# Rakety a Kosmodromy

Prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc.
Ústav radioelektroniky
FEKT VUT v Brně
Technická 12, SE7.108

E-mail kasal@feec.vutbr.cz
http://www.urel.feec.vutbr.cz/esl/

http://www.kosmo.cz/modules.php?op=modload&name=kosmo&file=index&fil=/m/zaklady/index.htm

# Ciolkovského rovnice

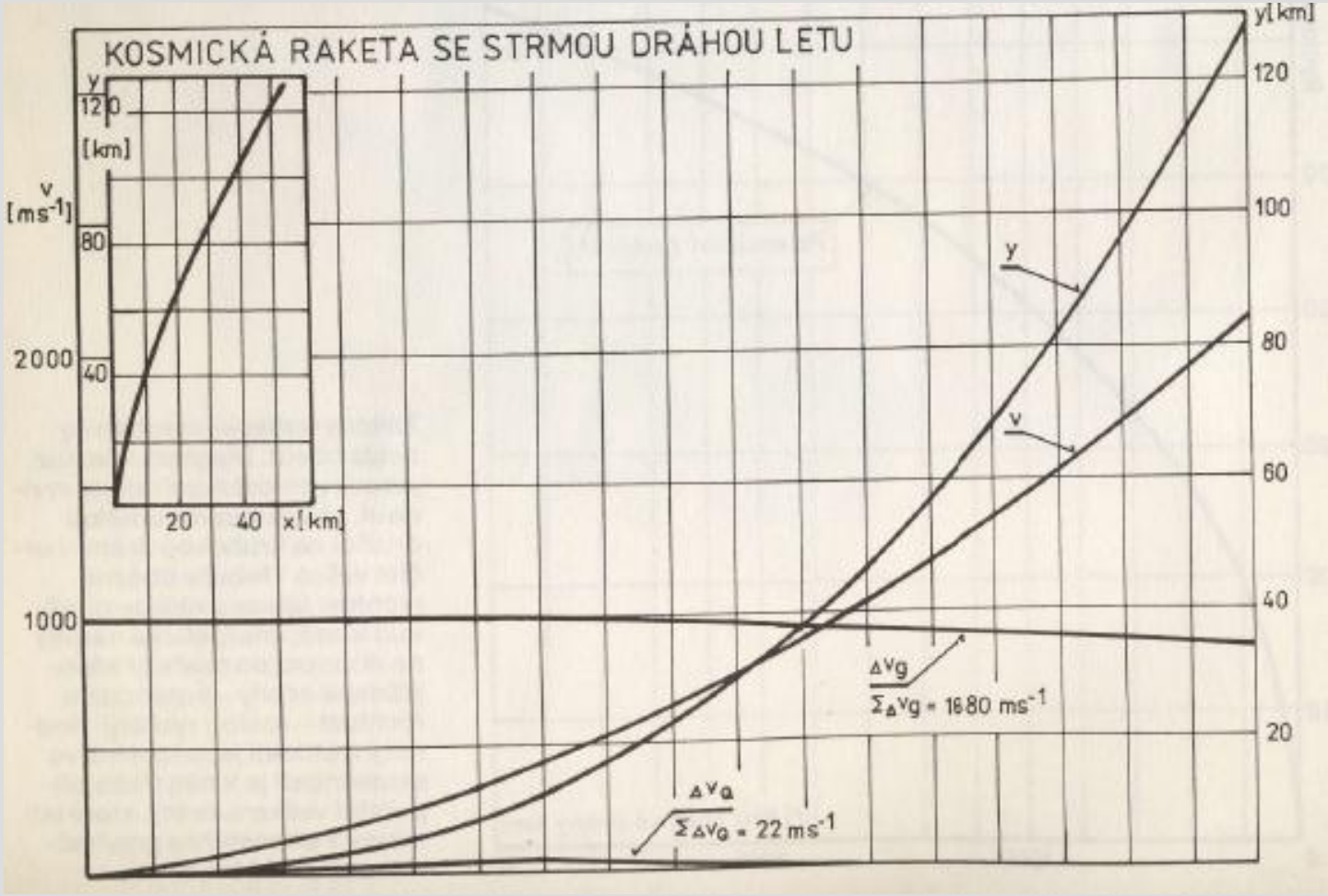
kterou ovšem jako první zformuloval britský matematik

# William Moore

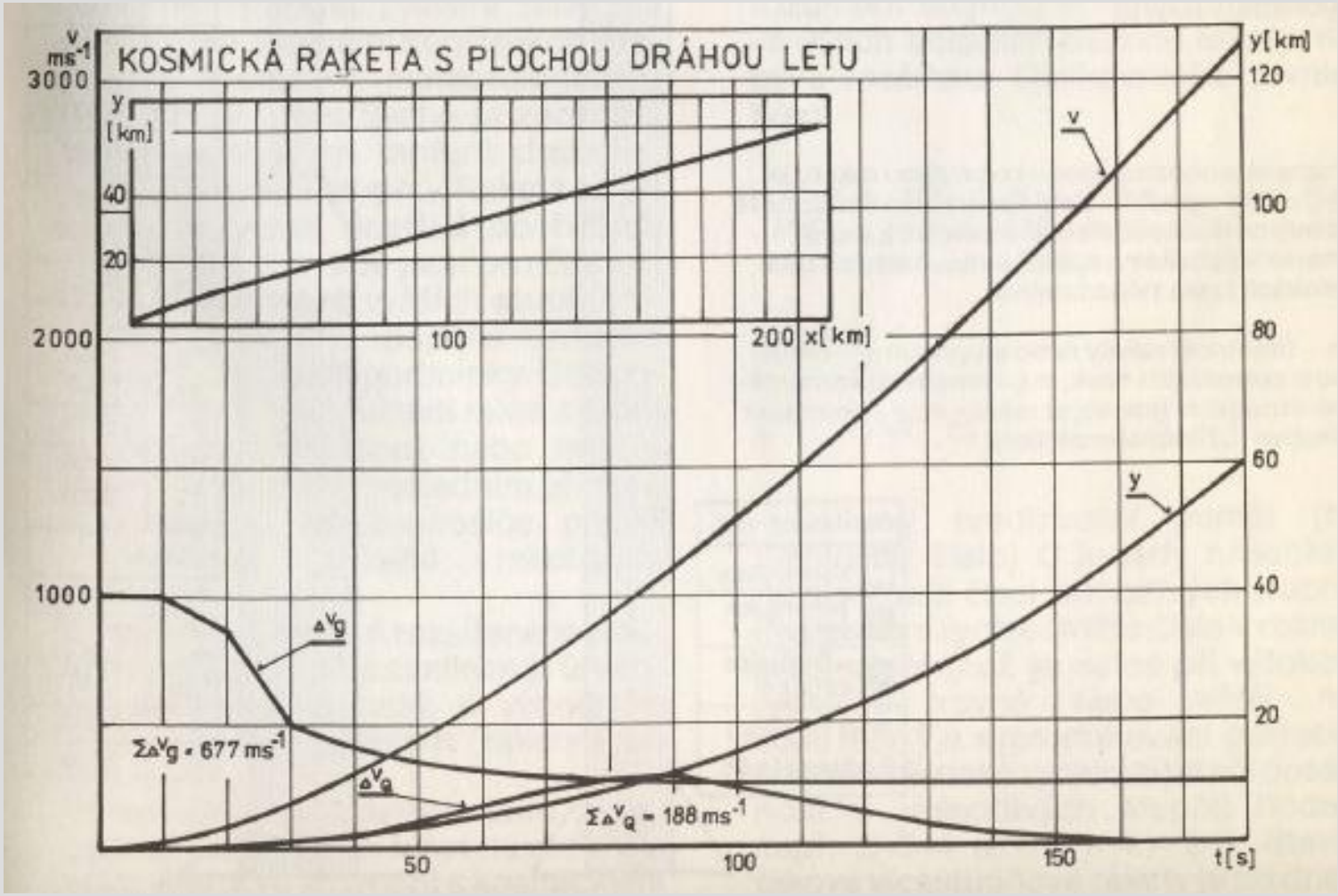
$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_1}$$ nebo $$m_1 = m_0 e^{-\Delta v / v_e}$$

kde $m_0$ je počáteční hmotnost rakety, $m_1$ je zůstatková hmotnost po spotřebování paliva, $v_e$ je výtoková rychlost zplodin raketového motoru.

**Specifický impuls** – poměr tahu a spotřeby paliva za jednu sekundu

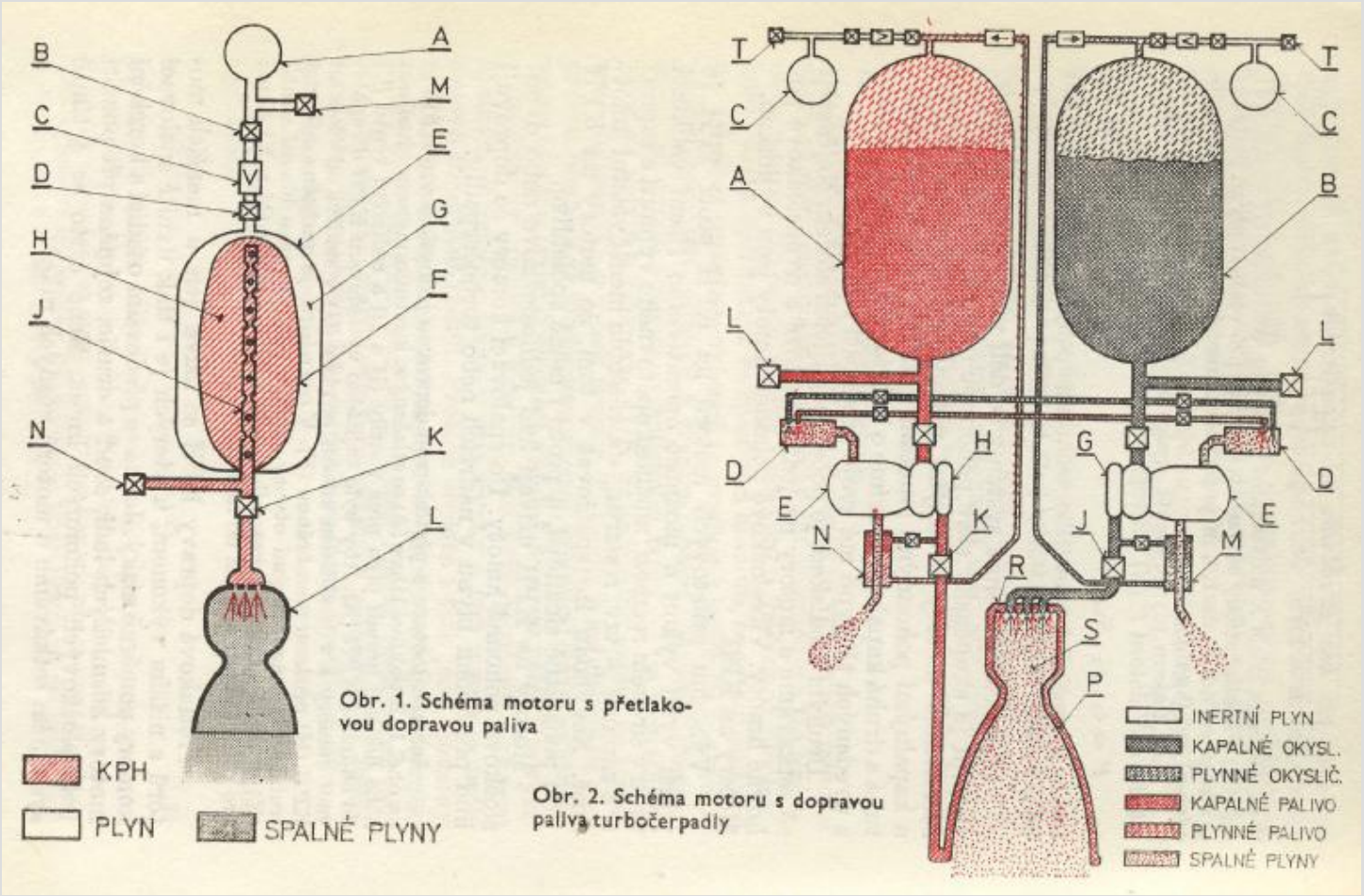



Strmý start – velké gravitační ztráty




Plochý start – odpor atmosféry stoupne se vzrůstající rychlostí až 9x,ale stále je výhodnější pro podstatně menší gravitační ztráty

# Raketové motory na kapalná paliva




Obr. 1. Schéma motoru s přetlakovou dopravou paliva

Obr. 2. Schéma motoru s dopravou paliva turbočerpadly

# Paliva pro kapalinové motory

**Tabulka II. Vlastnosti jednosložkových KPH**

| Látka | Chemický vzorec | Bod tání (°C) | Bod varu (°C) | Hustota (g/cm³) | Specifický impuls $I_{sp}$ (N.s/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| nitrometan | $CH_3NO_2$ | — 29 | 101 | 1,14 | 2500 |
| hydrazin | $NH_2—NH_2$ | 1 | 114 | 1,01 | 1950 |
| etylenoxid | $C_2H_4O$ | —111 | 11 | 0,87 | 1950 |
| tetranitrometan | $C(NO_3)_4$ | 13 | 126 | 1,64 | 1775 |
| peroxid vodíku | $H_2O_2$ | — 0,5 | 150 | 1,46 | 1620 |

Specifický impuls je udán pro tlak 7 MPa ve spalovací komoře.

**Tabulka III. Fyzikální vlastnosti některých okysličovadel**

| Název | Chem. vzorec | Bod tání (°C) | Bod varu (°C) | Hustota (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|
| kyslík | $O_2$ | —218 | —183 | 1,14 |
| fluór | $F_2$ | —223 | —188 | 1,50 |
| perfluorohydrazin | $N_2F_4$ | —163 | — 73 | 1,65 |
| oxid dusičitý | $N_2O_4$ | — 11 | 21 | 1,45 |
| peroxid vodíku | $H_2O_2$ | — 0,5 | 150 | 1,46 |
| dýmavá kys. dusičná | $HNO_3$ | — 56 | 60 | 1,58 |

**Tabulka IV. Fyzikální vlastnosti některých paliv**

| Název | Chemický vzorec | Bod tání (°C) | Bod varu (°C) | Hustota (g/cm³) |
|---|---|---|---|---|
| vodík | $H_2$ | —259 | —253 | 0,07 |
| diboran | $B_2H_6$ | —166 | — 93 | 0,45 |
| pentaboran | $B_5H_9$ | — 47 | 38 | 0,63 |
| amoniak | $NH_3$ | — 78 | — 33 | 0,82 |
| hydrazin* | $NH_2—NH_2$ | 1 | 114 | 1,01 |
| monometylhydrazin | $CH_3NH—NH_2$ | — 52 | 88 | 0,90 |
| asymetrický dimetylhydrazin* | $(CH_3)_2N—NH_2$ | — 58 | 63 | 0,79 |
| raketový petrolej RP-1 (kerosin) | $H(CH_2)_nH$ | — 46 | 160 až 300 | 0,8 |

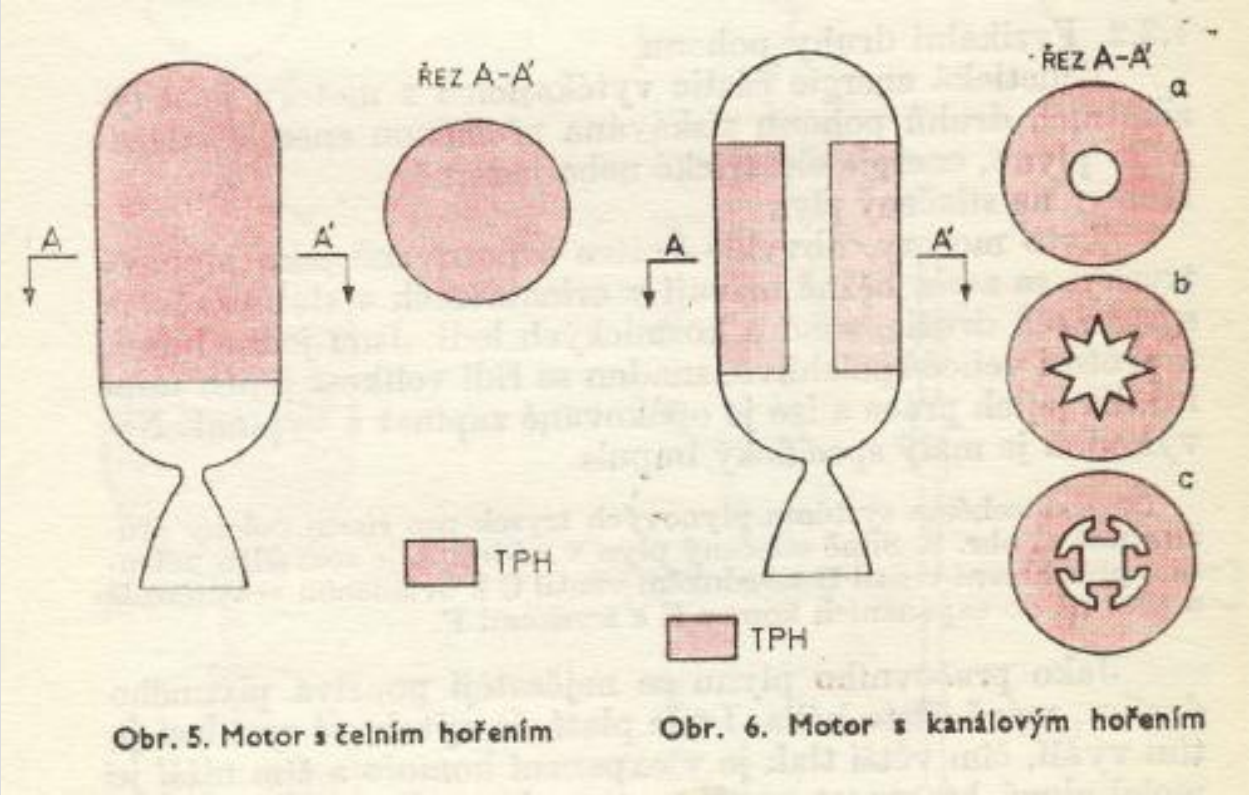
* Běžně používaná směs 50 % hydrazinu a 50 % asym. dimetylhydrazinu se označuje názvem Aerozine 50.

**Tabulka V. Specifické impulsy $I_{sp}$ některých dvousložkových KPH (N.s/kg)**

| Okysličovadlo | Palivo | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vodík | diboran | pentaboran | amoniak | hydrazin | monometyl hydrazin | asym. dimetyl-hydrazin | raketový petrolej RP-1 (kerosin) |
| kyslík | 3835 | 3375 H | 3140 H | 2895 | 3070 | 3050 | 3040 | 2950 |
| fluór | 4020 | 3640 H | 3530 H | 3510 | 3560 H | 3385 H | 3315 H | 3110 |
| perfluorohydrazin | 3565 | 3335 H | — | — | 3265 H | — | — | — |
| oxid dusičitý | 3340 | — | 2970 H | — | 2855 H | — | 2795 H | 2710 |
| peroxid vodíku (90 %) | 3160 | — | 3020 H | — | 2790 | — | — | 2710 |
| dýmavá kys. dusičná | 3135 | — | — | — | 2740 H | — | 2620 H | 2520 |

Specifický impuls je uváděn pro tlak 7 MPa ve spalovací komoře a 0,1 MPa v ústí trysky.
Písmeno H označuje hypergolickou směs.

# Motory na tuhá paliva

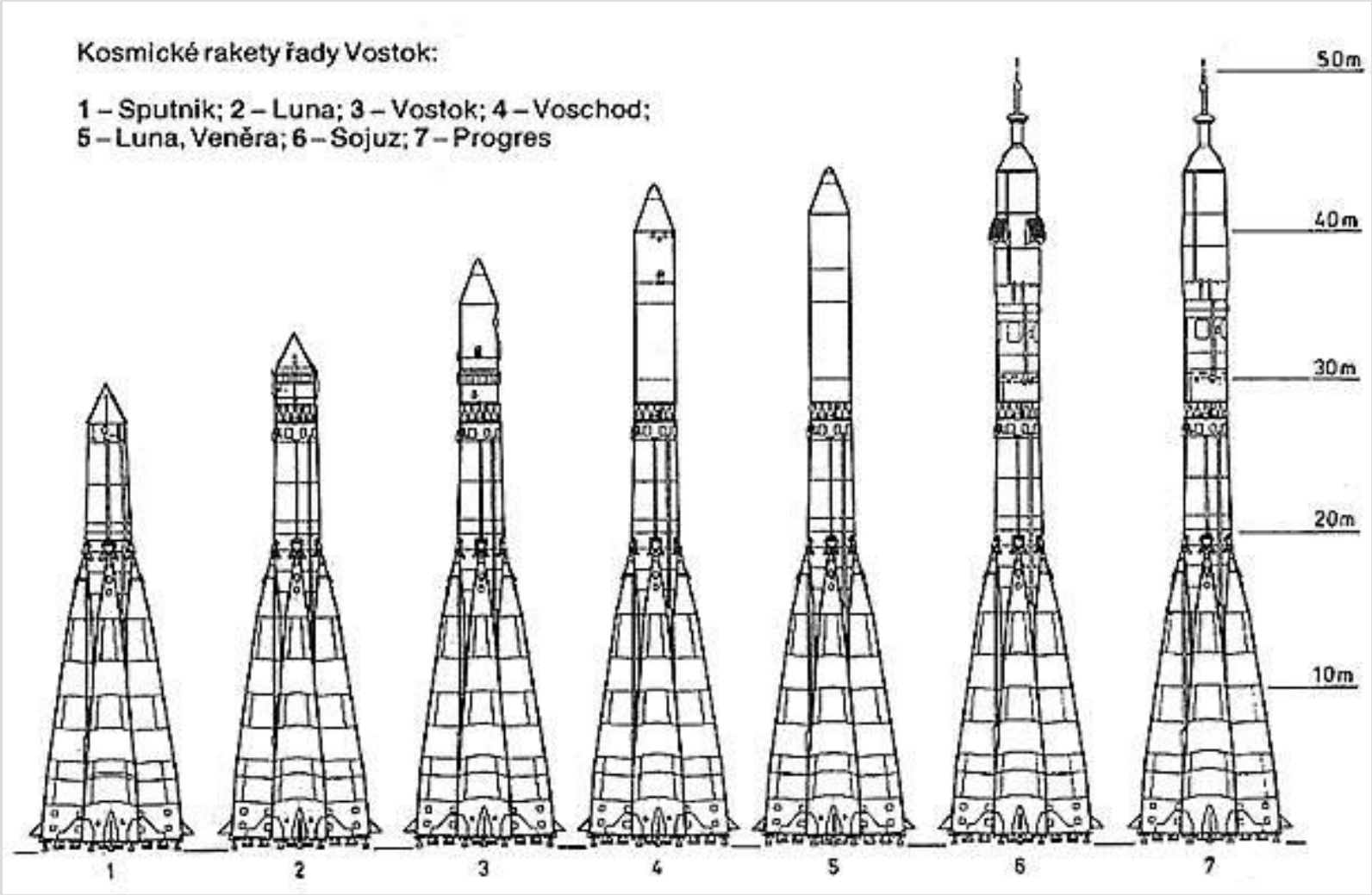



Obr. 5. Motor s čelním hořením

Obr. 6. Motor s kanálovým hořením

Paliva homogenní – bezdýmný střelný prach, nitrocelulóza, nitroglycerín

Paliva heterogenní – okysličovadlo ($KNO_3$), kaučuky a polyuretany s příměsemi práškových kovů


Kosmické rakety řady Vostok:
1 – Sputnik; 2 – Luna; 3 – Vostok; 4 – Voschod;
5 – Luna, Veněra; 6 – Sojuz; 7 – Progres
50m
40m
30m
20m
10m
1
2
3
4
5
6
7

Sputnik – 280 t mohla vynést 1500 kg

Vostok – přidán třetí stupeň - až 5000 kg nebo 1500 kg k Měsíci

Sojuz – 7500 kg
Sojuz U – do dneška 700 startů

Proton – až 25 t

Kosmos – SS20

Zenit - Ukrajina
Energija - zrušeno



# Americké rakety

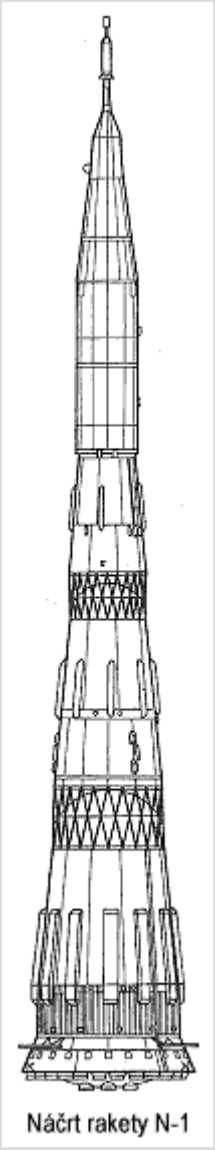
Atlas, Delta, Juno Kistler , LMLV Athena, Minotaur, Scout, Titan

Raketa Titan



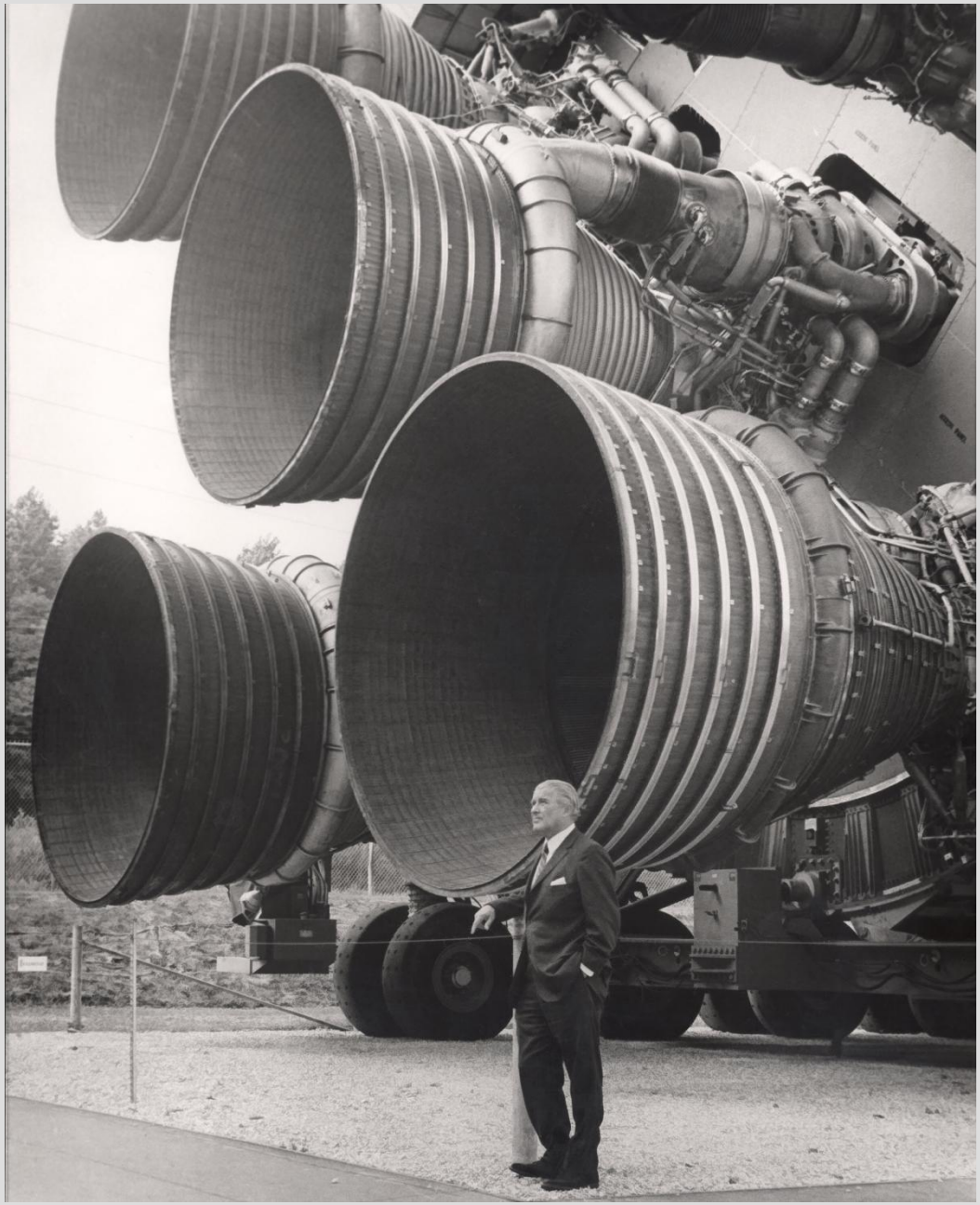
# Závod o Měsíc

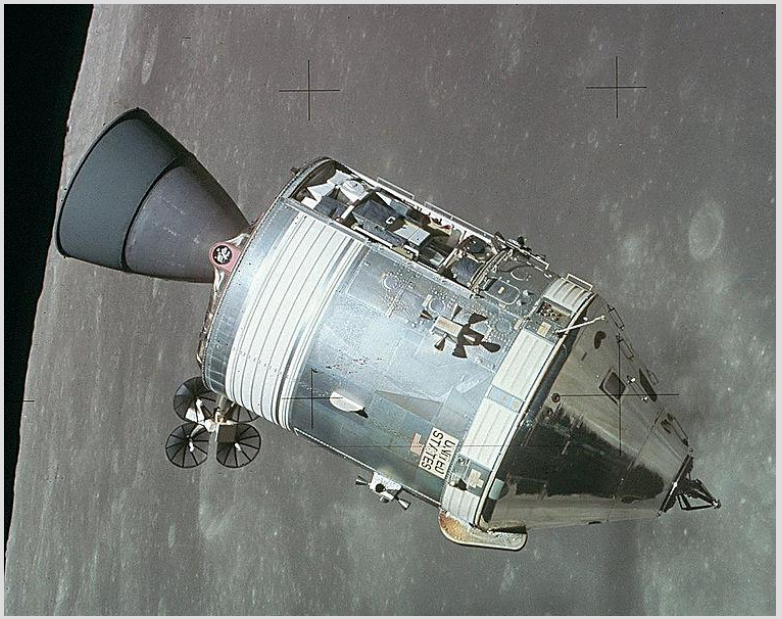


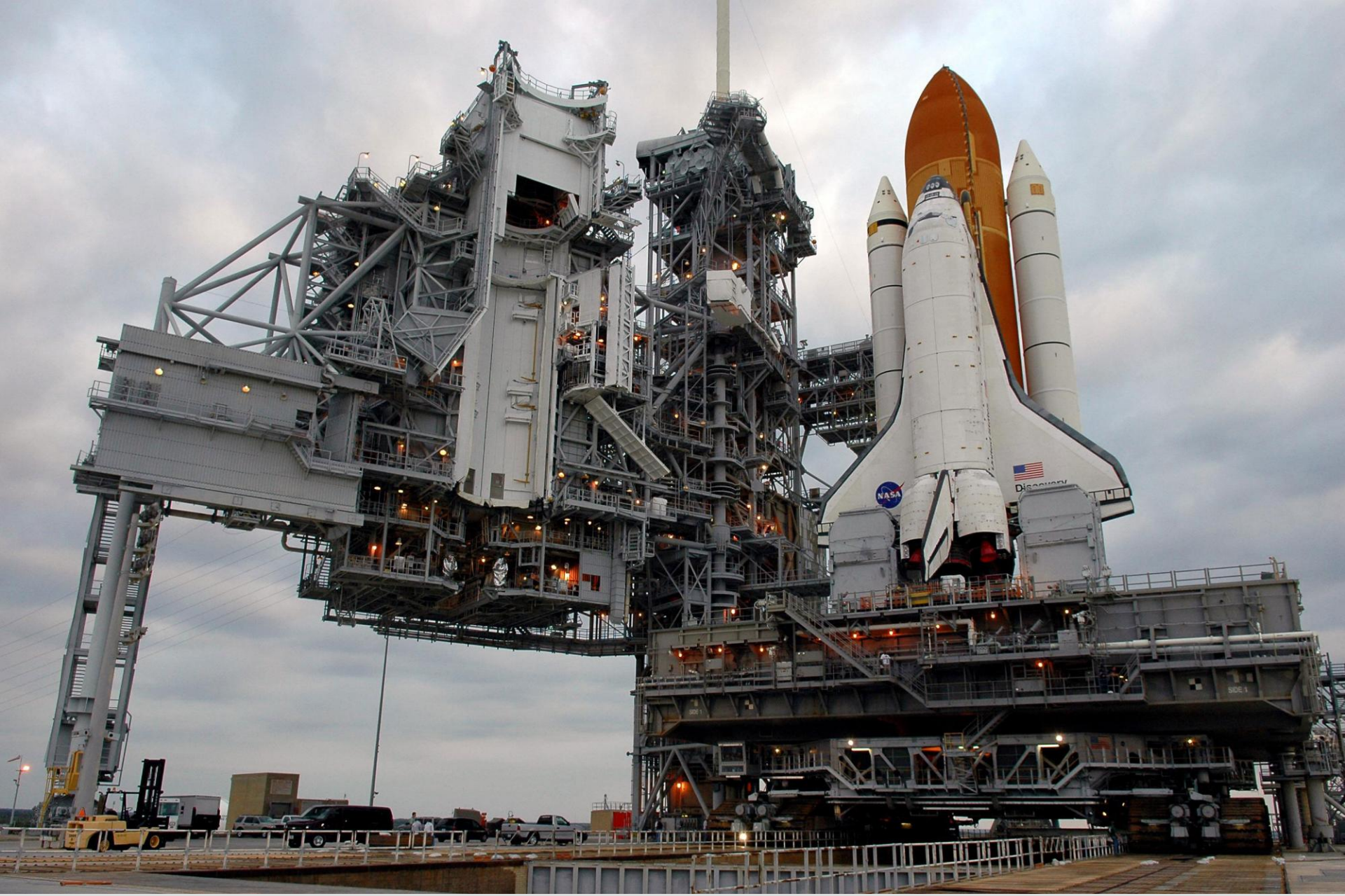


Náčrt rakety N-1

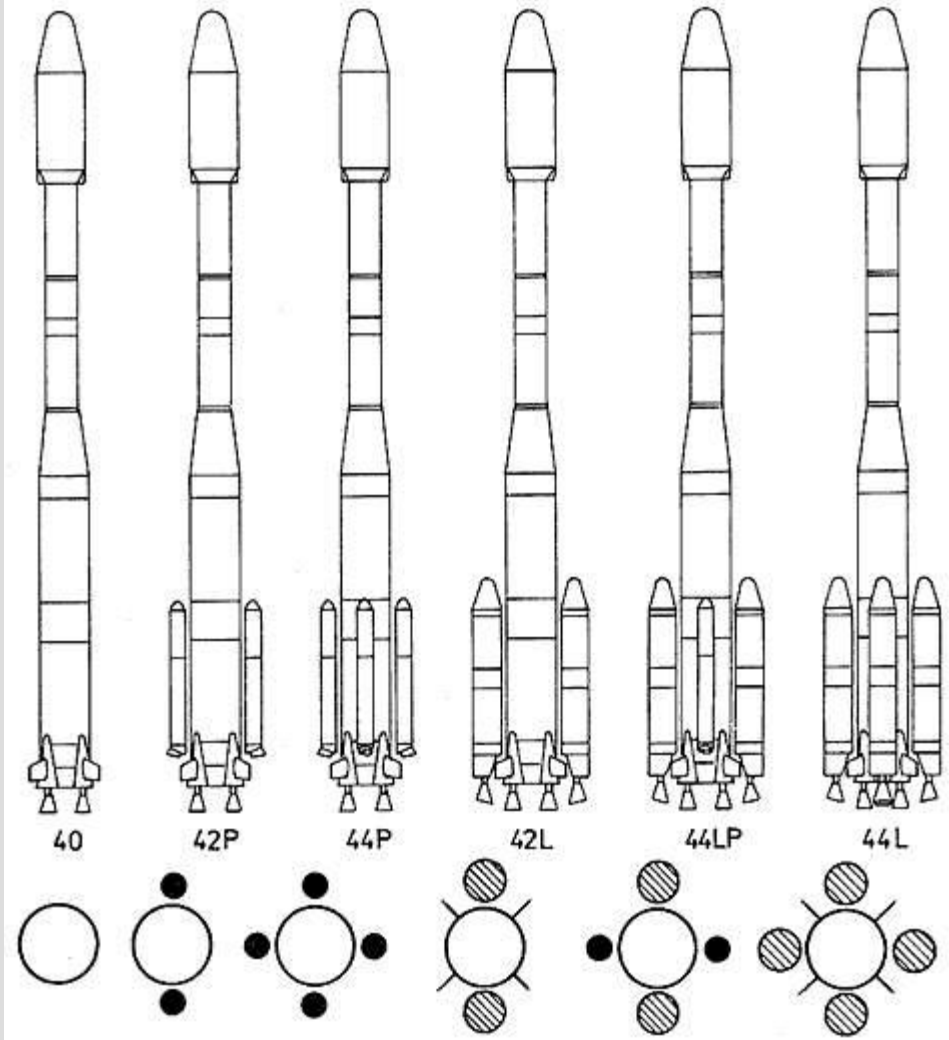
# Saturn V a Apollo






NASA
Discovery

*Varianty rakety Ariane 4 — verze 40 bez přídavných motorů; verze 42P se dvěma návěsnými motory na TPL; verze 44P se čtyřmi návěsnými motory na TPL; verze 42L se dvěma návěsnými motory na KPL; verze 44LP se dvěma návěsnými motory na TPL a dvěma na KPL; verze 44L se čtyřmi návěsnými motory na KPL*






## Japonská H2





## Čínský Dlouhý Pochod




## Indická GSLV

# Sea Lunch








# Space Launch System

| Mise | Datum | Poznámka |
|---|---|---|
| SLS-1 | Prosinec 2017 | Nepilotovaný oblet Měsíce lodí MPCV (Orion) |
| SLS-2 | Srpen 2019[2] | Pilotovaný oblet Měsíce s lodí MPCV |
| SLS-3 | Srpen 2022 | |
| SLS-4 | Srpen 2023 | |
| SLS-5 | Srpen 2024 | První start SLS v nákladní konfiguraci |
| SLS-6 | Srpen 2025 | Pilotovaná průzkumná mise |
| SLS-7 | Srpen 2026 | Nákladní let |
| SLS-8 | Srpen 2027 | Pilotovaný let |
| SLS-9 | Srpen 2028 | Nákladní let |
| SLS-10 | Srpen 2029 | Pilotovaný let |
| SLS-11 | Srpen 2030 | Nová konfigurace, nákladní let |
| SLS-12 | Srpen 2031 | Pilotovaný let |
| SLS-13 | Srpen 2032 | Nová konfigurace, nákladní let |

# Orion



# Space X



Dragon + Falcon 9






http://www.spacex.com/dragon

https://www.youtube.com/watch?v=sYmQQn_ZSys




MARMAC 304


ORBITAL SCIENCE CORPORATION
Cygnus
Orbital
Antares
Nyní ORBITAL ATK


SpaceShipTwo
SCALED COMPOSITES
GALACTIC




HOTEL DES ROCHES
BIENVENUE




Bienvenue Welcome
CENTRE SPATIAL GUYANAIS
Port spatial de l'Europe
Europe's Spaceport
esa
cnes





Centre Spatial Guyanais

M17290

15/09/04

M

AMSAT DL

038653

MIROSLAV

KASAL

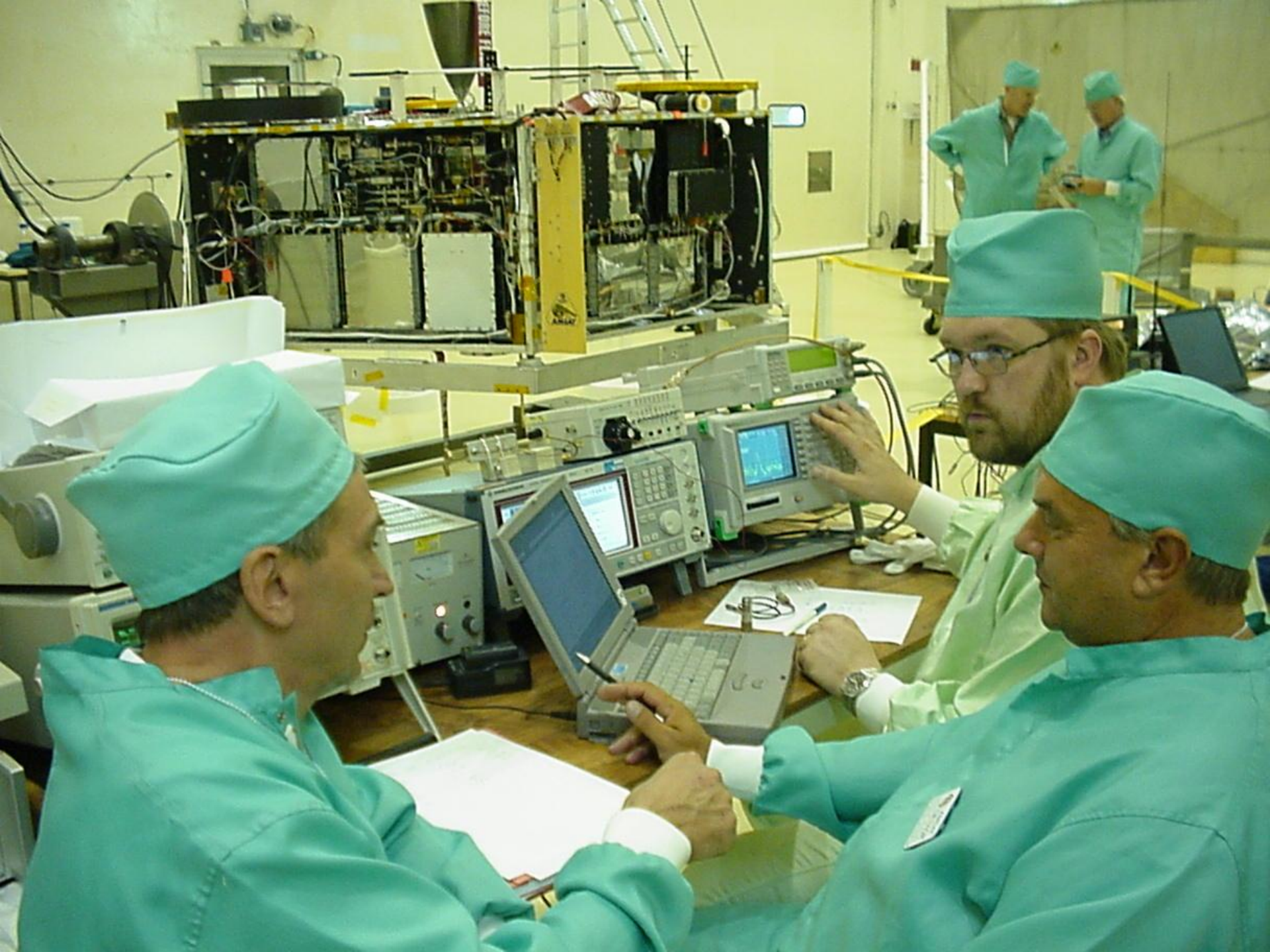

esa


HAZARDOUS AREA
NO SMOKING
BEYOND THIS POINT
LALOYERU
60 80


esa
european space agency
agence spatiale européenne
S3A
BATIMENT REMPLISSAGE ET ASSEMBLAGE SATELLITE
SPACECRAFT FILLING AND ASSEMBLY BUILDING


ENTREE S3A


B
BEFORE FLIGHT






esa
ariane
CENTRE DE LANCEMENT N°3




NEWTON















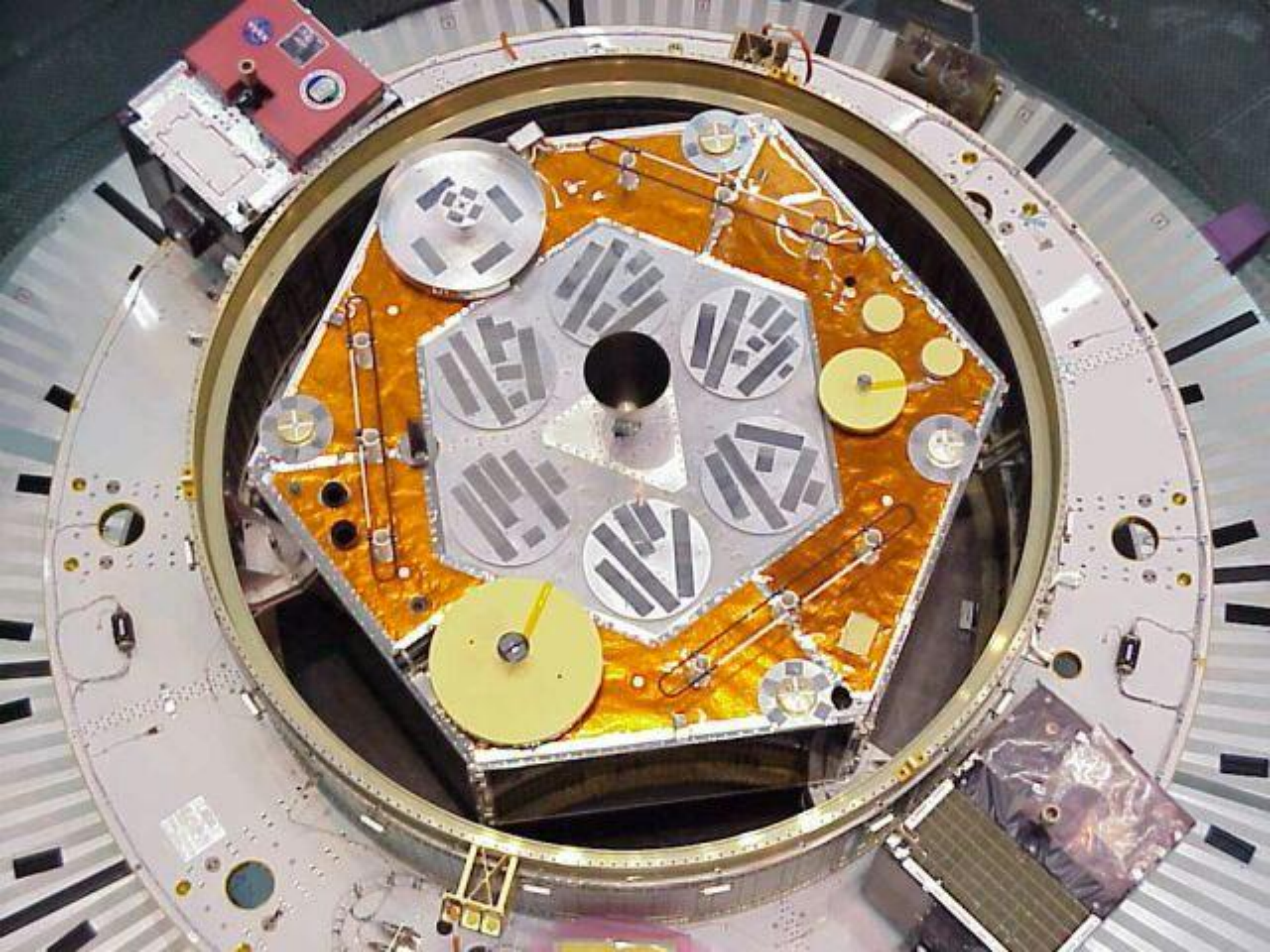

cnes
cnes

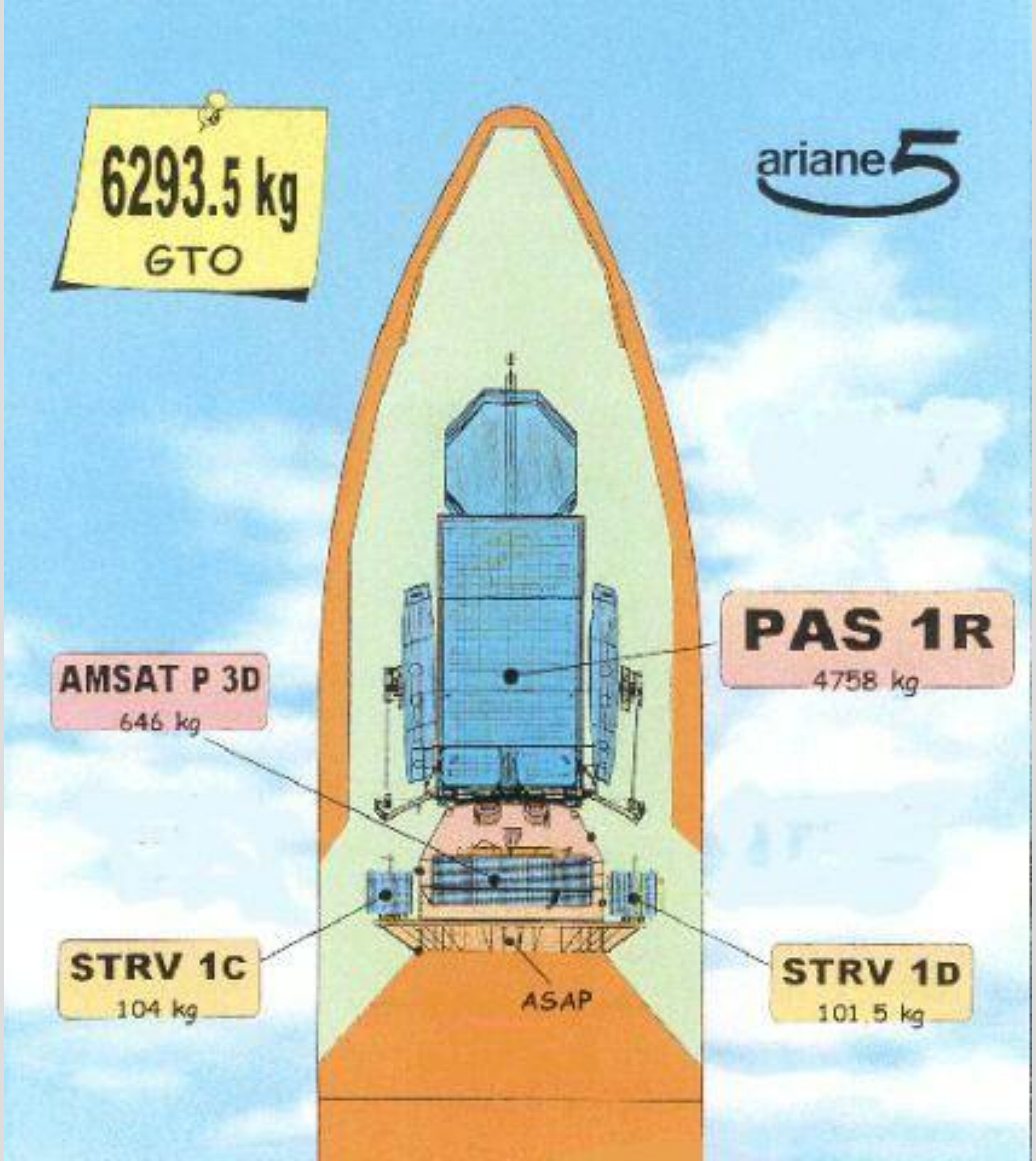

esa


esa
ariane
V 125








6293.5 kg
GTO
ariane 5
PAS 1R
4758 kg
AMSAT P 3D
646 kg
STRV 1C
104 kg
ASAP
STRV 1D
101.5 kg


AMSAT Office


02.12
PAS 1R
AMSAT P3D
Peter GULZOW
P3D Mission Director AMSAT
arianespace


01.40
arianespace

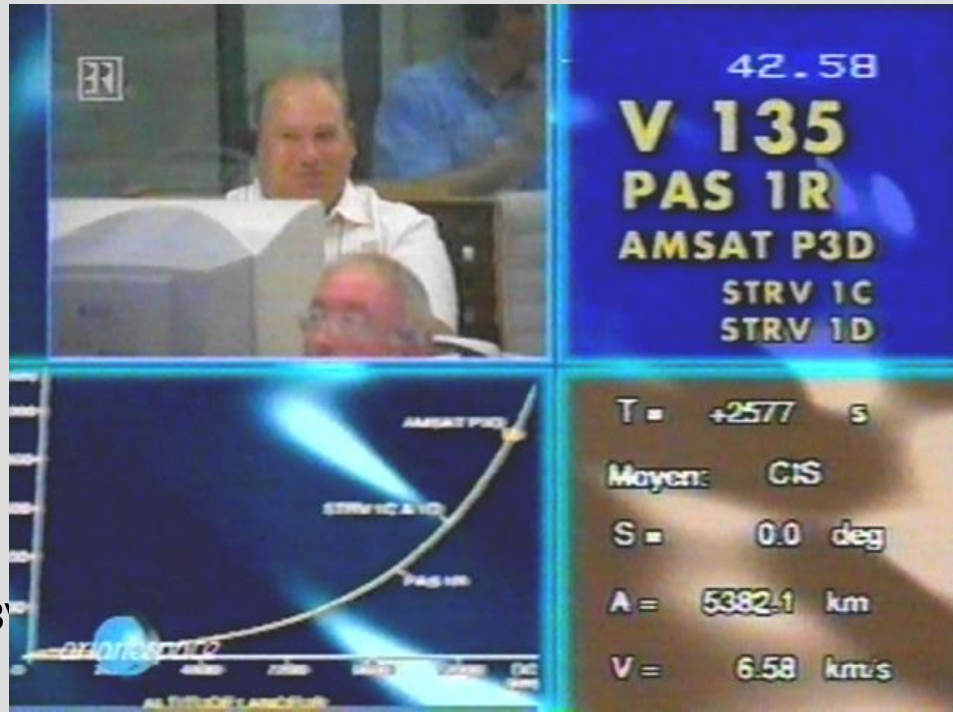

00.00
arianespace


00.08
arianespace


00.15
arianespace


00.31
arianespace


02.32
A = 73.6 km
CINE
V = 2.11 km/s
arianespace


42.58
V 135
PAS 1R
AMSAT P3D
STRV 1C
STRV 1D
T = +2577 s
Moyen: CIS
S = 0.0 deg
A = 5382.1 km
V = 6.58 km/s
arianespace