

Το πρόβλημα της προώθησης των πυραύλων*

*Υπό ΣΤΕΦΑΝΟΥ ΑΝ. ΚΩΝΣΤΑ

Ο πύραυλος είναι μία συσκευή ή όποια επιταχύνεται έκτοξεύουσα ρεύμα αερίων μεγάλης ταχύτητας από ειδικώς κατασκευασμένον άκροφύσιον.

Ο πύραυλος διαφέρει του αεριωθούμενου κατά το ότι περιέχει το απαιτούμενον διά την καύσιν όξειδωτικών, ενώ το αεριωθούμενον χρησιμοποιεί ως όξειδωτικόν το όξυγόνον της ατμοσφαιρας. Η κίνησις δηλαδή του πυραύλου είναι ανεξάρτητος της ατμοσφαιρικής πιέσεως, άποτελεί δε ούτος την μόνην δυναμένην να κινηθῆ εις το κενόν άέρος διάστη-μα συσκευής.

Ίστορία

Οι πρώτοι πύραυλοι ένεφανίσθησαν κατά τον 10ον αιώνα μ. Χ. εις την Κίνα. Το χρησιμοποιηθέν προωθητικόν ήτο ή μαύρη πυρίτις. Εις την Εύρω-πην έχρησιμοποιήθησαν διά πολεμικούς σκοπούς τον 14ον και 15ον αιώνα. Τα πυροβόλα όπλα τους εξετόπισαν μέχρι των άρχων του 19ου αιώνος, ό-πότε έπανεμφανίζονται ως τακτικόν όπλον των Άγγλων οι όποιοι τους μετεχειρίσθησαν εις εύρυ-τάτην κλίμακα. Έχει παραμείνει ιστορικός ό βομ-βαρδισμός της Κοπεγχάγης υπό του Άγγλικού στόλου το 1807, κατά τον όποιον έχρησιμοποιή-θησαν 40 000 πύραυλοι και ειχεν ως άποτέλεσμα την καταστροφήν όλοκλήρων συνοικιών της πόλεως και τον φόνον 2 000 και πλέον κατοίκων. Ούστοςον ή τελειοποίησις των τηλεβόλων έθεσεν εκ νέου εις το περιθώριον τους πυραύλους περι το τέλος του 19ου αιώνος. Παράλληλα όμως ο Ρώσος Tziolkowsky έθετε το όλον πρόβλημα των πυραύλων επί νέων βάσεων. Μεταξύ άλλων ύπεγράμμισεν ότι οι πύραυλοι άποτελούν το μόνον μέσον κινήσεως εις το διάστημα και έπρότεινε την αντικατάστασιν των στερεών προωθητικών από υγρά. Τας ιδέας αυτάς του Ρώσου έπιστήμονος υιοθέτησεν ο Άμε-ρικανός φυσικός Goddard, ό όποιος ήρχισε σειράν πειραμάτων το 1926 χρησιμοποιών βενζίνη και ύ-γρον όξυγόνον και κατώρθωσε το 1935 να εξαπο-στείλη πύραυλον άρχικου βάρους 40 kg* εις ύψος 2 750 μέτρων. Το ίδιον έτος, 1935, ιδρύθη το γερ-μανικόν κέντρον έρευνών εις Peenemünde από όπου το 1942, εκτοξεύθη πύραυλος μήκους 14 μέτρων, άρχικου βάρους 12,5 τόννων, φέρων γόμωσιν 975 kg*, ό όποιος διήνυσεν απόστασιν 270 χιλιομέ-τρων. Πρόκειται περι του γνωστού V-2, του ό-ποίου διετάχθη άμέσως ή μαζική παραγωγή ενώ συγχρόνως έμελετάτο ή κατασκευή άλλου διορόφου πυραύλου βεληνεκούς 5-6 000 χιλιομέτρων με τον όποιον εκτόπευον να βομβαρδίσουν την Άμερικήν.

* Διάλεξις γενομένη υπό του κ. Στ. Κώνστα εις το μεγά-λον άμφιθέατρον του Χημείου την 2αν Μαΐου 1958, όργα-νωθείσα υπό του Δ.Σ. της Ε.Ε.Χ. και της Σ.Ε. των Χ.Χ.

Η κατάρρευσις του 1945 διέκοψε τας προσπάθειάς αυτάς. Η βάση του Peenemünde διελύθη και οι έπιστήμονες διεσκορπίσθησαν. Έν τώ μεταξύ αι Μεγάλοι Δυναμεις ήρχισαν να διαθέτουν τεράστια ποσά διά την τελειοποίησιν των πυραύλων, γεγο-νός το όποιον ειχεν ως άποτέλεσμα μίαν τόσον ρα-γδαίαν πρόοδον ώστε οι πύραυλοι να άποτελούν σήμερον το κυριώτερον πεδίο έπιστημονικου και πολεμικου άνταγωνισμού των δύο παρατάξεων.

Είναι εύνόητον ότι πολλά από τα πορίσματα των έρευνών τηροϋνται μυστικά. Παρ' όλα ταύτα ή σχετική βιβλιογραφία είναι άρκετά όγκώδης, του-λάχιστον όσον χρειάζεται διά να άποκτήση κανείς μίαν πολύ καλήν αντίληψιν των έπιτευγμάτων και επιδιώξεων της νέας αυτής έπιστήμης.

Γενικά χαρακτηριστικά (4) (13)

Η άξία ενός καυσίμου μίγματος ως προωθητι-κου κρίνεται από την ώστικήν δύναμιν την όποιαν αναπτύσσει καιόμενον ανά μονάδα βάρους και ανά δευτερόλεπτον. Η άξία αυτή ονομάζεται ειδική ώ-στική δύναμις (specific impulse), μετράται εις το άγγλοσαξωνικόν σύστημα μονάδων εις lbs ώστ. δυνάμεως /lbs μίγματος/ sec ή άπλως sec και συμ-βολίζεται ως I_s .

Έχομεν λοιπόν εξ όρισμού:

$$I_s = \frac{F}{\frac{dW}{dt}} = \frac{F}{\frac{dmg}{dt}} = \frac{v \frac{dm}{dt}}{g \frac{dm}{dt}} = \frac{v}{g} \quad (I)$$

Ένθα F : ώστική δύναμις

m : μάζα εκτοξευομένων αερίων

t : χρόνος

v : ή ταχύτης των αερίων εις το άκροφύσιον

g : ή επιτάχυνσις της βαρύτητος

Κατά την λειτουργίαν του πυραύλου λαμβάνει χώραν μία άδιαβατική καύσις δημιουργούσα άέρια ύψηλης θερμοκρασίας T_1 πιέσεως P_1 και όγκου V_1 (ίσου με τον όγκον του θαλάμου καύσεως), και έν συνεχεία μία άδιαβατική εκτόνωσις των αερίων διά του άκροφυσίου εις την κατάστασιν T_2, P_2, V_2 . Έάν θεωρήσωμεν ότι τα άέρια συμπεριφέρονται ιδανικώς και ότι ή ταχύτης των εντός του θαλάμου καύσεως είναι ίση με μηδέν, λαμβάνομεν διά την ταχύτητα v των εκτοξευομένων αερίων την σχέση (7):

$$v = \sqrt{2R \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{T_1}{M} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (II)$$

Αντικαθιστώντες την τιμήν αυτήν εις τον τύ-πον (I) λαμβάνομεν:

$$I_s = \frac{\sqrt{2R}}{g} \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{T_1}{M} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (III)$$

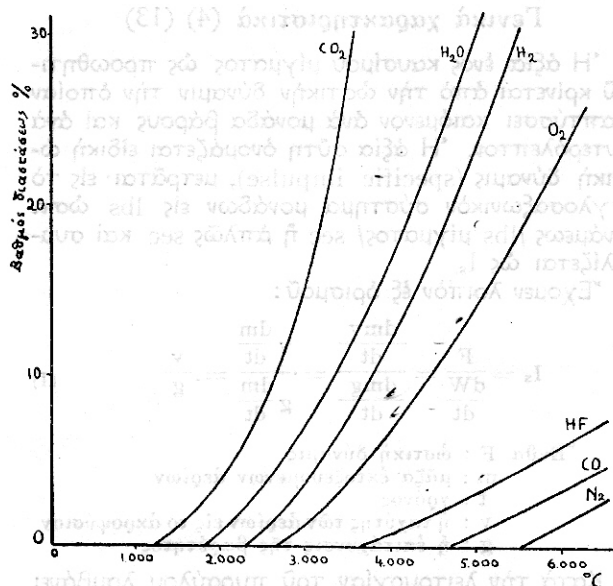
ένθα M είναι το μέσον μοριακών βάρους και γ ή μέση τιμή του λόγου $\frac{C_P}{C_V}$ του μίγματος των έκτοξευμένων αερίων.

Εκ τής διερευνησεως του τύπου (III) προκύπτει ότι υπό σταθεράν πίεσιν έντός του θαλάμου καύσεως ή λαμβανομένη I_s είναι τόσον μεγαλύτερα όσον ύψηλοτέρα θερμοκρασία αναπτύσσεται κατά την καύσιν και όσον χαμηλοτέρα τιμήν έχουν το μέσον μοριακών βάρους και το μέσον γ των προϊόντων τής καύσεως.

Εξετάζοντες έκαστον εκ των τριών τούτων παραγόντων κεχωρισμένως παρατηρούμεν τὰ εξής:

1. Διά νά έχωμεν έκλυσιν μεγάλων ποσών θερμότητος κατά την αντίδρασιν, πρέπει αϊ αρχικαί ένώσεις νά έχουν μικράν ή καλύτερον άρνητικην θερμότητα σχηματισμού, ένῶ αντίθετως, τὰ προϊόντα τής καύσεως θά πρέπει νά είναι ισχυρώς έξώθερμι ένώσεις. Το ύψος όμως τής θερμοκρασίας περιορίζεται:

α. Από το γεγονός ότι, ως εμφανίζεται από το σχήμα 1, ήδη από τους 2.000°C αρχίζει νά ση-



Σχ. 1. Βαθμὸς διασπάσεως αερίων τινῶν ἀπαντῶντων εἰς τὸ ἐκτινασσόμενον διὰ τοῦ ἀκροφυσίου αερίου μίγμα συναρτῆσει τῆς θερμοκρασίας, ὑπὸ πίεσιν $P=35$ ἀτμ.

μιοῦται σημαντικὴ διάστασις τῶν προϊόντων τῆς καύσεως, ἡ ὁποία γίνεται ὑπὸ ἀπορρόφησιν μεγάλων ποσῶν θερμότητος καὶ αὐξάνει ταχύτατα αὐξανόμενης τῆς θερμοκρασίας.

β) Παρά τὴν έξωτερικὴν ψύξιν τοῦ θαλάμου καύσεως, οὔτος δὲν δύναται νά ἀνθέξῃ εἰς έξωτερικὴν θερμοκρασίαν ἀνωτέραν τῶν 3.500°C περίπου.

2. Ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὴν μέσην τιμὴν τοῦ μοριακοῦ βάρους τῶν προϊόντων καύσεως, ἡ θεωρητικῶς κατωτέρα τιμὴ διὰ τὴν περίπτωσιν κατὰ τὴν ὁποίαν θά ἐχρησιμοποιεῖτο ὡς προωθητικὸν ἀτομικὸν ὕδρογόνον εἶναι 1,5-2. Ἡ πρακτικῶς ἐπιτυγχανομένη σήμερον μέση τιμὴ M_B κυμαίνεται μεταξὺ 19-25 ἐνῶ

ΠΙΝΑΞ I. Τυπικὴ σύνθεσις κατ' ὄγκον % καὶ μέσον μοριακὸν βάρους προϊόντων καύσεως

O_2 +βενζίνη		O_2 +αιθανόλη		F_2 +άμμωνία	
CO ₂	10,6	CO ₂	13,8	HF	67,6
CO	37,7	CO	27,0	H ₂	4,1
H ₂ O	30,9	H ₂ O	41,0	N ₂	13,7
H ₂	13,9	H ₂	10,3	H	8,5
H	3,1	H	2,5	F	5,4
CH	2,9	OH	3,8	N	0,7
O ₂	0,4	O ₂	1,0		
O	0,4	O	0,6		
M.B.	21,8	M.B.	22,3	M.B.	18,7

ή χαμηλοτέρα τιμὴ 8,9 ἔχει ἐπιτευχθῆ με μίγμα ὕδρογόνου - φθορίου με περίσσειαν ὕδρογόνου εἰς τὴν ἀναλογίαν ἡ ὁποία δίδει τὴν ὑψηλοτέρα I_s .

3. Διὰ τὴν μέσην τιμὴν τοῦ γ τέλος εἶναι γνωστόν ὅτι ἔχει τιμὴν πάντοτε μεγαλύτεραν τῆς μονάδος ἡ ὁποία ἐλαττοῦται αὐξανόμενον τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ἀτόμων τὰ ὁποία συνθέτουν τὸ μόριον, συνθήκη ἡ ὁποία ἐρχεται εἰς κάποιαν ἀντίθεσιν με τὸν ἀνωτέρω τεθέντα περιορισμὸν εἰς τὴν τιμὴν τοῦ μοριακοῦ βάρους.

Εἰς τὸν παρατιθέμενον πίνακα II δίδονται αἱ λαμβανόμεναι τιμαὶ θερμοκρασίας, μοριακοῦ βάρους, γ , καὶ εἰδικῆς ὠστικῆς δυνάμεως κατὰ τὴν ἀντίδρασιν μερικῶν ἐκ τῶν συνηθεστέρων προωθητικῶν μιγμάτων ὑπὸ πίεσιν 35 Atm.

Ἐκ τῆς ἀνωτέρω διερευνησεως καθίσταται σαφές ὅτι καὶ οἱ τρεῖς ξετασθέντες παράγοντες ἔχουν ὅρια τὰ ὁποία, με τὰ σημερινὰ δεδομένα, δὲν δύναμεθα νά ὑπερβῶμεν καὶ κατὰ συνέπειαν ὑπάρχει φραγμὸς εἰς τὸ ὕψος τῆς εἰδικῆς ὠστικῆς δυνάμεως τὸ ὁποῖον εἶναι δυνατόν νά ἐπιτύχωμεν. Πάντως, αἱ πρακτικῶς λαμβανόμεναι τιμαὶ εὐρίσκονται ἀκόμη αἰσθητῶς χαμηλότερα τοῦ φραγμοῦ αὐτοῦ, ὑπάρχει δηλαδὴ περιθώριον βελτιώσεως τῶν χημικῶν προωθητικῶν.

Ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὴν ἐπίδρασιν τῆς πίεσεως ἐν-

ΠΙΝΑΞ II. Τιμαὶ θερμοκρασίας θαλάμου καύσεως T , μοριακοῦ βάρους M_B , γ , καὶ εἰδικῆς ὠστικῆς δυνάμεως I_s , λαμβανόμεναι παρὰ συνηθῶν τινῶν προωθητικῶν ὑπὸ πίεσιν λειτουργίας 35 ἀτμοσφαιρῶν.

Ὁξειδωτικὸν	Καύσιμον	T °C	M_B	γ	I_s
H ₂ O ₂	Βενζίνη	2660	21	1,20	248
H ₂ O ₂	Υδραζίνη	2590	19	1,22	262
HNO ₃	Βενζίνη	2850	25	1,23	240
HNO ₃	Ανιλίνη	2910	235
HNO ₃	Αμμωνία	2320	21	1,24	237
O ₂	Αιθανόλη	3080	22	1,22	259
O ₂	Βενζίνη	3200	22	1,24	264
O ₂	Υδραζίνη	2970	18	1,25	280
O ₂	Υδρογόνον	2490	9,0	1,26	364
F ₂	Αμμωνία	4000	19	1,33	306
F ₂	Υδραζίνη	4410	19	1,33	316
F ₂	Υδρογόνον	2818	8,9	1,33	373

ΠΙΝΑΞ III. Τιμαί ειδικής ώστικης δυνάμεως λαμβανόμεναι παρά συνήθων πιτών προωθητικών υπό πίεσιν λειτουργίας 35 και 70 άτμ.ρών

Όξειδωτικόν	Καύσιμον	I _s	
		35 άτμ.	70 άτμ.
H ₂ O ₂	Βενζίνη	248	273
H ₂ O ₂	Υδραζίνη	262	288
HNO ₃	Βενζίνη	240	255
HNO ₃	Ανιλίνη	235	258
HNO ₃	Άμμωνία	237	261
O ₂	Αιθανόλη	259	285
O ₂	Βενζίνη	264	290
O ₂	Υδραζίνη	280	308
O ₂	Υδρογόνον	364	400
F ₂	Άμμωνία	306	337
F ₂	Υδραζίνη	316	348
F ₂	Υδρογόνον	373	410

τός του θαλάμου καύσεως, εκ του πίνακος III προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν παίζει σημαντικό ρόλον, δεδομένου ότι διπλασιασμός της προκαλεί αύξησιν της I_s κατά 10% μόνον. Πάντως, δια καθαρώς τεχνικούς λόγους, οι πυράυλοι εργάζονται υπό πιέσεις κυμαινόμενας μεταξύ 20 και 150 Atm.

Άλλοι όροι, πρακτικής φύσεως, τους οποίους πρέπει να πληρούν τα διάφορα προωθητικά είναι κυρίως οι εξής:

α) Σταθερότης εις σχετικώς ευρείαν περιοχὴν θερμοκρασιῶν και πιέσεων.

β) Δυνατότης αποθηκείσεως επί μακρόν χρονικόν διάστημα, χωρίς κινδύνους αποσυνθέσεως ή αυτανάφλεξεως.

γ) Κατά το δυνατόν μικρά τοξικότης προς αποφυγὴν δυστυχημάτων κατά τους διαφόρους χειρισμούς.

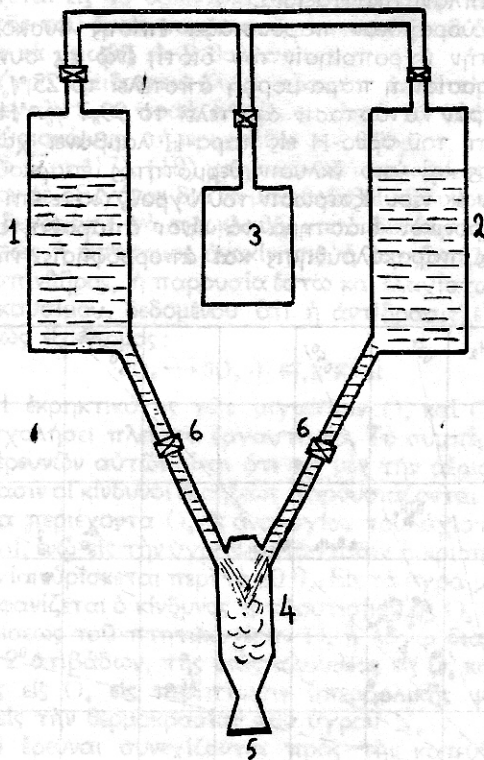
δ) Κατά το δυνατόν υψηλὸν ειδικὸν βάρος. Όσον μικρότερον είναι το ειδικὸν βάρος, τόσο μεγαλύτεροι χώροι αποθηκείσεως και εγκαταστάσεις μονώσεως και ψύξεως απαιτοῦνται, αύξανόμενον οὕτω σημαντικῶς του βάρους και του όγκου του πυράυλου.

ε) Χαμηλή τιμή και δυνατότης παρασκευῆς εις μεγάλα ποσά (1). Ό οικονομικὸς παράγων, είναι υπολογίσιμος ακόμη και δια πειραματικούς σταθμούς διαθέτοντας άφθονώτατα χρηματικά μέσα, διότι, άφου δοκιμασθῆ μία υπό εξέτασιν προωθητική ύλη εις εργαστηριακὴν κλίμακα, θα πρέπει να επακολουθήσῃ μία τουλάχιστον δοκιμή, περίπου εις τὴν κλίμακα κανονικῆς λειτουργίας του πυράυλου. Εάν υποθέσωμεν ότι επιθυμοῦμεν να επιτύχωμεν ώστικὴν δύναμιν 50 000 kgf* με μίγμα του όποιου ή I_s είναι 250 sec, ή κατανάλωσις θα είναι 200 kgf* / sec. Αι πρώται πειραματικά δοκιμαί διαρκοῦν συνήθως 10-20 sec κατά τα όποια καταναλίσκονται 2-4 τόνοι μίγματος, ενώ συχνά ή μελέτη ολοκληρώνεται με δοκιμὰς διάρκειας άνω των 100 sec, όποτε ή κατανάλωσις δυνατόν να φθάσῃ τους 40 τόνους. Εάν έστω και εν των συστατικῶν είναι ένωσις πολυδάπανος, όπως π. χ. τα βοράνια τα όποια τιμῶνται 100 δολλάρια ανά χγρ., το κόστος της δοκιμῆς θα κυμαίνεται μεταξύ ενός και δύο εκατομμυρίων δολλαρίων.

Αι προωθητικά ύλαι διακρίνονται γενικῶς εις υγρά και στερεά. Μεταξύ των δύο κατηγοριῶν υφίστανται βασικαί διαφοραί, τόσο εις τὰς φυσικὰς ιδιότητας και τὴν σύστασιν, όσοι και εις τὸν τρόπον χρησιμοποίησεως αυτών.

Υγρά προωθητικά ύλαι (10)

Εις τὴν κατηγορίαν αυτὴν ανήκουν τα υγρά και τα υγροποιημένα άέρια. Το σχῆμα 2 παριστᾷ διάγραμμα του μηχανισμού πυράυλου λειτουργούντος με υγρά καύσιμα. Το όξειδωτικόν διατηρεῖται εις χωριστὴν δεξαμενὴν από το καύσιμον. Ό θάλαμος καύσεως καταλαμβάνει μικρόν μόνον μέρος του συνολικου όγκου. Προς αντιμετώπισιν των υψηλῶν θερμοκρασιῶν ό θάλαμος φέρει συχνά διπλά τοιχώματα μέσω των όποιων κυκλοφορεῖ υγρὸν ψύξεως, το όποιον δύναται να είναι είτε αυτό τουτο το καύσιμον είτε ύδωρ, το όποιον μετα το τέλος της διαδικρομῆς εκτοξεύεται εντός του θαλάμου. Τὴν ροὴν των υγρῶν προς τον θαλάμον εξασφαλίζομεν με τὴν βοήθειαν πεπιεσμένου άέρος προερχόμενου από χωριστὴν όβιδα ως εις το σχῆμα ή με τὴν βοήθειαν άντλιῶν. Με ειδικὰς βαλβίδας ρυθμίζεται ή παροχή των δύο υγρῶν ώστε να εύρίσκωνται πάντοτε υπό σταθερὰν αναλογίαν. Η διάρκεια λειτουργίας των κινητήρων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 30 sec και όλι-



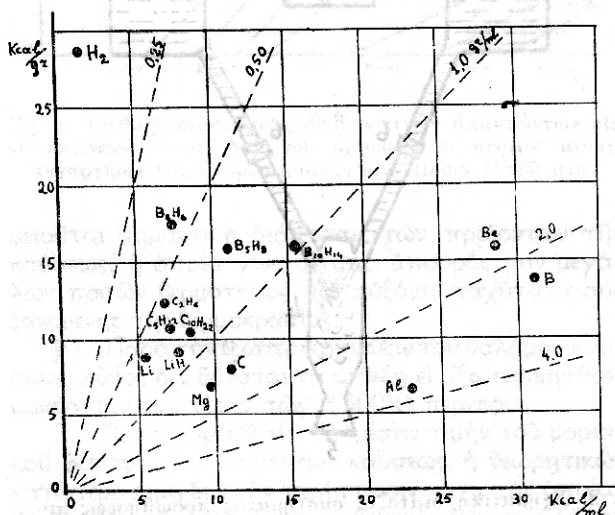
Σχ. 2. Σχηματικὴ διάταξις συστήματος προώθησεως πυράυλου λειτουργούντος δι' υγρῶν προωθητικῶν. 1) Δεξαμενὴ καυσίμου. 2) Δεξαμενὴ όξειδωτικου. 3) Άήρ υπό πίεσιν. 4) Θάλαμος καύσεως. 5) Άκροφύσιον. 6) Ρυθμιστικαί βαλβίδες.

γων λεπτών. Η θερμοκρασία εις τὸν θάλαμον καύσεως κυμαίνεται μεταξύ 1100 καὶ 2500° C ἢ δὲ πίεσις μεταξύ 20 καὶ 100 Atm. (10).

Ἡ διατήρησις σταθερᾶς τῆς σχέσεως μεταξύ ὀξειδωτικοῦ καὶ καυσίμου κατὰ τὴν τροφοδότησιν, ἀποτελεῖ τὸ λεπτόν σημεῖον τῆς λειτουργίας τῶν πυραύλων αὐτῶν. Παράγοντες δυνάμενοι νὰ ἐπηρεάσουν τὴν κανονικὴν αὐτὴν τροφοδότησιν, εἶναι π.χ. α) ἡ μεταβολὴ τοῦ ἰσώδους καὶ τῆς πυκνότητος τῶν ὑγρῶν μετὰ τῆς θερμοκρασίας, β) ἡ μετατόπισις τοῦ ὑγροῦ ἐντὸς τῶν δεξαμενῶν λόγω τῆς φυγοκέντρου δυνάμεως εἰς τὴν περίπτωσιν κατὰ τὴν ὁποίαν ὁ πύραυλος στρέφεται περὶ ἄξονα. Ἡ τελευταία αὕτη δυσχέρεια ἀντιμετωπίζεται μὲ πτερύγια παρεμποδίζοντα τὴν περιστροφήν.

1) *Καύσιμα*. Προκειμένου ἕνα στοιχεῖον ἢ μία ἔνωσις νὰ χρησιμοποιηθῆ ὡς προωθητικὸν καύσιμον, ἐξετάζομεν τὸ ποσὸν θερμότητος τὸ ὁποῖον ἀποδίδει κατὰ τὴν καύσιν ὄχι μόνον ἀνὰ μονάδα βάρους, ἀλλὰ καὶ ἀνὰ μονάδα ὄγκου. Τὸ σχῆμα 3 δίδει τὴν θερμοαντικὴν ἀξίαν μερικῶν ἐνώσεων καὶ στοιχείων ἀνὰ gr καὶ ἀνὰ ml (3). Ἐκ τούτου καταφαίνεται ὅτι τὸ ὑδρογόνον λόγω τοῦ πολὺ μικροῦ εἰδικοῦ βάρους του, παρέχει ἐλαχίστας cal/ml καὶ οὕτω παρὰ τὴν ὑψηλὴν του θερμότητα καύσεως δὲν χρησιμοποιεῖται σήμερον εἰς τοὺς πυραύλους. Μελετᾶται ὅμως ἡ δυνατότης χρησιμοποίησεώς του εἰς μεγάλους πυραύλους προοριζομένους διὰ διαπλανητικὰ ταξίδια.

Τὸ ὑδρογόνον παρουσιάζει ἐπίσης δυσκολίας κατὰ τὴν ὑγροποίησιν του διότι, ἐνῶ εἰς συνήθη θερμοκρασίαν ἢ πάρα-μορφῇ ἀποτελεῖ τὸ 25%, εἰς τὴν ὑγρὰν κατάστασιν ἀποτελεῖ τὸ 99,7%. Ἡ μετατροπὴ τοῦ ὀρθο-Η εἰς παρα-Η λαμβάνει χώραν βραδέως καὶ ὑπὸ ἐκλυσιν θερμότητος ἐπαρκούσης διὰ τὴν ἐκ νέου ἐξαέρωσιν τοῦ ὑγροῦ, ὥστε ἐπὶ μακρὸν χρονικὸν διάστημα νὰ εἶναι ἀπαραίτητος ἡ συνεχῆς παρακολούθησις καὶ ἀπορρόφησις τῆς ἐ-



Σχ. 3. Θερμοαντικὴ ἀξία ἐνώσεων καὶ στοιχείων τινῶν δυνάμενων νὰ χρησιμοποιηθοῦν ὡς καύσιμα εἰς πυραύλους.

κλυομένης θερμότητος. Ἀνεζητήθη ὡς ἐκ τούτου τρόπος ἐπιταχύνσεως τῆς μετατροπῆς καὶ τελευταίως τὸ National Bureau of Standards τῶν U.S. A. ἀνεκοίνωσεν ὅτι πρὸς τοῦτο δύνάται νὰ χρησιμοποιηθῆ ἔλυδρον ὀξειδίου τοῦ σιδήρου.

Τὰ εὐρύτερον χρησιμοποιούμενα σήμερον καύσιμα εἶναι οἱ ὑδρογονάνθρακες καὶ ἡ αἰθανόλη λόγω κυρίως τοῦ χαμηλοῦ κόστους των καὶ τῶν μικρῶν σχετικῶς κινδύνων ποῦ παρουσιάζει ὁ χειρισμὸς καὶ ἡ ἀποθήκευσις των. Μεταξὺ τῶν διαφόρων ὑδρογονανθράκων ὑπερέχουν οἱ ἀρωματικοὶ καὶ οἱ ἀκόρεστοι, τὴν καλυτέραν δὲ ἀπόδοσιν ἔχει τὸ διακετυλένιον.

Εὐρέως χρησιμοποιεῖται ἐπίσης ἡ ἀμμωνία καθὼς καὶ ἡ ὑδραζίνη, ἡ ὁποία ἀπὸ ἀπόψεως ἀποδόσεως ὑπερέχει σημαντικῶς τῆς ἀμμωνίας λόγω τοῦ σχετικῶς ὑψηλοῦ εἰδικοῦ βάρους αὐτῆς (1,01 gr*/ml) καὶ τοῦ ὑψηλοῦ σημείου ζέσεως (113° C) ἀλλὰ στοιχίζει περίπου 100 φορές περισσότερον.

Πρὸς σύγκρισιν τῶν ἀνωτέρω ἀναφερομένων ἐνώσεων παρατίθεται ὁ πίναξ IV ὁ ὁποῖος δίδει τὰς

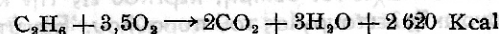
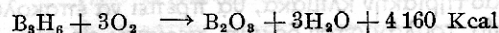
ΠΙΝΑΞ IV. Εἰδικαὶ ὥστικαὶ δυνάμεις λαμβανόμεναι ὑπὸ τῶν συνηθεστέρων καυσίμων καιομένων μὲ ὀξυγόνον, ὑπὸ πίεσιν 20 ἀτμοσφαιρῶν.

Βενζίνη + ὀξυγόνον	I _s = 242 sec
Αἰθανόλη + ὀξυγόνον	I _s = 243 sec
Ἀμμωνία + ὀξυγόνον	I _s = 255 sec
Ὑδραζίνη + ὀξυγόνον	I _s = 260 sec

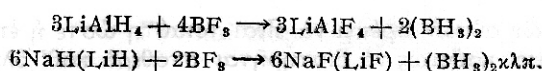
λαμβανόμενας ἐξ αὐτῶν εἰδικὰς ὥστικὰς δυνάμεις μὲ ὀξειδωτικὸν τὸ ὀξυγόνον καὶ ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν τῶν 20 ἀτμ.

Ἐκτὸς τοῦ ὀξυγόνου χρησιμοποιοῦνται συχνὰ ὡς ὀξειδωτικὰ τῶν ἐνώσεων αὐτῶν τὸ ὑπεροξείδιον τοῦ ὑδρογόνου καὶ τὸ νιτρικὸν ὄξύ.

Προσπαθοῦντες νὰ ἐπιτύχουν ὑψηλότερας τιμὰς I_s οἱ ἐρευνηταὶ ἐστράφησαν τελευταίως πρὸς τὰ ὑδρίδια διαφόρων μετάλλων. Τὰ περισσότερα μελετώμενα σήμερον εἶναι τὰ βοράνια (3), τὰ ὁποῖα εἶναι οἱ κυριώτεροι ἐκπρόσωποι τῶν λεγομένων ἐξωτικῶν καυσίμων (exotic fuels) ἢ ὑπερκαυσίμων. Ἡ θερμότης καύσεως τῶν βορανίων εἶναι κατὰ 60% περίπου μεγαλυτέρα τῆς τῶν ὑδρογονανθράκων:

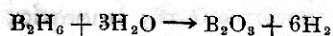


Τὰ σημαντικώτερα βοράνια εἶναι (8, 11) α) τὸ διβοράνιον, B₂H₆, ἀέριον, Σ. Ζ. -92,5° C, εἰδ. βάρους 0,45 gr*/ml, β) τὸ πενταβοράνιον, B₅H₉, ὑγρὸν, Σ. Ζ. 60° C, εἰδ. βάρους 0,61 gr*/ml, γ) τὸ δεκαβοράνιον, B₁₀H₁₄, στερεόν, Σ. Τ. 99,7° C, εἰδ. βάρους 0,94 gr*/ml. Τὸ κόστος των εἶναι ἐξαιρετικὰ ὑψηλόν, τῆς τάξεως τῶν 100 \$/kgt ἀλλὰ θεωρεῖται βέβαιον ὅτι ἐὰν παρασκευασθοῦν εἰς βιομηχανικὴν κλίμακα θὰ κατέληθι περίξ τοῦ ἐνὸς δολλαρίου. Ἡ παρασκευὴ τοῦ διβορανίου γίνεται δι' ἀναγωγῆς τοῦ BF₃:



Τά άνωτέρα βορανια παρασκευάζονται διά θερμάνσεως του διβορανίου.

*Άλλη ιδιότης των βορανίων είναι ότι διασπώνται εξωθέρμως υπό του ύδατος υπό έκλυσιν ύδρογόνου,



τό όποιον δύναται έν συνεχεία νά χρησιμοποιηθή ως καύσιμον π.χ. εις ύποβρυχίους πυραύλους.

Τελευταίως αναφέρεται συχνά και τό ύδρογονούχον λίθιον ως καύσιμον μεγάλης άποδόσεως καθώς και τό άργιλίον και τινες ένώσεις αυτού, χωρίς όμως νά δίδονται περισσότεραι λεπτομέρειαι.

II) *Όξειδωτικά.* Ύγρα όξειδωτικά εύρέως χρησιμοποιούμενα σήμεραν είναι τό όξυγόνον, τό νιτρικόν όξύ, τό τετροξειδιον του άζώτου, τό ύπεροξειδιον του ύδρογόνου και, όλιγώτερον, τό τετρανιτρομεθάνιον. Εις τόν πίνακα V δίδεται ή εις όξυγό-

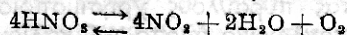
ΠΙΝΑΚΕ V. Σύγκρισις τής εις όλικόν και ένεργόν όξυγόνον περιεκτικότητος των συνήθων όξειδωτικών

Όξειδωτικόν	Όλικόν όξυγόνον βάρος ο/ο	Ένεργόν όξυγόνον kg*/lt	Πυκνότης kg/lit
O ₂	100	1,14	1,14
C(NO ₂) ₄	65,3	1,07	1,64
N ₂ O ₄	69,5	1,01	1,45
HNO ₃	63,5	0,97	1,50
H ₂ O ₂	47,0	0,69	1,46
H ₂ O ₂ +0,2 H ₂ O	42,2	0,59	1,40

νον και ένεργόν όξυγόνον (δυνάμενον νά χρησιμοποιηθή διά τήν όξειδωσιν άλλης ένώσεως) περιεκτικότης των ένώσεων αυτών (16),

Τό ύγρον όξυγόνον είναι τό ισχυρότερον των εύρέως χρησιμοποιουμένων όξειδωτικών. Δύναται νά παρασκευασθή εις μεγάλα ποσά και δέν παρουσιάζει κινδύνους κατά τόν χειρισμόν.

Τό νιτρικόν όξύ και τό τετροξειδιον του άζώτου χρησιμοποιούνται συνήθως άναμειγμένα ως έρυθρόν άτμίζον νιτρικόν όξύ (RFNA). Λόγω του γεγονότος ότι τό HNO₃ κατά τήν άποθήκευσιν διασπάζεται κατά τήν άμφίδρομον αντίδρασιν



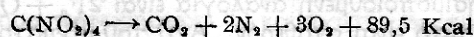
δημιουργούν πίεσιν εις τās δεξαμενάς διότι τό έλευθερούμενον O είναι δυσδιάλυτον εις τό νιτρικόν όξύ, προστίθενται μικρά ποσά ύδατος ώστε νά παρεμποδισθή ή άνωτέρω διάσπασις. Προστίθενται επίσης μικρά ποσά ύδροφθορίου τό όποιον δημιουργεί προστατευτικόν επίστρωμα φθοριδίου εις τās έξ άλουμινίου ή άνοξειδώτου χάλυβος δεξαμενάς, παρεμποδιζόμενης ούτω τής προσβολής των υπό του νιτρικού όξέος. Τό ούτω προκύπτον μίγμα καλείται IRFNA (inhibited red fuming nitric acid) (6).

Πρώτοι χρησιμοποιήσαντες τό ύπεροξειδιον του ύδρογόνου ως καύσιμον εις πυραύλους είναι οι Γερμανοί. Σήμεραν χρησιμοποιείται είτε άπόλυτον είτε

μέ πρόσμειξιν ύδατος (19). Έχει μεγάλην πυκνότητα (1,39 gr/ml τό μίγμα 90% H₂O₂ + 10% H₂O) και χαμηλόν ιξώδες. Τά κυριώτερα μειονεκτήματά του είναι: α) τό ύψηλόν διά ψυχράς περιοχάς σημείον πήξεως, τό όποιον ύποβιβάζεται διά προσθήκης νιτρικού άμμωνίου, β) τό γεγονός ότι έκρήγνυται όταν έλθη εις έπαφήν με οργανικās ούσιās, γ) ή μεγάλη διαβρωτική ικανότης αυτού, δ) τό γεγονός ότι με τήν πάροδον του χρόνου άποσυντίθεται.

Ύως προωθητικόν δύναται νά χρησιμοποιηθή κατά δύο τρόπους. Κατά τόν ένα έκμεταλλεύμεθα τό γεγονός ότι όξειδια τινά των μετάλλων, ως του άργύρου και του μαγγανίου, τό διασπούν εξωθέρμως προς όξυγόνον και ύδρατιμούς και γίνεται χημική εις αυτού διά τήν κίνησιν έλικοπτέρων, άτμοστροβίλων κλπ. Κατά τόν άλλον τό μεταχειριζόμεθα ως όξειδωτικόν ως ήδη άνεφέρθη.

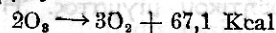
Η χημική του τετρανιτρομεθανίου ως όξειδωτικού (16) στηρίζεται εις τήν αντίδρασιν άποσυνθέσεώς του:



Δύναται δηλαδή νά χρησιμοποιηθή αναλόγως προς τό H₂O₂, είναι δέ σημαντικώς ισχυρότερον αυτού. Έχει μεγάλην πυκνότητα και ύψηλόν σημείον ζέσεως (126°C). Προς μείωσιν του ύψηλου του σημείου πήξεως (13,8°C) άναμιγνύεται με τετροξειδιον του άζώτου ή μονονιτρομεθάνιον. Τό κόστος του άνέρχεται εις 40 δολλάρια περίπου ανά kg διá τής μαζικής του όμως παρασκευής ύπολογίζεται ότι δύναται νά μειωθή εις 2 δολλάρια/kg.

Ύγρα όξειδωτικά έλευθερώνοντα κατά τήν καύσιν μεγαλύτερα ποσά ένεργείας είναι τά υπό μελέτην εύρισκόμενα σήμεραν όζον και φθόριον.

Τό όζον (17), (18) χρησιμοποιείται κυρίως άραιωμένον με όξυγόνον διά νά μειωθούν οι κίνδυνοι έκρήξεως δυναμένης νά προκληθή κατά διαφόρους τρόπους, ως ή άπότομος άνακίνησις, ή έκρηξις ήλεκτρικού σπινθήρος, ή παρουσία έστω και έλαχίστων ποσών καυσίμου, δεδομένου ότι ή αντίδρασις είναι ισχυρώς εξώθερμος:



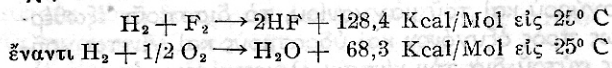
Η έκρηκτικότης των μιγμάτων O₃ και O₂ έχει άπασχολήσει πλείστα εργαστήρια. Τό συμπέρασμα των έρευνών αυτών είναι ότι εις μόν τήν άέριον κατάσταση οι κίνδυνοι έκρήξεως παρουσιάζονται εις μίγματα περιέχοντα O₃ εις άναλογίαν τουλάχιστον 10% Mol, ενώ εις τήν ύγραν κατάσταση ή κρίσιμος άναλογία εύρίσκεται περί τό 20%. Εις τά ύγρα μίγματα εμφανίζεται ό κίνδυνος έμπλουτισμού εις O₃ λόγω έξατμίσεως του πτητικώτερου O₂ ή λόγω διαχωρισμού 2 στιβάδων, τής μιās πλουσιās εις O₃ και τής άλλης εις O₂ εις περίπτωσην ύπερβολικής ψύξεως π.χ. εις τήν θερμοκρασίαν του ύγρου N₂.

Αί έρευναι συνεχίζονται προς τήν κατεύθυνσιν τής εύρέσεως μεθόδου σταθεροποίησεως του O₃. Παραλλήλως έχει επιτευχθή ή παρασκευή O₃ 100% υπό συνθήκας άπόλυτου καθαρότητος και ήρεμίας.

Τό φθόριον (1) συνδυάζει τās ιδιότητας του έξαιρετικώς ισχυρού όξειδωτικού και του σχετικώς

μικροῦ μοριακοῦ βάρους. Ἦτο λοιπὸν φυσικὸν νὰ στραφοῦν πρὸς αὐτὸ καὶ τὰς ἐνώσεις του οἱ ἐρευνηταί. Παρουσιάζει φυσικὰ δυσκολίας λόγω τῆς τοξικότητος τόσο αὐτοῦ ὅσον καὶ τοῦ παραγομένου κατὰ τὴν ἀντίδρασιν μὲ ὑδρογονοῦχος ἐνώσεις HF, ὡς ἐπίσης λόγω τῆς διαβρωτικῆς του ἰκανότητος, ἢ ὅποια εἰς ἀρκετὰς περιπτώσεις ὅμως περιορίζεται εἰς τὸν σχηματισμὸν ἐπιφανειακοῦ προστατευτικοῦ στρώματος φθοριδίου.

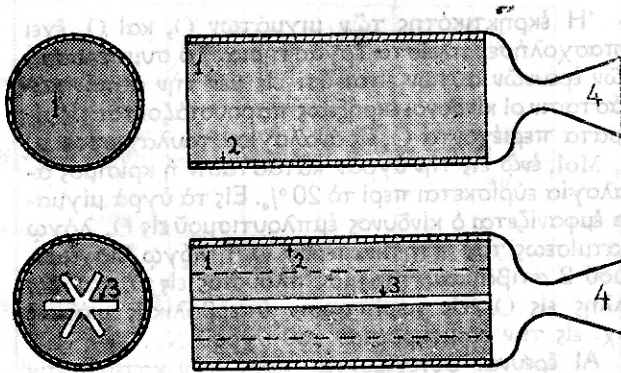
Ἡ ἐκλυομένη κατὰ τὴν ἀντίδρασιν τοῦ F₂ μὲ ὑδρογονάνθρακος θερμότης ὀφείλεται κυρίως εἰς τὸν σχηματισμὸν τοῦ HF:



Ἀντιθέτως ὁ δεσμὸς C-F σχηματίζεται ὑπὸ σημαντικῶς μικρότερον ἐκλυσιν ἐνεργείας. Ὡς ἐκ τούτου, διὰ λόγους οἰκονομικούς, χρησιμοποιεῖται μίγμα F₂ καὶ O₂ ὥστε τὸ O₂ νὰ ἀντιδρᾷ μὲ τὰ ἄτομα C ἐνῶ τὸ F₂ νὰ ἀντιδρᾷ μόνον μὲ τὰ ἄτομα H₂. Ἡ χρησιμοποιουμένη ἀναλογία εἶναι 2F₂ + O₂. Τὸ μίγμα αὐτὸ εἶναι σταθερὸν. Ἀντὶ τοῦ μίγματος δύναται ἐπίσης νὰ χρησιμοποιηθῇ ἡ ἐνώσις OF₂, ἢ ὅποια ὑπερέχει καὶ ἀπὸ ἀπόψεως φυσικῶν ἰδιοτήτων. Ἐξ ἄλλου γίνονται πειράματα χρησιμοποίησης τοῦ ClF₃, τὸ ὁποῖον ἔχει μεγάλην πυκνότητα καὶ σχετικῶς ὑψηλὸν Σ.Ζ. 12° C.

Στερεὰ καύσιμα

Εἰς τὰς στερεὰς προωθητικὰς ὕλας τὸ καύσιμον καὶ τὸ ὀξειδωτικὸν εὐρίσκονται, ἀναμειγμένα ἐκ τῶν προτέρων, ἐντὸς τοῦ θαλάμου καύσεως, οὕτως ὥστε ὅλος ὁ μηχανισμὸς τοῦ πυραύλου εἶναι κατὰ πολὺ ἀπλούστερος. Τὸ σχῆμα 4 παριστᾷ τομὰς θαλάμων καύσεως πυραύλων λειτουργούντων μὲ στερεὰ καύσιμα (10). Ἡ καύσις δύναται νὰ λάβῃ χώραν ἐκ τῆς ἐλευθέρως ἐπιφανείας ἢ εἰς τὴν περίπτωσιν κατὰ τὴν ὅποιαν ἐπιθυμοῦμεν νὰ ἐπιτύχωμεν μεγαλύτεραν ὠστικήν δύναμιν, αὐξάνομεν τὴν ἐπιφάνειαν τῆς καύσεως κατασκευάζοντες στοὰς ἐντὸς τῆς μάζης τοῦ προωθητικοῦ μίγματος. Ἡ μορφή τῶν



Σχ. 4. Τομὰι θαλάμων καύσεως πυραύλων λειτουργούντων διὰ στερεῶν προωθητικῶν. 1) Προωθητικὸν μίγμα. 2) Λεπτὸν στρώμα δυσκαύστου ἐνώσεως διὰ τὴν προστασίαν τῶν τοιχωμάτων (inhibitor). 3) Στοὰι αὐξάνουσαι τὴν καιομένην ἐπιφάνειαν. 4) Ἀεροφύσιον.

στοῶν αὐτῶν πρέπει νὰ εἶναι τοιαύτη ὥστε ἡ ἐπιφάνεια καύσεως νὰ διατηρῆται σταθερὰ καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς λειτουργίας τῆς συσκευῆς. Ἐν ἀντιθέσει πρὸς τοὺς πυραύλους τοὺς λειτουργούντας δι' ὑγρῶν προωθητικῶν, οἱ λειτουργούντες διὰ στερεῶν δύναται νὰ ἀποκτήσουν περιστροφὴν περὶ τὸν ἐπιμήκη ἀξονά των. Ἡ μάζα τοῦ προωθητικοῦ παίζει ρόλον μονωτικοῦ τῆς ἐπιφανείας τοῦ θαλάμου ἐναντι τῆς ἀναπτυσσομένης ὑψηλῆς θερμοκρασίας. Διὰ τὴν προστασίαν τῶν τοιχωμάτων δυνάμεθα ἐπίσης νὰ χρησιμοποιήσωμεν τὴν σχετικῶς δυσκόλως καιομένην ὀξικήν κυτταρίνην. Ἡ θερμοκρασία εἰς τὸν θάλαμον καύσεως κυμαίνεται συνήθως μετὰξυ 1 600 καὶ 3 000° C, ἢ δὲ πίεσις μετὰξυ 70 καὶ 150 Atm (10).

Χαρακτηριστικὸν τῶν ἀνωτέρω πυραύλων εἶναι τὸ γεγονός ὅτι δὲν ἀπαιτοῦνται εἰς αὐτοὺς αἱ πολὺπλοκοὶ συσκευαὶ ἀντλήσεως καὶ ρυθμίσεως τῆς παροχῆς, μειουμένου οὕτω τοῦ βάρους τοῦ μηχανισμοῦ των (9).

Αἱ στερεὰ προωθητικὰ ὕλα διακρίνονται εἰς συνθέτους καὶ ἀπλᾶς. Αἱ ἀπλᾶι (5) εἶναι μίγματα νιτροεστέρων τῆς κυτταρίνης καὶ τῆς γλυκερίνης περιέχοντα εἰδικὰς προσμίξεις αἱ ὅποια σταθεροποιοῦν τὸ μίγμα καὶ ρυθμίζουν τὴν καύσιν. Αἱ σύνθετοι ἀποτελοῦνται ἀπὸ μίαν ρητινώδους συστάσεως καύσιμον συνδετικὴν ὕλην, ἐνῶ τὸ ἀπαραίτητον διὰ τὴν καύσιν ὀξυγόνον παρέχεται ὑπὸ ἀνοργάνου κρυσταλλικοῦ ἄλατος.

Ἡ πρώτη χρησιμοποιηθεῖσα συνδετικὴ οὐσία ἦτο κοινὴ ἀσφαλτος ἢ ὅποια ὅμως μὲ τὴν ἀνύψωσιν τῆς θερμοκρασίας καθίστατο ρευστὴ καὶ ἡ καύσις δὲν ἠκολούθει πλέον ὁμαλὸν ρυθμὸν. Αἱ χρησιμοποιούμεναι σήμερον πολυμερεῖς ἐνώσεις πρέπει νὰ ἀκολουθοῦν ὠρισμένας προδιαγραφὰς (2) (14) (15) αἱ ὅποια ἀναφέρονται κυρίως εἰς τὴν μεταβολὴν ἰδιοτήτων ὡς ἡ ἐλαστικότης καὶ τὸ ἰξῶδες μετὰ τῆς θερμοκρασίας.

Ἀπὸ ἀπόψεως χημικῆς συνθέσεως αἱ συνδετικὰ ὕλα εἶναι κυρίως ὀργανικῆς προελεύσεως. Τελευταίως ἀνηγγέλη ὅτι εἰς τὰς Η.Π.Α. κατασκευάσθη στερεὰ καύσιμα ὕλη μὲ βάσιν τὰ βοράνια, πιθανὸν δὲ νὰ χρησιμοποιηθοῦν μελλοντικῶς ὑδρίδια καὶ ἄλλων μετάλλων.

Ὡς ὀξειδωτικὰ εἰς τοὺς διὰ συνθέτων καυσίμων λειτουργούντας πυραύλους χρησιμοποιοῦνται νιτρικά καὶ ὑπερχλωρικά ἄλατα τοῦ καλίου, νατρίου καὶ κυρίως τοῦ ἄμμωνίου.

Ἀπὸ ἀπόψεως ἐφαρμογῆς, τὰ στερεὰ καύσιμα χρησιμοποιοῦνται εἰς μικρότερου μεγέθους καὶ μικροτέρας ἀκτίνος δράσεως πυραύλους ἀπὸ τὰ ὑγρά καύσιμα. Ἐξ αὐτῶν μάλιστα τὰ ἀπλᾶ στερεὰ καύσιμα φαίνεται ὅτι χρησιμοποιοῦνται μόνον εἰς μικρὰς πολεμικὰς ρουκέτας. Πάντως, λόγω τῶν ἤδη ἀναφερθέντων πλεονεκτημάτων των, καταβάλλεται συνεχῆς προσπάθεια βελτιώσεως τῶν στερεῶν προωθητικῶν ὕλων πρὸς ἐπέκτασιν τῶν ἐφαρμογῶν των.

Αἱ ἐπιτυγχανόμεναι διὰ τῶν στερεῶν προωθητικῶν τιμαὶ I_s εἶναι γενικῶς χαμηλότεραι τῶν λαμβανομένων ἐκ τῶν ὑγρῶν προωθητικῶν.

Γενικαί παρατηρήσεις

Ἡ συνεχῆς βελτίωσις τῶν προωθητικῶν ὑλῶν δημιουργεῖ συνεχῶς νέα, τεχνικῆς φύσεως, προβλήματα. Διότι δὲν ἀρκεῖ π.χ. ἡ παρασκευὴ μιγμάτων τὰ ὁποῖα νὰ παράγουν κατὰ τὴν καυσίαν θερμοκρασίας τῆς τάξεως τῶν 4, 5, ἢ καὶ περισσοτέρων χιλιάδων βαθμῶν C. Πρέπει νὰ ἐξευρεθῇ τρόπος κατασκευῆς θαλάμου καύσεως ἀντέχοντος εἰς τόσον ὑψηλὰς θερμοκρασίας, ἢ μᾶλλον νὰ βελτιωθῇ τὸ σύστημα ψήξεως τῶν τοιχωμάτων ἢ νὰ μονωθοῦν ταῦτα κατὰ κάποιον τρόπον μὲ ἐν ἐπίστρωμα δυσκαύστου οὐσίας.

Ὅταν προέκυψε τὸ ἐρώτημα «τί εἶδους προωθητικὴν ὑλὴν μετεχειρίσθησαν οἱ Ρῶσοι διὰ τὴν ἐξαπόλυσιν τῶν Sputnik», οἱ Ἀμερικανοὶ ἐπιστήμονες καὶ ὁ Wernher von Braun ἔδωσαν τὴν ἀπάντησιν ὅτι τὰ μὲν χρησιμοποιηθέντα προωθητικά εἶναι γνωστὰ καὶ εἰς τοὺς Ἀμερικανούς ἐρευνητάς, οἱ Ρῶσοι ὁμως κατάρθωσαν νὰ λύσουν τὰ τεχνικῆς φύσεως προβλήματα τὰ ὁποῖα παρουσιάζουν (12). Ὅσον ὁμως καὶ ἐὰν τελειοποιηθοῦν αἱ συσκευαί, αἱ τιμαὶ I_s τὰς ὁποίας εἶναι δυνατὸν νὰ ἐπιτύχωμεν χρησιμοποιοῦντες τὴν ἐνέργειαν ἢ ὁποῖα ἐλευθερώνεται δι' ἀντιδράσεως μεταξὺ μορίων δὲν δύναται, ὡς ἀπεδείχθη ἐκ τῆς διερευνησεως τοῦ τύπου III, νὰ ὑπερβούνη ἕνα θεωρητικὸν ὄριον τὸ ὁποῖον δὲν φαίνεται ὅτι θὰ διαφέρῃ σημαντικῶς τῆς τιμῆς 370—400 sec τὴν ὁποῖαν δίδει μίγμα $H_2 + F_2$.

Μελλοντικαὶ προοπτικαὶ

Ἡ ἔρευνα διὰ τὴν ἐξεύρεσιν τρόπου προωθήσεως μὴ χρησιμοποιοῦντος χημικὴν ἐνέργειαν, ἐφ' ὅσον ἢ διὰ ταύτης λαμβανομένη I_s παρουσιάζεται ἔχουσα ὄριον ἀπὸ τὸ ὁποῖον αἱ σημεριναὶ πειραματικὰ τιμαὶ δὲν ἀπέχουν σημαντικῶς, ὠδήγησεν εἰς τὰ ἐξῆς μέσα προωθήσεως, τῶν ὁποίων ἡ ἐφαρμογὴ μελετᾶται διὰ τὸ προσεχές ἢ ἀπώτερον μέλλον:

α) *Ἐλεύθεραι ρίζαι*. Εἶναι γνωστὸν ὅτι κατὰ τὴν ἐπανασυνένωσιν τῶν ἐλευθέρων ριζῶν ὡς αἱ O, N, H, C, H₂ κλπ. πρὸς τὰ ἀρχικὰ μόρια ἐκλύονται ποσὰ θερμότητος κατὰ πολὺ μεγαλύτερα τῶν ἐκλυομένων κατὰ τὰς χημικὰς ἀντιδράσεις. Προκειμένου νὰ χρησιμοποιηθοῦν αἱ ἐλεύθεραι ρίζαι διὰ τὴν προώθησιν τῶν πυραύλων πρέπει νὰ ἐξευρεθῇ τρόπος σταθεροποιήσεως αὐτῶν ἐπὶ σχετικῶς μεγάλου διαστήματος. Πρὸς τοῦτο μελετᾶται ἡ ἐφαρμογὴ θερμοκρασιῶν πλησίον τοῦ ἀπολύτου μηδενός, ἢ ἀραιώσεις μὲ ἀδρανῆ ἀέρια ὡς τὸ ἥλιον καὶ ἡ χρησιμοποίησις ἰσχυροτάτων ἠλεκτρικῶν ἢ μαγνητικῶν πεδίων.

β) *Ἴοντα*. Ὠρισμένα μέταλλα, ὡς τὸ καίσιον καὶ τὸ ρουβίδιον ἔχουν τὴν ιδιότητα νὰ ἰονίζονται εὐκόλως ἐρχόμενα εἰς ἐπαφὴν μὲ πυρακτωμένης ἐπιφανείας λευκοχρύσου ἢ βολφραμίου. Τὰ οὕτω δημιουργούμενα ἰόντα εἶναι δυνατὸν, μὲ τὴν βοήθειαν ἐξαιρετικῶς ἰσχυρῶν μαγνητικῶν ἢ ἠλεκτρικῶν πεδίων νὰ ἐπιταχυνθοῦν καὶ νὰ ἀποκτήσουν ταχύτητας κατὰ πολλὰς φορὰς μεγαλύτερας τῶν μορίων

τῶν ἀερίων τῶν ἐκτοξευομένων ἐκ τοῦ ἀκροφυσίου τῶν κοινῶν πυραύλων. Ἐν τοιοῦτον σύστημα θὰ ἐπέτρεπε τὴν ἐπίτευξιν πολὺ μεγάλων ὠστικῶν δυνάμεων διὰ τῆς ἐκτοξεύσεως μικρᾶς σχετικῶς μάζης καὶ ὁ πύραυλος θὰ ἠδύνατο νὰ ἐπιταχύνεται ἐπὶ μεγάλου χρονικὸν διάστημα. Φυσικὰ τὰ ἀπαιτούμενα τεράστια ποσὰ ἐνεργείας μόνον ἀπὸ τὴν διάσπασιν τῆς ὑλῆς δυνάμεθα νὰ ἐπιτύχωμεν, δηλαδὴ ἕνας πύραυλος κινούμενος δι' ἰόντων θὰ πρέπει νὰ περιλαμβάνῃ καὶ πυρηνικὸν ἀντιδραστήρα.

γ) *Φωτόνια*. Ὁ καθηγητὴς Staninkovitch καὶ πολλοὶ ἄλλοι Ρῶσοι ἐπιστήμονες ἐβεβαίωσαν ἐπανειλημμένως ὅτι ἐργάζονται διὰ τὴν κατασκευὴν πυραύλων ἐπιταχυνομένων μὲ φωτόνια, οἱ ὁποῖοι θὰ ἦσαν χρήσιμοι διὰ ταξίδια μεταξὺ τῶν ἀπλανῶν. Σχετικῶς μὲ τὰς δηλώσεις αὐτὰς ἔχουν διατυπωθῆ πολλαὶ ἀμφιβολίαι ἐπὶ τοῦ κατὰ πόσον, μὲ τὰ σημερινὰ θεωρητικὰ καὶ τεχνικὰ δεδομένα, εἶναι δυνατόν νὰ ὑπερβικηθοῦν αἱ τεράστια δυσκολίαι τὰς ὁποίας θὰ παρουσίαζεν ἐν τοιοῦτον σύστημα προωθήσεως. Ὁ καθηγητὴς Saenger μάλιστα διετύπωσε τὴν ἄποψιν ὅτι ἡ προώθησις διὰ φωτονίων δὲν θὰ καταστῇ δυνατὴ παρὰ μόνον ἐφ' ὅσον γίνουσι νέα ἀνακαλύψεις, διὰ τῶν ὁποίων νὰ ἀναθεωροῦνται ὠρισμέναι σημεριναὶ ἀντιλήψεις. Ἀναφέρεται ὡς παράδειγμα ὅτι κατὰ τὰς διαφορὰς ἀνακλάσεις ἢ διελύσεις μὲσφ φακῶν καὶ πρισμάτων θὰ πρέπει ἢ ἀπόδοσις νὰ εἶναι τῆς τάξεως 0,99999999.

SUMMARY

Rocket propulsion

By STEFANOS KONSTAS

This article deals with the rocket propellants and the problems presented by their use.

In the beginning the history of the rockets is exposed since their first appearance in China in the 10th century up to the end of the second World War.

A short theoretical discussion of the factors on which the specific impulse depends follows which draws the conclusion that there is a limit in the efficiency of the chemical propellants. Also, the technical problems and the importance of the financial aspect are examined.

In continuance the propellants are divided into liquids and solids and the characteristics and the way of using each one of them are presented. The exotic fuels (boranes e. t. c.) and drastic oxidants (ozon and fluorine) are examined especially.

Finally a brief discussion takes place on the principles of the propulsion with free radicals, ions and photons.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

1. Gall J. F.: *Ind. Eng. Chem.* **49**, 1331, (1957).
2. Deshere A. R.: *ibid.* **49**, 1333 (1957).

