْ غَيْرُ مَلُومِينَ ﴿٦﴾ فَمَنِ ٱبْتَغَىٰ وَرَآءَ ذَٰلِكَ فَأُو۟لَٰٓئِكَ هُمُ ٱلْعَادُونَ ﴿٧﴾ وَٱلَّذِينَ هُمْ لِأَمَٰنَٰتِهِمْ وَعَهْدِهِمْ رَٰعُونَ ﴿٨﴾ وَٱلَّذِينَ هُمْ عَلَىٰ صَلَوَٰتِهِمْ يُحَافِظُونَ ﴿٩﴾ ﴾ المؤمنون: ١ - ٩

و توعّد المضيعين للصلاة بالإثم والغي والتورط في الشهوات والآثام فقال عز وجل:﴿فَخَلَفَ مِنْ بَعْدِهِمْ خَلْفٌ أَضَاعُوا الصَّلاةَ وَاتَّبَعُوا الشَّهَوَاتِ فَسَوْفَ يَلْقَوْنَ غَيّاً﴾ [5]

أي فسوف يلقون خسراناً وشراً وعذاباً أليماً شديداً.

## معادلات التصميم :

في هذا الفصل سيتم تفصيل معادلات مبسّطة لتصميم أجزاء المحرك الصاروخي ذو الوقود السائل. المصطلحات المستخدمه موصوفة في الرسم التوضيحي 7 .




رسم توضيحي 7 : تكوينات تصميم محرّك الصاروخ

## المنفث :

يمكن حساب مساحة مقطع المنفث عند الحلق إذا علمنا معدل سريان الدوافع و تم إخيار ظروف التشغيل. بإفتراض نظرية الغاز الكامل (الغاز المثالي) :

$$A_t = w_t/P_t \sqrt{R\, T_t/\gamma\, g_c} \qquad (7)$$

حيث R هو ثابت الغاز معطى ب $R = \bar{R}/M$ . $\bar{R}$ هو ثابت الغاز العالمي وقيمته $\mathcal{R}$ 1545.32 ft − lb/lb, M هو الوزن الجزيئي للغاز. الوزن الجزيئي للغازات الساخنة

الناتجه من عملية إحتراق الأكسجين الغازي و الوقود الهيدروكربوني قيمتها حوالي 24 , ولذلك قيمة R تكون $\mathcal{R}$ 65 ft − lb/lb.

قاما, $\gamma$ , هي نسبة الحرارة النوعيه للغازات وهي متغير ثيرموديناميكي وقيمتها حوالى 1.2 للغازات الناتجه عند إحتراق الأكسجين الغازي و الوقود الهيدروكربوني.

$g_c$ هي قيمة ثابته و تسمى عجلة الجاذبية الأرضية و قيمتها $32.2\ ft/sec^2$ .

في الحسابات اللاحقه يمكن للقارئ إعتبارالقيم أدناه ثابته عند إستخدام الأكسجين الغازي و الوقود الهيدروكربوني :

$$R = 65\ ft\text{-}lb/lb\,^\circ R$$

$$\gamma = 1.2$$

$$g_c = 32.2\ ft/sec^2$$

$T_t$ هي درجة حرارة الغازات عند حلق المنفث. درجة حرارة الغازات عند الحلق تكون قيمتها أقل من درجتها عند غرفة الإحتراق وذلك للفقودات الحرارية عند عملية تعجيل الغازات الى سرعة الصوت الموضعية (عدد ماخ = 1) عند الحلق . يتبع ذلك :

$$T_t = T_c \left[\frac{1}{1 + \frac{\gamma - 1}{2}}\right] \qquad (8)$$

For $\gamma = 1.2$

$$T_t = (.909)(T_c) \qquad (9)$$

$T_c$ هي درجة حرارة اللهب في غرفة الإحتراق بوحدة الرانكين:

$$T\ (°R) = T\ (°F) + 460 \qquad (10)$$

$P_t$ هو ضغط غازات الإحتراق عند حلق المنفث. الضغط عند الحلق تكون قيمته أقل من الضغط في غرفة الإحتراق وذلك نتيجة لتعجيل الغازات الى سرعة الصوت الموضعية ( عدد ماخ = 1) عند الحلق. يتبع ذلك :

$$P_t = P_c \left[1 + \frac{\gamma - 1}{2}\right]^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}} \qquad (11)$$

For $\gamma = 1.2$

$$P_t = (.564)(P_c) \qquad (12)$$

الغازات الساخنة يجب الآن أن تتمدد في المقطع الناشر للمنفث للحصول على أقصى قوة للدفع. ضغط هذه الغازات سوف ينخفض وذلك لأن الطاقة سوف تستخدم لتعجيل الغازات ويجب علينا الآن إيجاد مساحة مقطع السريان التي يكون عندها ضغط الغازات مساوي للضغط الجوي. هذه المساحة سوف تكون هي مساحة الخروج للمنفث .

عدد ماخ هو النسبة بين سرعة الغاز و سرعة الصوت الموضعية. عدد ماخ عند مساحة الخروج $M_e$ يعطى بمعادلة التمدد للغاز المثالي :

$$M_e^2 = \frac{2}{\gamma - 1}\left[\left(\frac{P_c}{Patm}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right] \qquad (13)$$

$P_c$ هو الضغط عند غرفة الإحتراق و $P_{atm}$ هو الضغط الجوي وقيمته 14.7 psi.

مساحة مقطع الخروج بدلالة عدد ماخ المتحصّل عليها من إختيار ضغط غرفة الإحتراق تعطى ب :

$$A_e = \frac{A_t}{M_e}\left[\frac{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_e^2}{(\gamma + 1)/2}\right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \qquad (14)$$

بما أنّ $\gamma$ ذات قيمة ثابته وهي 1.2 لنواتج إحتراق الأكسجين الغازي والوقود الهيدروكربوني, يمكننا إستبعاد قيمتها من المعادلات للتصميم المستقبلي؛ النتائج مجدوله في الجدول 3 أدناه.

**جدول 3 : معالم المنفث لضغوطات مختلفة لغرفة الإحتراق, $P_{atm}$ = 14 psi , $\gamma = 1.2$**

| $P_c$ | $M_e$ | $A_e/A_t$ | $T_e/T_c$ |
|---|---|---|---|
| 100 | 1.95 | 1.79 | 0.725 |
| 200 | 2.33 | 2.74 | 0.65 |
| 300 | 2.55 | 3.65 | 0.606 |
| 400 | 2.73 | 4.6 | 0.574 |
| 500 | 2.83 | 5.28 | 0.55 |

يتبع ذلك ,

$$A_e = A_t \ (A_e/A_t) \qquad (15)$$

نِسبة درجة الحرارة بين الغازات عند غرفة الإحتراق وتلك التي عند مساحة خروج المنفث تعطى ب:

$$T_e = T_c \ (T_e/T_c) \qquad (16)$$

قطر مساحة مقطع حلق المنفث تعطى ب :

$$D_t = \sqrt{4A_t/\pi} \ , \quad \pi = 3.14 \qquad (17)$$

وقطر الخروج يعطى ب :

$$D_e = \sqrt{4A_e/\pi} \qquad (18)$$

تعتبر 60 درجة هي قيمة مناسبة لزاوية النصف للمقطع اللاّم للمنفث β (أنظر الرسم التوضيحي 7) . زاوية النصف للمقطع الناشر للمنفث α, يجب أن لا تكون أكبر من 15 درجه وذلك لتقليل الفقودات الداخلية للسريان في المنفث (مشاكل إنفصال الطبقة الجدارية والتى تؤدي الى تكوّن دوامات وبالتالى فقودات موضعيه كبيره).

# الصبر

﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ ٱصۡبِرُواْ وَصَابِرُواْ وَرَابِطُواْ وَٱتَّقُواْ ٱللَّهَ لَعَلَّكُمۡ تُفۡلِحُونَ ٢٠٠ ﴾ آل عمران: ٢٠٠

﴿ وَٱصۡبِرۡ نَفۡسَكَ مَعَ ٱلَّذِينَ يَدۡعُونَ رَبَّهُم بِٱلۡغَدَوٰةِ وَٱلۡعَشِيِّ يُرِيدُونَ وَجۡهَهُۥۖ وَلَا تَعۡدُ عَيۡنَاكَ عَنۡهُمۡ تُرِيدُ زِينَةَ ٱلۡحَيَوٰةِ ٱلدُّنۡيَاۖ وَلَا تُطِعۡ مَنۡ أَغۡفَلۡنَا قَلۡبَهُۥ عَن ذِكۡرِنَا وَٱتَّبَعَ هَوَىٰهُ وَكَانَ أَمۡرُهُۥ فُرُطٗا ٢٨ ﴾ الكهف: ٢٨

﴿ وَكَأَيِّن مِّن نَّبِيّٖ قَٰتَلَ مَعَهُۥ رِبِّيُّونَ كَثِيرٞ فَمَا وَهَنُواْ لِمَآ أَصَابَهُمۡ فِي سَبِيلِ ٱللَّهِ وَمَا ضَعُفُواْ وَمَا ٱسۡتَكَانُواْۗ وَٱللَّهُ يُحِبُّ ٱلصَّٰبِرِينَ ١٤٦ ﴾ آل عمران: ١٤٦

﴿ وَلَا تَهِنُواْ وَلَا تَحۡزَنُواْ وَأَنتُمُ ٱلۡأَعۡلَوۡنَ إِن كُنتُم مُّؤۡمِنِينَ ١٣٩ ﴾ آل عمران: ١٣٩

## غرفة الإحتراق:

يمكن وصف حجم غرفة الإحتراق اللازم للإحتراق الكامل بمَعْلَمْ يسمى الطول المميِّز للغرفة , $L^*$ , ويعطى ب :

$$L^* = V_c/A_t \qquad (19)$$

حيث $V_c$ هو حجم غرفة الإحتراق (يشمل المقطع اللاّم للمنفث) , بالإنشات المكعَّبه , و $A_t$ هي مساحة مقطع الحلق (الإنشات المربّعة). تعتبر قيم $L^*$ من 50 الى 100 إنشات قيم مناسبة عند إستخدام الأكسجين الغازي والوقود الهيدروكربوني. الطول المُميِّز في الحقيقة هو عبارة عن بديل لحساب وقت تواجد الدوافع في غرفة الإحتراق.

لتقليل الفقودات الناتجه عن سرعة الغازات في غرفة الإحتراق, يجب ان تكون مساحة مقطع غرفة الإحتراق على الأقل ثلاثة أضعاف مساحة مقطع حلق المنفث.

مساحة مقطع غرفة الإحتراق تعطى ب:

$$A_c = \pi D_c^2/4 \qquad (20)$$

وحجم غرفة الإحتراق يعطى ب :

$$V_c = A_c L_c + \text{convergent volume}$$

لغرفة إحتراق صغيرة حجم المقطع اللاّم للمنفث يكون حوالي عشر 1/10 حجم الجزء الأسطواني لغرفة الإحتراق, ولذلك :

$$V_c = 1.1(A_c L_c) \qquad (21)$$

قطرغرفة الإحتراق لغرفة إحتراق صغيرة (قوة دفع أقل من 75 رطل) يجب أن يكون ثلاثة الى خمس أضعاف قطر مقطع الحلق ليسمح بإستخدام مساحة وجه مفيدة للحاقن.

# هل تصلي ركعتي الضحى

عَنْ أَبي هُريرةَ رَضِيَ اللهُ عَنْهُ قَالَ : « أَوْصَانِي خَلِيلِي صَلَّى اللهُ عَلَيهِ وَسَلَّمَ بِصِيَامِ ثَلاثَةَ أَيَامٍ مِنْ كُلِّ شَهْرٍ ، وَرَكْعَتَي الضُّحَى ، وَأَنْ أُوتِرَ قَبْلَ أَنْ أَرْقُدَ » . أخرجه الخمسة

وعن أبي ذر رضي الله عنه عن النبي صلى الله عليه وسلم قال: "يصبح على كل سلامي من أحدكم صدقة، فكل تسبيحة صدقة، وكل تحميدة صدقة، وكل تهليلة صدقة، وكل تكبيرة صدقة، وأمر بالمعروف صدقة، ونهي عن المنكر صدقة، ويُجزيء من ذلك ركعتان يركعهما من الضحى" رواه مسلم

## سماكة حائط غرفة الإحتراق :

غرفة الإحتراق يجب أن تكون قادرة على تحمّل الضغط الداخلي للغازات الناتجه عند الإحتراق.ويجب أن تكون أيضاً متصلة فيزيائيا بسترة التبريد ,ولذلك, يجب أن يكون حائط غرفة الإحتراق بالسماكة الكافية وذلك لوجود عمليات اللحام .بما أنّ غرفة الإحتراق سوف تكون أسطوانيه مجوّفة, فإنّ الإجهاد العامل في الحائط يعطى ب:

$$S = PD/2t_w \qquad (22)$$

حيث P هو الضغط داخل غرفة الإحتراق (بإهمال تأثير ضغط المبرد في غلاف (سترة) التبريد , D هو متوسط قطر الأسطوانة, $t_w$ هو سمك الأسطوانة. المعدن النموذجي لغرفة إحتراق مبرّده بالماء هو النحاس الأحمر copper, والذي إجهاده العامل المسموح به allowable working stress مقداره حوالي 8000 psi. يتبع ذلك أن سمك جدار غرفة الإحتراق $t_w$ يعطى ب :

$$t_w = PD/16000 \qquad (23)$$

هذا هو السمك الأدنى؛ فعلياً يجب أن يكون هذا السمك أكبر للسماح بعمليات اللحام ,التحميل وتركيز الإجهادات . سمك غرفة الإحتراق و سمك المنفث في العادة يكونان متساويان في القيمة .

المعادلة 22 يمكن أيضاً إستخدامها لحساب سمك الحائط لسترة التبريد.هنا أيضا قيمة $t_w$ هي الحد الأدنى نسبة لأن عملية اللحام و متطلبات التصميم (مثل أخاديد O-ring ) تتطلب في العادة سمكاً أكبر من تلك التي تم حسابها من معادلة الإجهاد. يجب ملاحظة أنه يتم إستخدام إجهاد عامل مسموح به ذو قيمة مختلفة في المعادلة 22 إعتماداً على المعدن المستخدم في سترة التبريد.

# التقوى

﴿ إِنَّ ٱلۡمُتَّقِينَ فِي جَنَّٰتٖ وَعُيُونٍ ﴿٤٥﴾ ﴾ الحجر: ٤٥

قال علي بن أبي طالب رضي الله عنه : (التقوى هي الخوف من الجليل ، والعمل بالتنزيل ، والقناعة بالقليل ، والإستعداد ليوم الرحيل)

قال ابن مسعود رضي الله عنه في قوله تعالى : ( اتَّقُوا اللَّهَ حَقَّ تُقَاتِهِ وَلا تَمُوتُنَّ) آل عمران :102
قال : أن يطاع فلا يعصي ويذكر فلا ينسى وأن يشكر فلا يكفر.

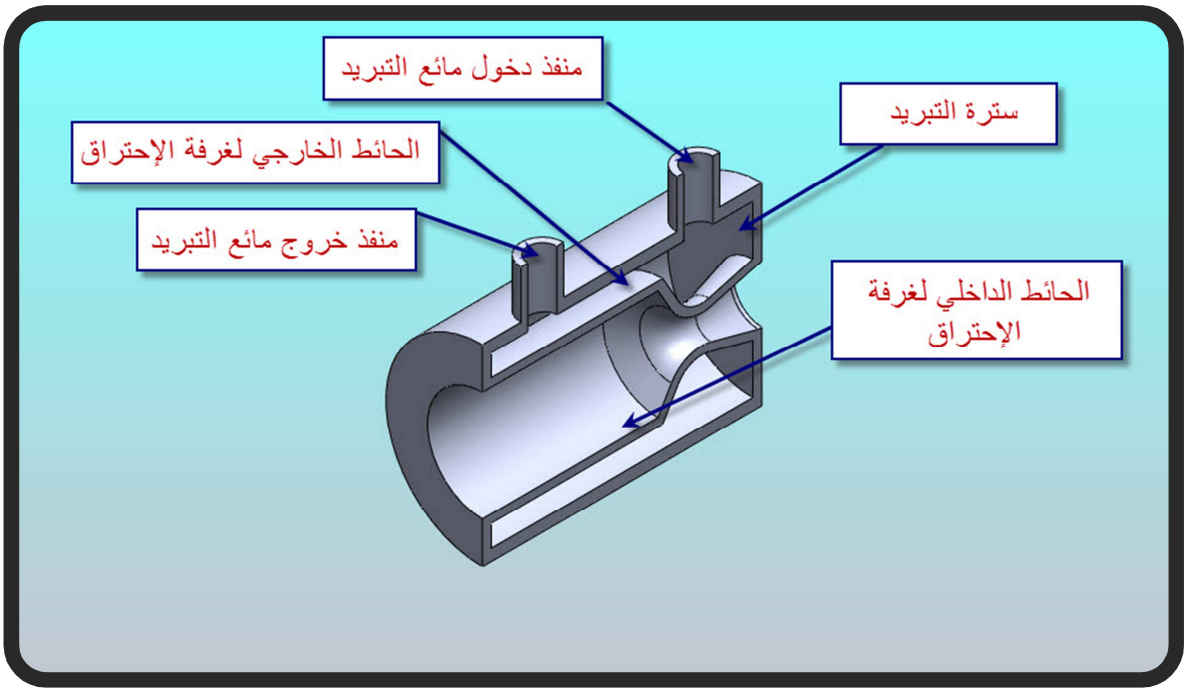
وقال طلق بن حبيب رحمه الله : التقوى أن تعمل بطاعة الله على نور من الله ترجو ثواب الله وأن تترك معصية الله على نور من الله تخاف عقاب الله.

﴿ جَنَّٰتُ عَدۡنٖ يَدۡخُلُونَهَا تَجۡرِي مِن تَحۡتِهَا ٱلۡأَنۡهَٰرُۖ لَهُمۡ فِيهَا مَا يَشَآءُونَۚ كَذَٰلِكَ يَجۡزِي ٱللَّهُ ٱلۡمُتَّقِينَ ﴿٣١﴾ ﴾ النحل: ٣١

## تبريد المحرّك :

يجب مراعاة تبريد محرك الصاروخ وذلك لأنها قد تعمل لزمن طويل وهذا يحتاج الى علم هندسة إنتقال الحرارة و الكتلة. سترة التبريد يجب أن تزوّد كل قطع المعادن التي لها إتصال بالغازات المحترقه. الحاقن في العادة يكون مبرَّدا- ذاتيا بواسطة الدوافع التي تسري عبره. غرفة الإحتراق و منفث الصاروخ بالتأكيد لابد من تبريدهما.

تسمح سترة التبريد بتدوير المبرّد والذي هو في حالة التحليق يكون عادة هو أحد الدوافع (الوقود أوالمؤكسد). ولكن عند الإختبار الإستاتيكي (يتم فيه تثبيت المحرك) يتم عادة إستخدام الماء كمبرّد. تتكون سترة التبريد من حائط داخلي و خارجي (رسم توضيحي 8). تمثل غرفة الإحتراق الجزء الداخلي بينما يمثل الحائط الخارجي أسطوانه متحدة المركز (لها نفس المحور) مع غرفة الإحتراق .يعمل الفضاء بين الحائطين كمجرى للمبرِّد. منطقة الحلق للمنفث عادة تكون عندها أقصى كثافة إنتقال حرارة ولذلك تكون أصعب منطقة يتم تبريدها .




**رسم توضيحي 8 : نظام التبريد لمحرك صاروخي صغير**

الطاقة المحرّره لوحدة حجم غرفة الإحتراق لمحرك الصاروخ تكون عالية, ويمكن أن تصل الى 250 مرة ضعف غلاية بخار أو خمس أضعاف غرفة إحتراق محرك توربين غازي.
معدّل إنتقال الحرارة لمحرّك الصاروخ يكون عادة 20 الى 200 ضعف ذلك الذي في غلاية تعمل جيدا. ولذلك يظهر,تبعا لذلك, أن عملية تبريد محرّك الصاروخ عملية صعبة وتتطلب مجهود كبير. عملية تصميم إنتقال حرارة كاملة لمحرّك صاروخي هي عملية معقّده وعادة ما تكون أبعد من إمكانيات ذوي الإمكانيات المحدودة. مع ذلك بعض التوجيهات المهمة في عملية التصميم تم إِدرجُها في الأسفل :

1) إستخدام الماء كمبرّد .
2) إستخدام النحاس الأحمر copper كمعدن لغرفة الإحتراق و منفث الصاروخ.
3) سرعة سريان الماء في سترة التبريد ينبغي أن تكون 20 الى 50 قدم في الثانية.
4) معدّل سريان الماء يجب أن يكون كفاية حتى لا يحدث غليان للماء.
5) عمل إمتداد لسترة التبريد الى ما بعد وجه الحاقن .
6) يجب أن يكون معدل السريان الماء رتيباً (ثابت و لا يتغيّر مع الزمن).

# الجهاد

﴿ أَمْ حَسِبْتُمْ أَن تَدْخُلُوا۟ ٱلْجَنَّةَ وَلَمَّا يَعْلَمِ ٱللَّهُ ٱلَّذِينَ جَٰهَدُوا۟ مِنكُمْ وَيَعْلَمَ ٱلصَّٰبِرِينَ ﴿١٤٢﴾ ﴾ آل عمران: ١٤٢ ﴿ لَّا يَسْتَوِى ٱلْقَٰعِدُونَ مِنَ ٱلْمُؤْمِنِينَ غَيْرُ أُو۟لِى ٱلضَّرَرِ وَٱلْمُجَٰهِدُونَ فِى سَبِيلِ ٱللَّهِ بِأَمْوَٰلِهِمْ وَأَنفُسِهِمْ ۚ فَضَّلَ ٱللَّهُ ٱلْمُجَٰهِدِينَ بِأَمْوَٰلِهِمْ وَأَنفُسِهِمْ عَلَى ٱلْقَٰعِدِينَ دَرَجَةً ۚ وَكُلًّا وَعَدَ ٱللَّهُ ٱلْحُسْنَىٰ ۚ وَفَضَّلَ ٱللَّهُ ٱلْمُجَٰهِدِينَ عَلَى ٱلْقَٰعِدِينَ أَجْرًا عَظِيمًا ﴿٩٥﴾ ﴾ النساء: ٩٥ ﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُوا۟ ٱتَّقُوا۟ ٱللَّهَ وَٱبْتَغُوٓا۟ إِلَيْهِ ٱلْوَسِيلَةَ وَجَٰهِدُوا۟ فِى سَبِيلِهِۦ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ ﴿٣٥﴾ ﴾ المائدة: ٣٥ ﴿ ٱلَّذِينَ ءَامَنُوا۟ وَهَاجَرُوا۟ وَجَٰهَدُوا۟ فِى سَبِيلِ ٱللَّهِ بِأَمْوَٰلِهِمْ وَأَنفُسِهِمْ أَعْظَمُ دَرَجَةً عِندَ ٱللَّهِ ۚ وَأُو۟لَٰٓئِكَ هُمُ ٱلْفَآئِزُونَ ﴿٢٠﴾ ﴾ التوبة: ٢٠ ﴿ ٱنفِرُوا۟ خِفَافًا وَثِقَالًا وَجَٰهِدُوا۟ بِأَمْوَٰلِكُمْ وَأَنفُسِكُمْ فِى سَبِيلِ ٱللَّهِ ۚ ذَٰلِكُمْ خَيْرٌ لَّكُمْ إِن كُنتُمْ تَعْلَمُونَ ﴿٤١﴾ ﴾ التوبة: ٤١ ﴿ وَجَٰهِدُوا۟ فِى ٱللَّهِ حَقَّ جِهَادِهِۦ ۚ هُوَ ٱجْتَبَىٰكُمْ وَمَا جَعَلَ عَلَيْكُمْ فِى ٱلدِّينِ مِنْ حَرَجٍ ۚ مِّلَّةَ أَبِيكُمْ إِبْرَٰهِيمَ ۚ هُوَ سَمَّىٰكُمُ ٱلْمُسْلِمِينَ مِن قَبْلُ وَفِى هَٰذَا لِيَكُونَ ٱلرَّسُولُ شَهِيدًا عَلَيْكُمْ وَتَكُونُوا۟ شُهَدَآءَ عَلَى ٱلنَّاسِ ۚ فَأَقِيمُوا۟ ٱلصَّلَوٰةَ وَءَاتُوا۟ ٱلزَّكَوٰةَ وَٱعْتَصِمُوا۟ بِٱللَّهِ هُوَ مَوْلَىٰكُمْ ۖ فَنِعْمَ ٱلْمَوْلَىٰ وَنِعْمَ ٱلنَّصِيرُ ﴿٧٨﴾ ﴾ الحج: ٧٨

﴿ أَمْ حَسِبْتُمْ أَن تُتْرَكُوا۟ وَلَمَّا يَعْلَمِ ٱللَّهُ ٱلَّذِينَ جَٰهَدُوا۟ مِنكُمْ وَلَمْ يَتَّخِذُوا۟ مِن دُونِ ٱللَّهِ وَلَا رَسُولِهِۦ وَلَا ٱلْمُؤْمِنِينَ وَلِيجَةً ۚ وَٱللَّهُ خَبِيرٌۢ بِمَا تَعْمَلُونَ ﴿١٦﴾ ﴾ التوبة: ١٦

## إنتقال الحرارة:

معظم إنتقال الحرارة من الغازات الساخنة الي حوائط غرفة الإحتراق يكون عن طريق آلية الحمل. مقدار إنتقال الحرارة عن طريق آلية التوصيل هو مقدار قليل و ذلك الذي عن طريق الإشعاع عادة يكون أقلّ من 25% من إنتقال الحرارة الكلي. يجب أن تحفظ جدران غرفة الإحتراق عند درجة حرارة بحيث يكون لمعدن حوائط الغرفة القوة الكافية لمنع الفشل. فشل المعدن ينتج إما عن طريق رفع درجة الحرارة لجدار الغرفة في الجهة الملامسة للغازات (بحيث تضعف,تصهر, أو تُضِر بمعدن الحائط) أو رفع درجة الحرارة لجدار الغرفة في الجهة الملامسة للمبرِّد بحيث يتبخّر السائل المبرّد الملامس للجدار. هذا الفشل الناتج هو بسبب الإرتفاع الحاد في درجة الحرارة في جدران الغرفة والذي سببه إنتقال الحرارة الكثيف الي المبرِّد الذي يغلي.

في الغرفة المبرّده مائياً يمتص الماء الحرارة المنتقلة. يجب أن يكون للماء سعة حرارية كافيه لمنع الغليان في أي نقطة في سترة التبريد. الكمية الكُلّيَّه للحرارة المنتقله تعطى ب:

$$Q = q\,A = w_w\,c_p\,(T - T_i) \qquad (24)$$

where

| | | |
|---|---|---|
| $Q$ | = | total heat transferred, Btu/sec |
| $q$ | = | average heat transfer rate of chamber, Btu/in$^2$-sec |
| $A$ | = | heat transfer area, in$^2$ |
| $w_w$ | = | coolant flow rate, lb/sec |
| $c_p$ | = | specific heat of coolant, Btu/lb F |
| $T$ | = | temperature of coolant leaving jacket, F |
| $T_i$ | = | temperature of coolant entering jacket, F |

## المعادن :

حوائط غرفة الإحتراق و منفث الصاروخ يجب أن يتحمّلان درجة الحرارة العالية نسبياً ,سرعة الغازات العاليه نسبياً , التآكل الكيميائي , والإجهاد العالي. ويجب على معدن

الحوائط أن يكون قادراً على تحمل معدل إنتقال الحرارة العالي (مما يعني موصليّه حرارية جيّده) و في نفس الوقت يجب أن يتحمّل الضغط العالي لغرفة الإحتراق. متطلبات المعدن تكون ضرورية جداً فقط في تلك الأجزاء التي لها إتصال مباشر مع غازات الإحتراق أما بقية أجزاء المحرّك يمكن صنعها من المواد التقليديه.

عندما يبدأ معدن الحوائط بالفشل في محرّك الصاروخ أثناء عمله, يكون الدمار بتكرار عالي. حتى ثقب صغير في جدار غرفة الإحتراق سوف يبدأ فورياً (في ثواني) بفتح ثقب كبير وذلك لأن غازات غرفة الإحتراق الساخنه (4000 – 6000 F) ستُؤكسد أو تَصهر المعدن الملاصق القريب, والذي سوف سوف ينزاح بعيداً معرِّضا جزء جديد من المعدن للغازات الساخنة.

تستخدم معادن نادرة وتقنيات تصنيع صعبة في الفضاء ومحركات الصواريخ اليوم لتوفير بِنْيَة خفيفة الوزن للغاية المطلوبة لإطلاق مركبة كفاءة والطيران. هذه المعادن والتقنيات المتقدمة بعيدة وخارج متناول ذوي الإمكانيات المحدوده. ومع ذلك، فإنّ استخدام المعادن وتقنيات التصنيع الأكثر شيوعاً (وأقل تكلفة بكثير!) من الممكن تماماً، إلاّ أنه لن ينتج المحرك ذو الوزن الخفيف. تجربة مجموعة متنوعة و واسعة من تصاميم محرك صاروخ يؤدي الى التوصيات التالية لمحركات الصواريخ الصغيرة :

1) ينبغي تشكيله غرفة الاحتراق والمنفث في قطعة واحدة، من النحاس الأحمر copper.
2) ينبغي أيضا تلك الأجزاء للحاقن التي لها اتصال مع غرفة الغازات الساخنة أن يتم تشكيلها من النحاس الأحمر.
3) ينبغي لسترة التبريد وتلك الأجزاء للحاقن التي ليس لها اتصال مع الغازات الساخنة ، أن تشكّل من النحاس الاصفر او الفولاذ المقاوم للصدأ stainless steel.
4) العمل ذو الخبرة في التشكيل و اللحام يعتبر ضرورياً لإنتاج محرك صاروخ آمن وقابل للإستخدام.

# صبراً أهل فلسطين

عَنْ أَبِي أُمَامَةَ قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صلى الله عليه وسلم: "لَا تَزَالُ طَائِفَةٌ مِنْ أُمَّتِي عَلَى الْحَقِّ ظَاهِرِينَ لَعَدُوِّهِمْ قَاهِرِينَ لَا يَضُرُّهُمْ مَنْ خَالَفَهُمْ إِلَّا مَا أَصَابَهُمْ مِنْ لَأْوَاءَ حَتَّى يَأْتِيَهُمْ أَمْرُ اللَّهِ وَهُمْ كَذَلِكَ". قَالُوا: يَا رَسُولَ اللَّهِ، وَأَيْنَ هُمْ؟ قَالَ" :بِبَيْتِ الْمَقْدِسِ وَأَكْنَافِ بَيْتِ الْمَقْدِسِ" مسند الإمام أحمد (22320)

عن معاوية، رضي الله عنه، قال: سَمِعْتُ النَّبِيَّ صلى الله عليه وسلم يَقُولُ: "لَا يَزَالُ مِنْ أُمَّتِي أُمَّةٌ قَائِمَةٌ بِأَمْرِ اللَّهِ لَا يَضُرُّهُمْ مَنْ خَذَلَهُمْ وَلَا مَنْ خَالَفَهُمْ حَتَّى يَأْتِيَهُمْ أَمْرُ اللَّهِ وَهُمْ عَلَى ذَلِكَ." البخاري (3641) ومسلم (1037)

## الحواقن :

وظيفة الحاقن هي نفث الدوافع الى غرفة الاحتراق بالطريقة التي يمكن أن تضمن الاحتراق بكفاءة .هنالك نوعان من الحواقن تستخدم في تصميم محرك صاروخي صغير. واحدة من هذه الأنواع هي حواقن التيار المتصادمه Impinging Stream و التي تحقن الوقود والمؤكسد من خلال عدد من الثقوب المنفصلة بحيث ينجم عن ذلك من تيارات تتقاطع مع بعضها البعض. تيار الوقود سوف يصطدم مع تيار مؤكسد وكلاهما سوف يتفكك الى قطرات صغيرة عند إستخدام غاز الأكسجين كمؤكسد و إستخدام الوقود الهيدروكربوني السائل كوقود. إصطدام تيار السائل مع تيار الغاز ذو السرعة العالية ينتج عنه إحتراق جيِّد و ذو كفاءة. ومن مساوئ هذا النوع من الحقن هو أن هناك حاجة ماسَّه لثقوب صغيرة للغاية لمعدلات تدفق لمحرك صغير و الخصائص الهيدروليكية والمعادلات التي تستخدم عادة للتنبؤ بأداء الحاقن لا تعطي نتائج جيدة لفتحات صغيرة. الثقوب الصغيرة هي أيضا من الصعب حفرها ، وخاصة في النحاس الناعم soft copper.

ومع ذلك، لتوفير صورة كاملة من المعادلات المستخدمة في تصميم محرك الصاروخ، نقدِّم أدناه المعادلة لتدفق السائل من خلال فتحة بسيطة (حفر ثقوب مستديرة، على سبيل المثال)

$$w = C_d A \sqrt{2g\rho\Delta P} \qquad (25)$$

where

| | | |
|---|---|---|
| $w$ | = | propellant flow rate, lb/sec |
| $A$ | = | area of orifice, $ft^2$ |
| $\Delta P$ | = | pressure drop across orifice, $lb/ft^2$ |
| $\rho$ | = | density of propellant, $lb/ft^3$ |
| $g$ | = | gravitational constant, 32.2 $ft/sec^2$ |
| $C_d$ | = | orifice discharge coefficient |

معامل أداء فوهة بسيطة عادة ما يكون على شكل قيمة بين 0.5 و 0.7. سرعة الحقن ، أو سرعة تدفق السائل الصدار من الفوهة يعطى ب :

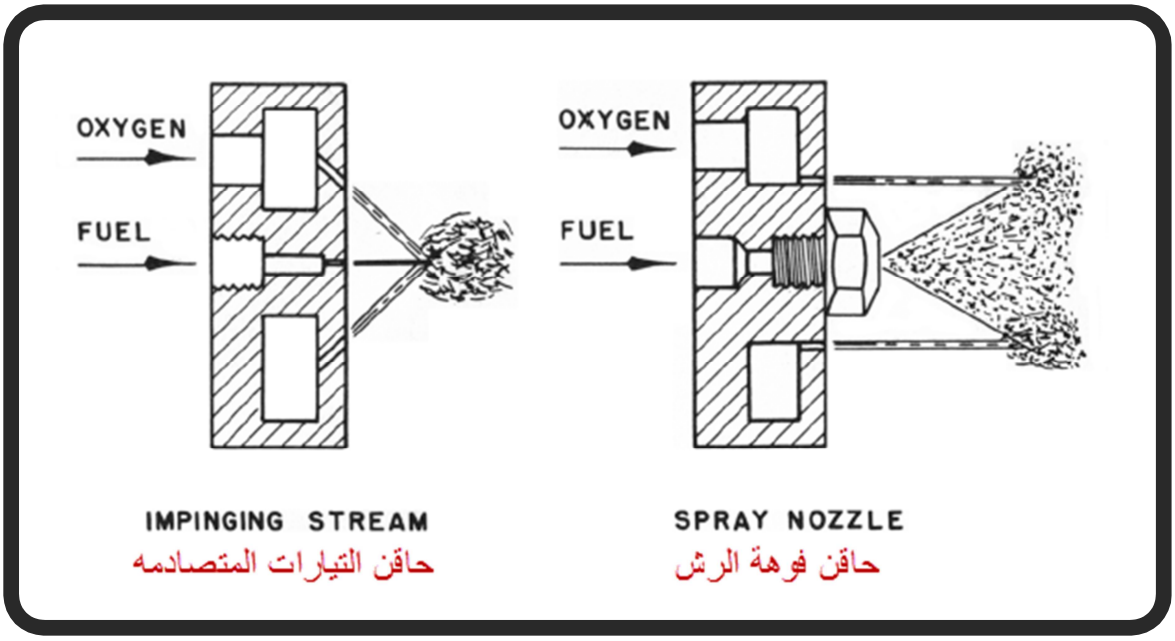
$$v = C_d \sqrt{2g\ (\Delta P/\rho)} \qquad (26)$$

الهبوط في ضغط (قبل و بعد الحقن) بين 70 و 150 رطل / بوصة مربعة، أو سرعات حقن بين 50 حتي 100 قدم / ثانية عادة ما تستخدم في الصواريخ ذات الوقود السائل ذات المحركات الصغيرة.

يجب أن يكون هبوط ضغط الحقن مرتفعاً بما يكفي للقضاء على عدم الاستقرار الاحتراق داخل غرفة الاحتراق ولكن يجب أن لا يكون مرتفعاً جداً بحيث يشكل حِمْل عالي على نظام ضغط الدوافع (سيتم توضيحه في باب آخر) الذي يستخدم لإمداد الوقود الى الحاقن.

هناك نوع ثان من الحاقن هو فوهة الرذاذ spray nozzle والذي يمكن الحصول عليها مخروطي الشكل، مخروط صلب، مخروط أجوف، أو أي نوع آخر. عندما يدفع الوقود الهيدروكربوني السائل من خلال فوهة الرذاذ (مماثلة لتلك المستخدمة في المولدات المنزلية التي تعمل بالزيت) تختلط بسهولة قطرات الوقود الناتج مع الاوكسجين الغازي والخليط الناتج يتبخر ويحترق بسهولة.

فوهات الرش جذابة وخاصة لأن عدة شركات تصنعها تجاريا للمولدات المنزلية التي تعمل بالزيت وغيرها من التطبيقات. يجب فقط تحديد خصائص وحجم الرش المطلوبة لتصميم المحرك وعند ذلك يمكن شراء فوهة الرذاذ المناسبة بتكلفة منخفضة. الرسم التوضيحي 9 يوضِّح هذين النوعين من طرق الحقن.




**رسم توضيحي 9 : أنواع حواقن الوقود المستخدمه في محرّك صاروخي صغير نسبيا**

يُنصح بِشدَّة استخدام فوهات الرش التجارية لمحركات الصواريخ المحلية أو المنزلية الصنع.