

EPOCHE ATOM UND AUTOMATION

ENZYKLOPÄDIE DES TECHNISCHEN JAHRHUNDERTS BAND V

DIE LUFTFAHRT

DIE WELTRAUMFAHRT



WILHELM LIMPERT - VERLAG FRANKFURT AM MAIN

1959

Das 10bändige Gesamtwerk, an dem über 100 international anerkannte Wissenschaftler und Experten beteiligt sind, entstand in Zusammenarbeit zwischen dem Wilhelm Limpert-Verlag, Frankfurt/Main und dem René Kister-Verlag, Genf.

Das Werk erscheint in mehreren Sprachen.

Die Rechte der vorliegenden Ausgabe in deutscher Sprache liegen beim Wilhelm Limpert-Verlag, Frankfurt/Main.

Jeder, auch auszugsweise Nachdruck, oder die Verwertung und Verwendung von bildlichen oder graphischen Darstellungen bedarf der Genehmigung des Wilhelm Limpert-Verlags, Frankfurt/Main.

Schriftleitung

der deutschen Ausgabe: Diplom-Physiker Dr. Ludwig Albert, Karlsruhe

Diplom-Physiker Karl Breh, Karlsruhe

Dr. Walter Barbier, Frankfurt/Main

Druckherstellung: Johannes Weisbecker, Frankfurt/Main

Buchbinderarbeit: Johannes Weisbecker, Frankfurt/Main

Klischees: Schwitter AG, Basel

Gravinyl S. A., Lausanne

Römer-Klischee, Frankfurt/Main

Verlagsnummer: 5906

Künstliche Erdsatelliten

Einführung

Eines der vollkommensten Mittel der Gegenwart zur Erforschung unseres Planeten aus großen Höhen ist die Verwendung von künstlichen Erdsatelliten. Die künstlichen Trabanten werden im weiteren auch dazu dienen, dem Menschen das Eindringen in den interplanetaren Raum zu ermöglichen. Solche Trabanten kreisen in einer Höhe von einigen Hunderten bis einigen Tausenden Kilometer um die Erde.

Die theoretischen Grundlagen für die Schaffung eines um die Erde kreisenden künstlichen Himmelskörpers finden wir bereits in dem 1687 veröffentlichten genialen Werk Isaak Newtons »Philosophiae naturalis principia mathematica«. Im 18. und 19. Jahrhundert wurden aber die Schlußfolgerungen Newtons lediglich als abstrakte Erwägungen aufgefaßt, die es erleichterten, die Gesetze der Bewegung der Himmelskörper zu begreifen.

K. Ziolkowski (1857–1935) sprach im Jahre 1895 den Gedanken aus, einen künstlichen Erdsatelliten zu schaffen, und machte zu Beginn unseres Jahrhunderts den Vorschlag, außerhalb der Erdatmosphäre ein ständiges Observatorium zu errichten.

Am 4. Oktober und 3. November 1957 wurden in der Sowjetunion die ersten künstlichen Satelliten der Erde gestartet. Am 31. Januar 1958 wurde ein Erdtrabant in den USA gestartet. Diese Ereignisse werfen neues Licht auf unsere Vorstellungen auf dem Gebiet der Astronautik und bringen die Lösung einiger ihrer Probleme näher.

Die Schaffung des ersten künstlichen Mondes ist nicht nur ein Schritt vorwärts in der Entwicklung der menschlichen Kultur, sondern eine Revolution in Wissenschaft und Technik, die eine neue Ära in der Geschichte der Eroberung des Weltalls eröffnet. Mit dem Start des zweiten Sputniks mit verschiedenen wissenschaftlichen Geräten und einem Versuchshund sind die Möglichkeiten ganz gewaltig gestiegen, die oberen Atmosphärenschichten und verschiedene Erscheinungen, die im kosmischen Raum vor sich gehen, zu studieren. Es wurden wertvolle medizinisch-biologische Angaben erhalten, die sich auf die Existenzbedingungen lebender Organismen bei anhaltenden kosmischen Flügen beziehen, ebenso auch neue Angaben über die kosmischen Strahlen, über die Verbreitung der Radiowellen und über die Atmosphärendichte in solchen Höhen, die zuvor noch kein Flugapparat erreicht hatte.

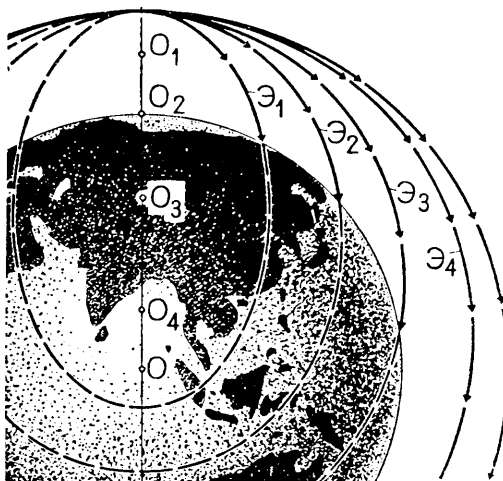


Abb. 1. Ein horizontal abgeschossener Körper beschreibt Ellipsen (E_1, E_2, E_3, E_4), deren einer Brennpunkt im Erdmittelpunkt (O), und der andere (O_1, O_2, O_3, O_4) in der Nähe des Abschlußpunktes liegt. Mit zunehmender Anfangsgeschwindigkeit werden die Ellipsen größer. Gleichzeitig nähert sich auch der zweite Brennpunkt dem Erdmittelpunkt.

Da ein lebender Organismus einige Tage lang unter Verhältnissen der Schwerelosigkeit funktionieren konnte, ist zu erwarten, daß auch der Mensch Weltraumflüge überstehen können.

Das Prinzip der Bewegung eines künstlichen Satelliten

Künstliche Erdsatelliten nennen wir künstlich geschaffene Himmelskörper, die sich um die Erde bewegen. Dies vollzieht sich dank der angesammelten kinetischen Energie und unter Einwirkung der Anziehungskraft unseres Planeten, also ohne irgendwelchen Antrieb. Welcher Art ist das Prinzip der Bewegung des künstlichen Satelliten?

Bringt man einen Körper unweit der Erdoberfläche auf eine horizontale Geschwindigkeit von 11,18 Kilometer pro Sekunde, dann wird er sich auf einem Parabelzweig für immer von unserem Planeten entfernen. Wenn die Geschwindigkeit dieses Wurfes größer oder kleiner ist, wird der Körper eine hyperbolische oder elliptische Bahn beschreiben (Abb. 1). Diese Ellipse kann zum Teil auch durch die Erde verlaufen; in diesem Falle muß der Körper unausbleiblich auf die Oberfläche unseres Planeten zurückfallen. Bei einer bestimmten, genügend

hohen Geschwindigkeit kann die Ellipse aber die ganze Erde umgürten (über der Atmosphäre); in diesem Falle kann der Körper unseren Planeten umkreisen und zu seinem künstlichen Trabanten werden. Wenn die beiden Brennpunkte der elliptischen Bahn zusammenfallen, bewegt sich der Trabant auf einer Kreisbahn.

Die Umlaufgeschwindigkeit beträgt an der Erdoberfläche 7912 m/sec. Mit zunehmender Höhe nimmt sie anfangs rapid, dann immer langsamer ab. In 200 km Höhe beträgt sie 7791 m/sec und in 2000 km Höhe bereits 6903 m/sec (siehe punktierte Kurve auf der Zeichnung).

Im Gegensatz zum Flugzeug kann der künstliche Erdtrabant nicht in beliebiger Richtung über der Erde fliegen. Es ist zum Beispiel unmöglich, den künstlichen Satelliten zu veranlassen, mit ausgeschaltetem Triebwerk einem Polarkreis entlang zu fliegen; es ist unmöglich, den Satelliten zu zwingen, in einer Zickzacklinie zu fliegen; es ist unmöglich, die Flugzeit des Satelliten von einer Stadt zu einer anderen usw. bedeutend zu verkürzen oder auszudehnen. Der künstliche Erdtrabant, der den Gesetzen der Himmelsmechanik unterworfen ist, kann sich nur auf einer kreisförmigen oder elliptischen Bahn bewegen. Außerdem kann er sich,

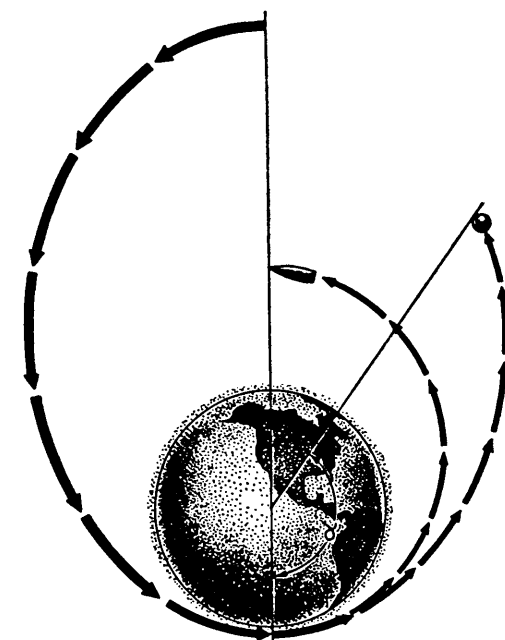
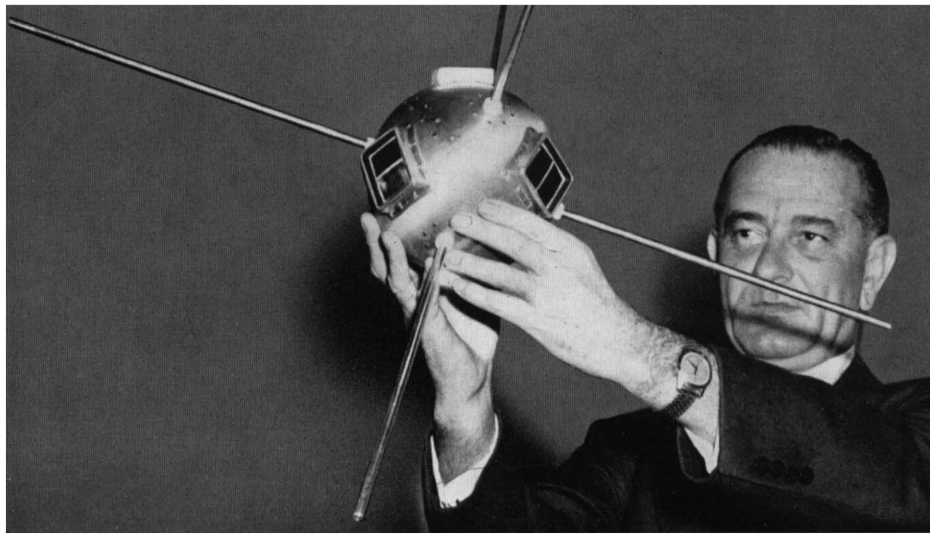


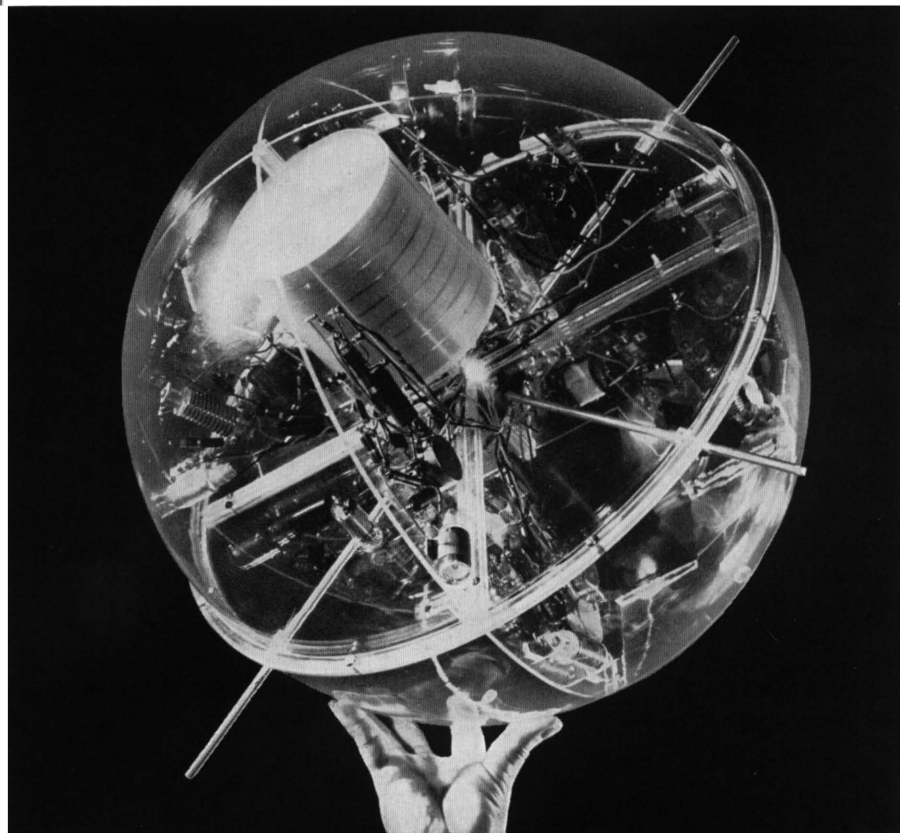
Abb. 2. Die Trägerrakete überholt den Satelliten, weil sie durch Luftreibung stärker abgebremst wird.

DER AMERIKANISCHE SENATOR JOHNSON mit dem »Pamplemousse«, der in die Vanguard-Rakete eingebaut wird. Seine Fenster sind »Sonnenbatterien«, die den Sendern lange Zeit elektrische Energie liefern. Im Vanguard-Projekt werden die jüngsten Fortschritte amerikanischer Wissenschaft und Technik angewendet. Wahrscheinlich sind die ersten Versuche gescheitert, weil eine zu große Zahl umwälzender Lösungen zur Anwendung gelangen sollte.



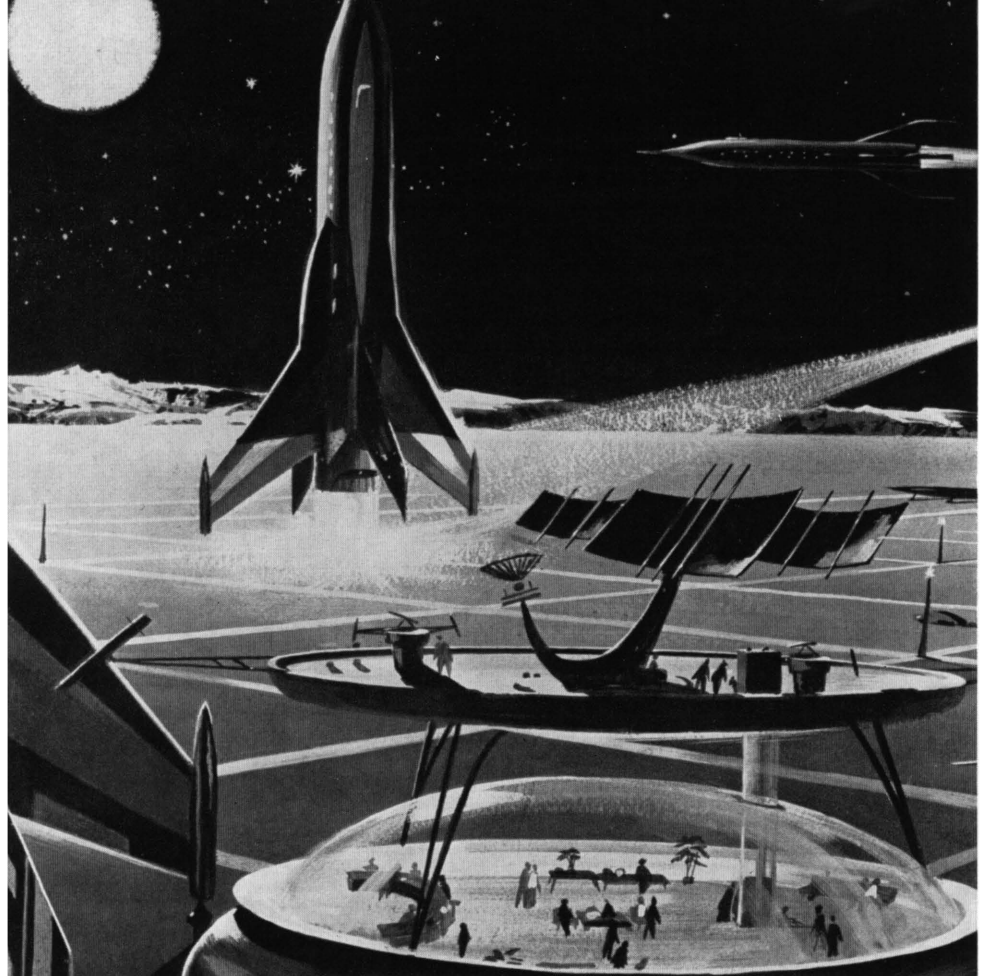
DIE HÜNDIN LAIKA, DAS ERSTE LEBENDE Wesen, das eine Woche außerhalb unserer Atmosphäre zugebracht hat. Der Hund ist ein höheres Lebewesen, dessen Physiologie eine große Ähnlichkeit mit derjenigen des Menschen hat. Die vom Sputnik II gelieferten Meßergebnisse lassen die Annahme als begründet erscheinen, daß es nicht unmöglich ist ohne den Schutz der Atmosphäre auszukommen.

OHNE DIE ENORMEN FORTSCHRITTE DER Elektronik würden die künstlichen Satelliten einen großen Teil ihrer wissenschaftlichen Bedeutung verlieren. Die Unterbringung eines Radiosenders, der Meßinstrumente und der zur Umwandlung der Meßwerte in elektrische Signale notwendigen Geräte ist eine Leistung, die man vor zehn Jahren nicht zu erhoffen gewagt hätte.



DIE FLUGPLÄTZE VON MORGEN MÜSSEN schon heute geplant werden. Denn wenn die Zeitspanne zwischen den künsten wissenschaftlichen Ideen und deren Verwirklichung auch immer kleiner wird, so ist sie immer noch beträchtlich (fünf bis dreißig Jahre). Bestimmte wissenschaftliche Institute zögern nicht, heute schon sehr ernsthaft die utopischen Pläne der Flugplätze von 1990 zu entwerfen.

RAUMSTATIONEN HABEN SCHON VIELE Künstler angeregt. Diese künstlichen Monde, astronautische Beobachtungs- und Zwischenstationen, haben ihre Anhänger und ihre Gegner. »Warum nicht den Mond benutzen?« sagen die einen – »Zu weit«, antworten die anderen, zu denen auch Werner von Braun gehört, der die Pläne für Raumstationen schon entwickelt hat.



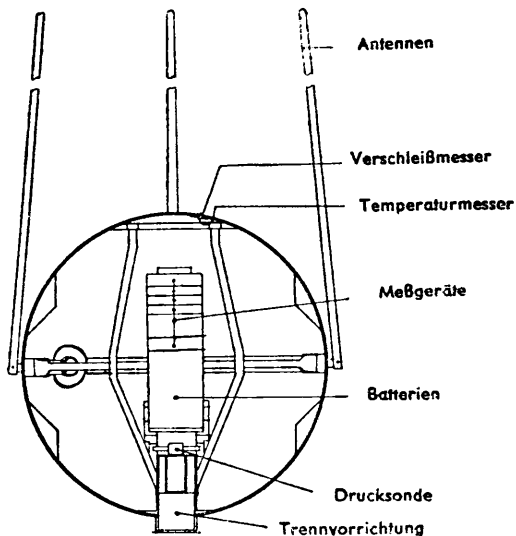
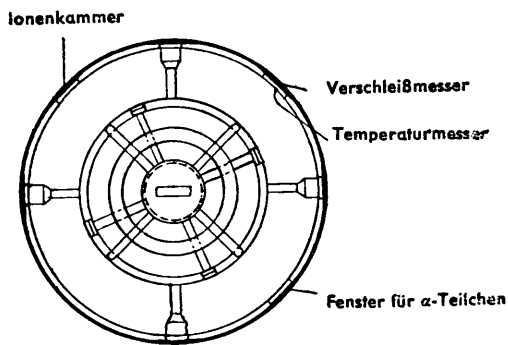


Abb. 3. Schnitt durch den Satelliten einer Vanguard-Rakete, der die verschiedenen Meßgeräte zeigt, welche die Erforschung der Grenzen der Atmosphäre gestatten. Gemessen werden: Druck, Temperatur, Meteorite, Sonnenspektrum, kosmische Strahlung, usw. (Zeichnung Barrère).

ebenso wie ein Körper, der gegen den Horizont geneigt abgeschossen wurde, nur in einer durch den Erdmittelpunkt verlaufenden Fläche bewegen, d. h. in der Fläche eines Großkreises (Abb. 2). Die Bahnebene des künstlichen Satelliten bleibt in bezug auf die Sterne fest. (Wir berücksichtigen hier nicht Bahnabweichungen durch die Abplattung der Erde, die Anziehungskraft des Mondes usw.)

Elliptische Bahn

Die ersten sowjetischen künstlichen Erdsatelliten erreichten nicht kreisförmige, sondern elliptische Bahnen. Das ist durch folgende Erwägungen zu erklären. Die Kreisbahn kann nur bei streng bestimmter, horizontal gerichteter Geschwindigkeit erreicht werden. Infolge unausbleiblicher Abweichungen von Geschwindigkeit und Richtung beim Start kann es vorkommen, daß die Rakete sofort nach dem Aufstieg beginnt, auf die Erde zurückzufallen. Aus diesem Grunde wird der Rakete in ihrer Maximalhöhe eine größere horizontale Geschwin-

digkeit mitgeteilt, als für die Kreisbahn in der betreffenden Höhe erforderlich wäre, wodurch sie sich in elliptischer Bahn zu bewegen beginnt. Das Apogäum der Bahn des ersten Sputniks lag über der südlichen Halbkugel in ungefähr 950 km Höhe, das des zweiten in 1670 km Höhe. Das Perigäum des amerikanischen Satelliten »Explorer 1« war 350 km, sein Apogäum 2550 km. Der Unterschied zwischen der großen und der kleinen Achse der Ellipsenbahnen der Sputniks beträgt einen Bruchteil eines Prozents.

Wie bewegen sich eigentlich die künstlichen Erdsatelliten auf ihren elliptischen Bahnen? Für die Bewegung des Trabanten um den Planeten sind die von Johannes Kepler entdeckten Gesetze der Planetenbewegung um die Sonne anwendbar. Entsprechend dem ersten Gesetz Keplers muß sich der eine Brennpunkt der Ellipse, auf der sich der künstliche Mond bewegt, im Mittelpunkt unseres Planeten befinden; der zweite Brennpunkt befindet sich, wie aus den geometrischen Abhängigkeiten folgt, in derselben Entfernung von dem Apogäum (Maximalhöhe) des Satelliten, wie der Mittelpunkt der Erde von seinem Perigäum (Minimalhöhe der Bahn des Erdtrabanten).

Entsprechend dem zweiten Gesetz Keplers überstreicht der Radius-Vektor des Satelliten in gleichen Zeiträumen gleiche Flächen. Dieser sogenannte Flächensatz gibt die Möglichkeit, zu errechnen, wie sich die Geschwindigkeit des Trabanten auf seinem ganzen Weg ändert. Dem dritten Gesetz Keplers zufolge verhalten sich die Quadrate der Umlaufzeiten der Satteli-

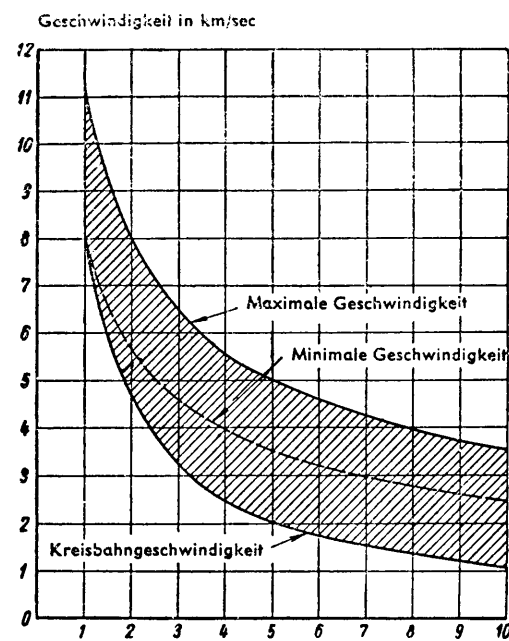


Abb. 4. Für jede Höhe berechnet man a) eine Kreisbahngeschwindigkeit bei der der Körper eine konstante Höhe beibehält; eine maximale Geschwindigkeit, bei der er eine Parabel beschreibt und ins Unendliche entweicht; c) eine minimale Geschwindigkeit, bei der er eine Ellipse beschreibt, welche die Erde berührt.

ten um die Erde proportional zu den Kuben der großen Halbachsen ihrer Bahn. Die Größe der kleinen Ellipsenachse übt keinerlei Einfluß auf die Umlaufzeit des Erdtrabanten aus, sondern kommt lediglich in der Bewegungsgeschwindigkeit des Satelliten zum Ausdruck: je

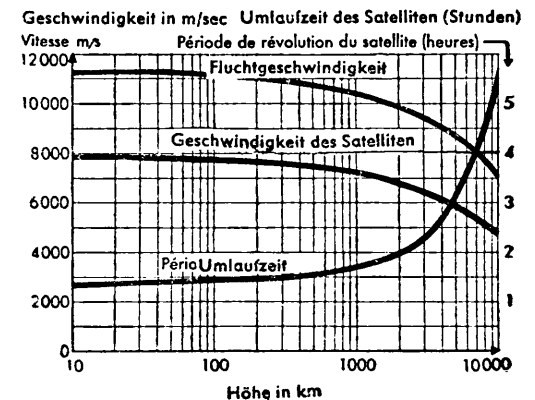


Abb. 5. Die Fluchtgeschwindigkeit ergibt sich aus der Forderung, daß die kinetische Energie der Masse gleich der Arbeit sein muß, die frei wird, wenn die Masse aus dem Unendlichen auf die Erde fällt. Sie ist gleich $\sqrt{2}$ mal der Geschwindigkeit des auf einer Kreisbahn umlaufenden Satelliten.

zusammengedrückter die Ellipse ist (bei konstanter Hauptachse), desto kleiner ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der Bahnbewegung des Satelliten.

Extremalgeschwindigkeiten des künstlichen Satelliten

Sind beliebige Geschwindigkeiten der künstlichen Satelliten möglich?

Stellen Sie sich einen künstlichen Satelliten vor, der knapp über der Erde kreist. Wenn er im Perigäum 11,18 km/sec zurücklegt (die sogenannte parabolische Geschwindigkeit), entzieht er sich der Erdanziehungskraft, d. h. er verläßt die Erde auf einem Parabelzweig, dessen Brennpunkt im Mittelpunkt unseres Planeten liegt und hört auf, Erdsatellit zu sein. Für jede Entfernung vom Mittelpunkt der Erde gibt es eine gewisse Maximalgeschwindigkeit, unterhalb welcher der Körper noch im Bereich der Erdanziehung verbleibt. Diese Geschwindigkeit ist um 41,2% größer, als die Kreisbahngeschwindigkeit im gegebenen Falle.

Andererseits gibt es auch eine untere Geschwindigkeitsgrenze des Satelliten im entsprechenden Punkt des Weltraums. Wenn man nämlich die Geschwindigkeit des Satelliten, der sich auf einer Kreisbahn bewegt, verringert, dann beginnt er eine Ellipse zu beschreiben, die innerhalb der ursprünglichen Bahn liegt. Je mehr wir die Bewegung des Satelliten bremsen, d. h. je langsamer seine Geschwindigkeit ist, wenn er aus der Kreisbahn in die elliptische übergeht, desto niedriger wird auch das Perigäum seiner neuen Umlaufbahn liegen. Bei einer bestimmten

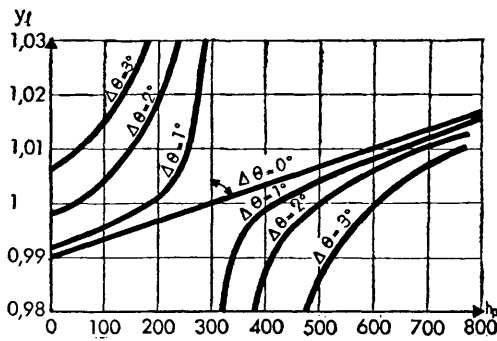


Abb. 6. Die Auswirkungen der Abweichungen des Winkels $\Delta\theta$ und des Betrags Y_1 der Einschufgeschwindigkeit auf die Bahn. Sei h_L die Höhe in der der Satellit in die Bahn eingeschossen wird. Dieser Höhe entspricht eine Bahngeschwindigkeit v_e . Ist v_L die wirkliche Einschufgeschwindigkeit, so kann man die Geschwindigkeitsabweichung durch das Verhältnis

$$Y_1 = \frac{\text{Bahngeschwindigkeit}}{\text{Einschufgeschwindigkeit}}$$

definieren.

Zu dieser Geschwindigkeitsabweichung kommt noch eine Richtungsabweichung, das heißt die Winkelabweichung $\Delta\theta$ beim Einschuf, die dem Winkel zwischen den Geschwindigkeiten v_e und v_L entspricht. Für eine Höhe $h_L = 300$ km und eine Bahngeschwindigkeit $v_e = 7725$ km/sec, gibt die obige Kurve in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsabweichung Y_1 die Höhe h_p des erreichten Perigäums. Die gleiche Abbildung veranschaulicht auch die Auswirkungen der Winkelabweichung $\Delta\theta$ auf h_p . Man stellt fest, daß geringe Abweichungen im Betrag und in der Richtung der Geschwindigkeiten, eine starke Auswirkung auf die Geometrie der vom Satelliten beschriebenen Bahn hat: die Stabilität der letzten Raketenstufe ist daher ausschlaggebend (Zeichnung Barrère).

Anfangsgeschwindigkeit auf seiner neuen elliptischen Bahn berührt der Satellit die Erdoberfläche. Und diese Geschwindigkeit kann man als die zulässige Minimalgeschwindigkeit für den künstlichen Satelliten betrachten, da er bei geringerer Geschwindigkeit auf die Erde fällt¹. So ist zum Beispiel die Minimalgeschwindigkeit des Satelliten in einer dem Erddurchmesser gleichen Höhe halb so groß wie seine Maximalgeschwindigkeit und beträgt 3,23 km/sec; in einer zweieinhalbmal größeren Höhe beträgt sie aber nur knapp 40 % der Maximalgeschwindigkeit oder 2,04 km/sec (Abb. 3).

Umlaufzeit des künstlichen Erdsatelliten

Die Flughöhe des künstlichen Satelliten bedingt auch die Dauer seines Umlaufs um die Erde. Wenn es keinen Luftwiderstand gäbe, würde

¹ In unseren Erwägungen ziehen wir die Erdatmosphäre nicht in Betracht. Faktisch wird natürlich die Minimalgeschwindigkeit nicht die sein, bei der die Bahn die Erdoberfläche berührt, sondern eine etwas größere Geschwindigkeit, bei der der Satellit in dichtere Atmosphärenschichten eindringt, was infolge des Luftwiderstandes zum Absturz führen wird.

der direkt an der Erdoberfläche horizontal gestartete Satellit einen vollen Umlauf gegenüber den Sternen in 1 Stunde 24 Minuten 25 Sekunden vollführen. Je höher er steigt, desto länger wird seine Bahn, was bei gleichzeitiger Verminderung der Bahngeschwindigkeit eine bedeutende Verlängerung der Umlaufzeit hervorruft. So beträgt die Umlaufzeit in einer Höhe, die zwei Erddurchmessern gleichkommt, 7 Stunden 17 Minuten, in einer zwei- und dreimal größeren Höhe 15 Stunden 44 Minuten und 26 Stunden 3 Minuten (Abb. 4).

Die Umlaufzeiten der ersten beiden sowjetischen Sputniks betragen zu Beginn ihres Bestehens 96,2 und 103,7 Minuten, die Umlaufzeit des amerikanischen Erdsatelliten »Explorer« 115 Minuten.

Lebensdauer des künstlichen Erdsatelliten

Die künstlichen Erdsatelliten, die in großen Höhen außerhalb der Erdatmosphäre fliegen, werden eine unbegrenzte Lebensdauer besitzen (wenn man einen Zusammenstoß mit mehr oder weniger großen Meteoriten, Zerstörung durch kosmischen Staub usw. nicht berücksichtigt). Die vorstehend erörterten Bewegungsgesetze beziehen sich auf Satelliten im luftleeren Raum. Wenn aber die Bahn des Satelliten, oder auch nur ein Teil derselben, in der Atmosphäre verläuft, dann werden sich mit der Zeit Geschwindigkeit und Höhe des Satelliten infolge des Luftwiderstandes verringern (Abb. 5). Gleichzeitig mit dem Höhenverlust verkürzt sich auch die Umlaufzeit des Satelliten. Schließlich verbrennt er bei seinem Eintritt in dichte

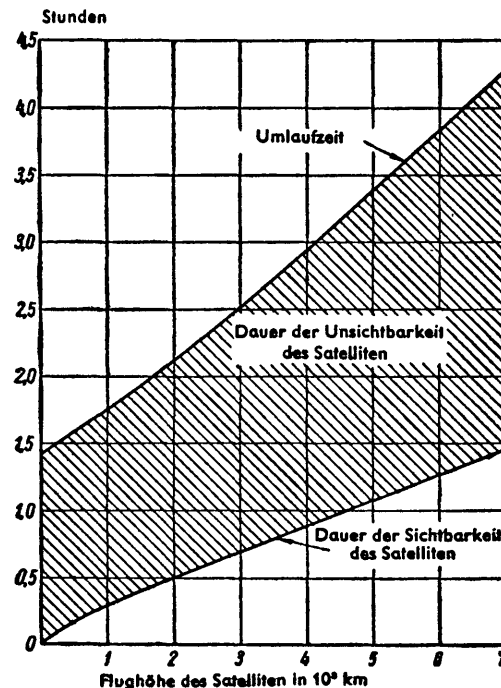


Abb. 7. Umlaufperiode und Dauer der Sichtbarkeit des Satelliten.

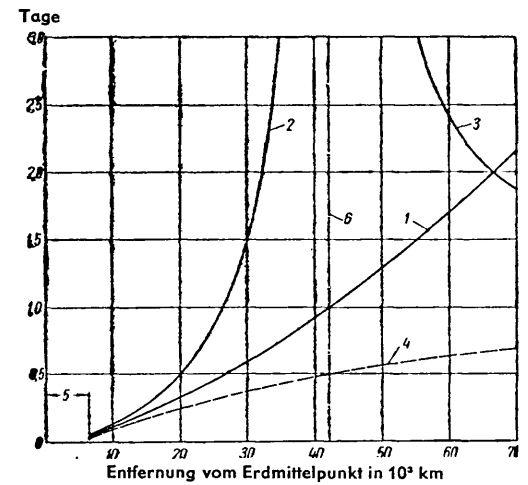


Abb. 8. Umlaufzeit des entlang dem Äquator abgeschossenen Satelliten in Abhängigkeit von der Entfernung vom Erdmittelpunkt: 1. Umlaufzeit des Satelliten bezogen auf die Sterne; 2. und 3. Umlaufperiode bezogen auf einen irdischen Beobachter, im Falle daß der Satellit sich in bezug auf die Sterne nach Osten bewegt. Im A bschnitt sieht der Beobachter den Satelliten sich nach Osten, und im Abschnitt 3 nach Westen bewegen. 4. Umlaufzeit in bezug auf den irdischen Beobachter, wenn sich der Satellit nach Westen bewegt. 5. Erdradius; 6. Asymptote.

Atmosphärenschichten infolge des Luftwiderstandes (Staudruck und Reibung). Es wird angenommen, daß der künstliche Erdtrabant verbrennen muß, ebenso wie die meisten Meteore, die in Höhen von 95–75 km aufglühend verdampfen. Der künstliche Satellit und die Endstufe der Trägerrakete brauchen auch nicht vollständig zu verbrennen. Einige Bestandteile können die Erdoberfläche erreichen.

Die Lebensdauer der Endstufe der Trägerrakete des ersten Sputniks betrug 58 Tage, des Sputniks selbst 92 Tage. Die Trägerrakete, die den ersten Sputnik in seine Bahn beförderte, blieb vorerst hinter ihm zurück. Dann aber holte sie den Sputnik ein und überholte ihn sogar. Diese interessante Erscheinung hat folgende Ursache.

Stellen Sie sich vor, daß sich der Sputnik und die Trägerrakete hoch über dem Nordpol nebeneinander mit fast gleicher Geschwindigkeit parallel zur Erdoberfläche bewegen. Solange sie auf keinen Luftwiderstand stoßen, kreisen beide Körper nach wie vor auf ein und derselben Bahn Abb. 2. Dann kommen sie aber unter dem Einfluß der Erdanziehungskraft immer tiefer, vollziehen einen halben elliptischen Umlauf und dringen über dem Südpol in verhältnismäßig geringer Höhe in mehr oder weniger dichte Atmosphärenschichten ein, wobei sie sich weiter parallel zur Erdoberfläche bewegen. Nachdem sie einige Entfernung durchflogen haben, stoßen sie wieder in den außeratmosphärischen Raum durch, indem sie die Lufthülle der Erde ungefähr so durchbohren, wie eine Nadel die Apfelsinnenschale durchbohrt, ohne das Fruchttinnere selbst zu verletzen. Aber

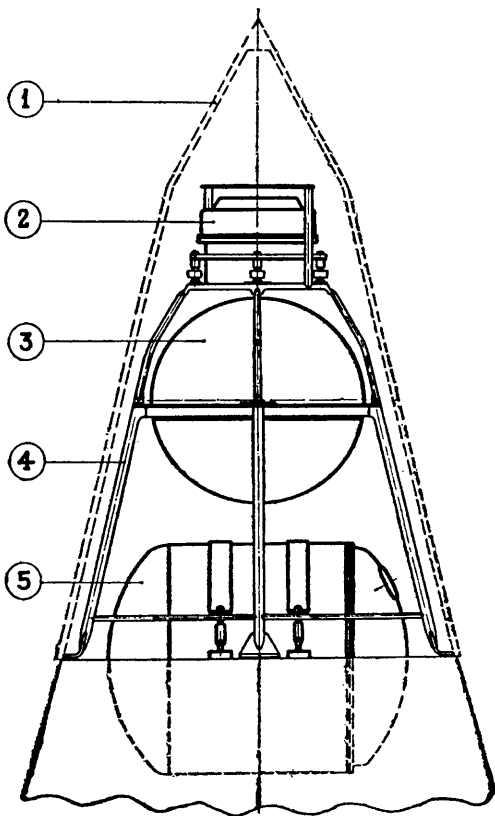


Abb. 9. Schema der Anordnung der Meßapparaturen im Sputnik II: 1. Schutzkegel, der abgeworfen wird, sobald der Sputnik auf seine Bahn gelangt ist; 2. Meßgerät zur Untersuchung der Röntgenstrahlung und der ultravioletten Strahlung der Sonne; Kugelbehälter mit Geräten und Sendern; 4. Haltegestell für die Geräte; 5. Luftdichte Kabine für das Versuchstier.

die Geschwindigkeiten des Sputniks und der Trägerrakete sind wegen des Luftwiderstandes, auf den sie in der Atmosphäre gestoßen sind, schon nicht mehr die früheren, sondern geringer; was aber die Hauptsache ist – sie sind verschieden. Die Luft bremst ja den kugelförmigen Sputnik weniger, als die Trägerrakete, die ihren Schutzkonus abgeworfen hat (auf der Zeichnung hat die Trägerrakete nur eine bedingte Stromlinienform). Dadurch steigt die Trägerrakete, die beim Verlassen der Atmosphäre über eine geringere Geschwindigkeit als der Sputnik verfügt, nicht so hoch, wie dieser. Entsprechend den Gesetzen der Himmelsmechanik ist die nächste Halbellipse ihrer Umlaufbahn kürzer, während der Sputnik den bedeutend kleineren Winkel » α « beschreibt. Auf der Zeichnung, die nicht willkürlich, sondern entsprechend dem zweiten und dritten Keplerschen Gesetz gemacht wurde, sehen wir: während sich die Trägerrakete bereits über dem Nordpol befindet, ist der Satellit bedeutend zurückgeblieben. Der Beobachter auf der Erde stellt fest, daß ihn die Trägerrakete überholt hat, ungeachtet dessen, daß die Rakete über der südlichen Halbkugel eine kleinere Geschwindigkeit als der Sputnik hatte.

Die Bewegung des Trabanten in bezug auf den Beobachter auf der Erde

Wie bereits erwähnt wurde, würde die Umlaufzeit des Satelliten, der direkt an der Erdoberfläche flöge, 1 Stunde 24 Minuten 25 Sekunden betragen. Das wäre die Umlaufzeit des Satelliten in bezug auf die Sterne oder einen Beobachter, der sich an einem der Erdpole befindet. Stellen wir uns aber vor, daß sich die Bahn des Satelliten in der Äquatorebene befindet und der Satellit sich ebenso wie die Erde von Westen nach Osten bewegt. Zur gleichen Zeit, da der Satellit einen vollen Umlauf gegenüber den Sternen vollzieht, bewegt sich der Beobachter auf dem Äquator zusammen mit der Erde um einen ziemlich großen Winkel gegenüber den Sternen weiter und wird sich dadurch in einer großen Entfernung vor dem Satelliten befinden. Erst 5 Minuten 16 Sekunden später wird er vom Satelliten eingeholt. Somit beträgt die Umlaufzeit des künstlichen Satelliten in bezug auf den Beobachter in diesem Fall 1 Stunde 29 Minuten 41 Sekunden.

Je größer die Flughöhe des Satelliten ist, desto länger wird seine Umlaufzeit und desto langsamer seine Bewegung in bezug auf den Beobachter. In einer Höhe von 35810 Kilometern würde der Trabant in bezug auf den Erdbeobachter unbeweglich werden, d. h. seine Umlaufzeit in bezug auf die Erde wäre unendlich groß. Man spricht dann von einem stationären künstlichen Satelliten.

In Abb. 7 wird gezeigt, wie sich die Umlaufzeit des Satelliten in bezug auf den Beobachter auf dem Äquator bei einer weiteren Höhenzunahme ändert, wenn die Bewegung des Satelliten in der Richtung der Erdrotation, wie auch im Falle einer umgekehrten Bewegung bei einer Entfernung bis zu 70000 km vom

Mittelpunkt unseres Planeten vor sich geht. Den Satelliten kann man so starten, daß er nur einmal einen bestimmten Punkt der Oberfläche unseres Erdballs überfliegt und an dieser Stelle nicht mehr auftaucht.

Man kann den Satelliten aber auch so starten, daß er periodisch, nach bestimmter Zeit, über ein und derselben Stelle erscheint. In diesem Falle vollführt der Satellit in dem Zeitabschnitt, den die Erde braucht, um eine Umdrehung gegenüber den Sternen zu machen (Sternentag) eine volle Umdrehung und gerät über die Stelle, über der er bereits einen Sternentag früher geflogen war. Man spricht dann von einem periodischen künstlichen Satelliten.

Man kann die Wege der künstlichen Satelliten außerdem auch so »vorzeichnen«, daß sie über bestimmten Städten und Gebieten überhaupt nicht auftauchen.

Wie wir bereits sagten, stellt die Bahn des künstlichen Satelliten eine Ellipse dar, die in bezug auf die Sterne fast unbeweglich liegt. In bezug auf den Beobachter auf der Erde hingegen wird diese Bewegung, als Folge der Drehung der Erde um ihre Achse, höchst kompliziert. So wird zum Beispiel der Satellit, der über die Pole fliegt, sich auch bei einer geringen Flughöhe nicht den Erdmeridianen entlang bewegen. Bei großen Geschwindigkeiten wird die Bewegung des Satelliten eine Projektionslinie auf der Erdoberfläche beschreiben, die an das mathematische Integralzeichen \int erinnert, dessen oberes und unteres Ende sich auf den Polen befinden. Bei vergrößerter Flughöhe des Satelliten (und seiner Umlaufperiode) nimmt die Projektionslinie die Form des Buchstaben »S« an (vgl. hierzu Abb. 10), späterhin die Form einer Spirale. Eine noch kompliziertere Kurve stellt die Projektionslinie der Bewegung des Satelliten dar, der nicht über den Polen fliegt (siehe Abb. 11).

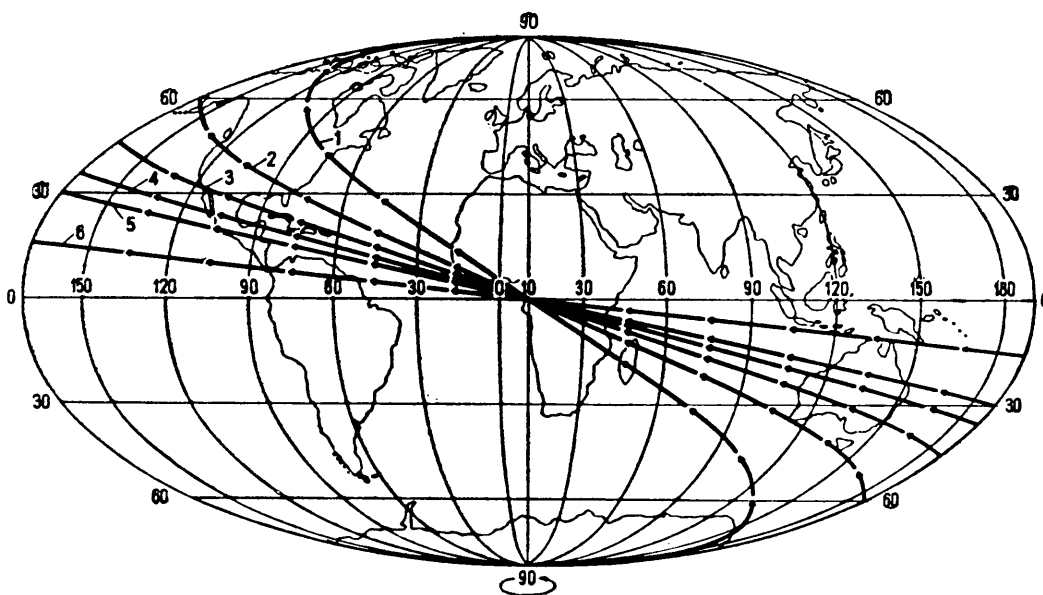


Abb. 10. Projektion der täglichen Bahn eines Polarsatelliten auf die Erdoberfläche, der in zwei (1), drei (2), vier (3), fünf (4), sechs (5) und zwölf (6) Sternentagen einen vollständigen Umlauf um die Erde ausführt.

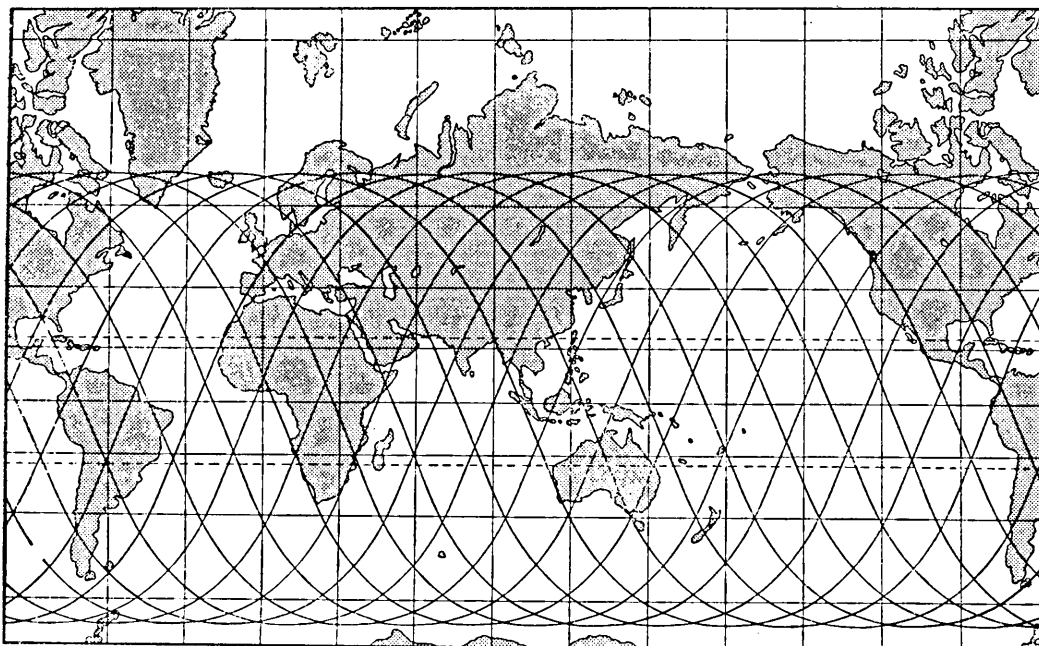


Abb. 11. Schema der ersten Bahnen des Sputnik I, während 24 Stunden in stereographischer Mercator-Projektion.

Der Aufbau der künstlichen Erdsatelliten

Die künstlichen Satelliten unterscheiden sich von allen Vorrichtungen auf der Erde, sie haben aber auch mit Himmelskörpern keine Ähnlichkeit: es wäre unzweckmäßig, im Raum eine Kugel aus einer dichten Masse, den Planeten und ihren Trabanten ähnlich, zu schaffen. Der erste sowjetische künstliche Mond war eine Kugel von 58 cm Durchmesser und 83,6 kg Gewicht. Die Zelle des ersten Sputnik bestand aus einer Aluminiumlegierung. Seine Hülle wurde sorgfältig bearbeitet und poliert, was den Sputnik gut sichtbar machte. Diese Hülle schützte die Meßgeräte nicht nur vor Mikrometeoriten, sondern auch vor großen Temperaturschwankungen.

Der Sputnik war mit einer Sendeanlage ausgestattet. Die vier Stabantennen von 2,4 bis 2,9 m Länge waren während des Starts der Träger Rakete an ihren Körper gepreßt. Nachdem der Sputnik abgetrennt war, wurden die Stabantennen, die am Körper des Sputniks gelenkig befestigt waren, gespreizt. Die Antennen befanden sich an der Außenseite des Sputniks, alle anderen Geräte hingegen, wie auch die Energiequelle, in seinem Inneren. Der hermetisch verschlossene Sputnik war mit Stickstoff gefüllt, der durch die erzwungene ständige Zirkulation den Wärmeaustausch zwischen den Geräten und Bestandteilen regulierte.

Eine gewisse Zeit nach dem Start des ersten Sputniks überholte ihn der Schutzkonus der Endstufe der Träger Rakete, der abgeworfen wurde, sobald die Stufe die erforderliche Geschwindigkeit erreicht hatte; hinter dem Sputnik folgte die Stufe selbst, die den Sputnik abgeworfen hatte.

Den zweiten sowjetischen Sputnik stellte, zum Unterschied vom ersten, die ganze letzte Stufe der Rakete dar, in der alle wissenschaftlichen Apparate und Meßgeräte (Abb. 9) untergebracht waren. Eine solche Unterbringung der Geräte im Raketenkörper selbst vereinfachte ganz wesentlich die Aufgabe, die Koordinaten des Sputniks mit Hilfe von optischen Beobachtungsmitteln zu bestimmen, da, wie das Beispiel des ersten Sputniks zeigte, die Beobachtungen der Träger Rakete bedeutend einfacher waren, als die des Sputniks selbst (die Helligkeit der Träger Rakete übertraf die Helligkeit des ersten Sputniks um einige Sterngrößen). Das Gesamtgewicht der Geräte, der Energiequelle sowie des Versuchshundes und der notwendigen Futterration betrug 508,3 kg.

Im Vorderteil der letzten Raketenstufe waren in einem speziellen Rahmen ein Gerät zur Erforschung der Sonnenstrahlung im ultravioletten und im Röntgenbereich des Spektrums, ein Kugelbehälter mit der Sendeanlage und die luftdichte Kabine mit dem Versuchstier untergebracht. Die Geräte zur Erforschung der kosmischen Strahlen befanden sich im Raketenkörper. Die auf dem Rahmen befindlichen Geräte und der Behälter waren aus aerodynamischen und thermischen Gründen während des Fluges der Rakete in dichteren Atmosphärenschichten durch einen speziellen Schutzkonus geschützt. Nachdem die letzte Stufe der Rakete auf die Bahn gebracht war, wurde der Schutzkonus abgeworfen. Die im Kugelbehälter untergebrachten Sendeanlagen arbeiteten auf den Frequenzen 40,002 und 20,005 MHz. Die Stromquelle, das System für die Wärmeregulierung sowie die empfindlichen Instrumente, die die Temperaturveränderungen und andere Parameter registrierten, befanden sich ebenfalls in diesem Behälter.

Die luftdichte Kabine mit dem Versuchstier hatte eine zylindrische Form (Abb. 9). Sie bestand ebenso wie der Kugelbehälter aus einer Aluminiumlegierung. Auch ihre Oberflächen waren aus dem gleichen Grunde poliert und besonders bearbeitet.

Der amerikanische künstliche Erdtrabant »Explorer 1« ist ein Zylinder von 15 cm Durchmesser, 2 m Länge und 13,5 kg Gewicht. Er besteht aus der Endstufe der Träger Rakete (Gewicht 5,3 kg), an der ein Behälter mit zwei Sendeanlagen und anderen Geräten befestigt ist (8,2 kg).

Um die verschiedenen Vorgänge, die im Weltall stattfinden, zu studieren, genügt es nicht, lediglich unbemannte Raketen zu besitzen. Wichtige Aufgaben könnten auch bemannte Satelliten erfüllen, um so mehr als u. a. festzustellen ist, wie sich der Mensch den Verhältnissen der Schwerelosigkeit anpassen kann, die bei antriebslosem Raumflug herrscht.

Auf dem Wege zur Schaffung eines bemannten Satelliten gibt es noch viele Schwierigkeiten. Das komplizierteste Problem liegt in der Notwendigkeit, der Besatzung die Möglichkeit einer Rückkehr auf die Erde zu garantieren, was mit größeren Schwierigkeiten als der Start des Satelliten verbunden ist. Die Erfahrung, die durch den Einsatz der ersten unbemannten künstlichen Satelliten gewonnen wird, dient auch als Grundlage für den Bau von bemannten Satelliten.

Voraussetzungen für die Beobachtung des Erdsatelliten

Die Sichtbarkeit des künstlichen Trabanten hängt nicht nur von seiner Größe, seiner Entfernung, seinem Reflexionsvermögen usw. ab, sondern auch von seinem Lichtkontrast gegenüber dem Hintergrund. Deshalb kann ein solcher »Stern« nur im Morgengrauen oder in der Abenddämmerung beobachtet werden, wenn der Satellit von Sonnenstrahlen überflutet und der Himmel über dem Beobachter dunkel ist. Die sowjetischen Sputniks konnten mit unbewaffnetem Auge beobachtet werden. Dunst und Staub in der Atmosphäre verschlechtern die Sichtbarkeit des Satelliten. Es ist allerdings zu bemerken, daß die Dauer der Abenddämmerung die Beobachtungszeit des Satelliten vergrößern kann und daher die Möglichkeit besteht, den Satelliten in einigen Fällen zweimal im Laufe ein und derselben Dämmerung zu sehen: nach Beobachtung des Untergangs des Satelliten kann man auch seinen Aufgang sehen.

Dank der großen Flughöhe des Satelliten kann seine Bewegung von einem beträchtlichen Teil der Erdoberfläche aus beobachtet werden.

Je größer die Flughöhe des Satelliten, von einem um so größeren Teil der Erdoberfläche ist er zu sehen. So wäre zum Beispiel der in 200 km Höhe fliegende Satellit von einem Territorium im Umkreis von 1500 km zu sehen.

Bei einer Höhe von 1000 km erweitert sich der Sichtbarkeitsdurchmesser auf das Doppelte.

Je größer die Flughöhe des Satelliten ist, desto länger kann er von irgendeinem Punkt der Erdoberfläche aus beobachtet werden. Im Laufe dieses Zeitabschnittes kann mit dem Satelliten Licht- oder Funkverbindung auf Ultrakurzwellen aufgenommen werden, deren Aktionsradius bekanntlich nicht über die Zone der optischen Sichtbarkeit hinausgeht.

Der Trabant, der in einer Höhe von ungefähr 300 km seine Bahn zieht und im Laufe von anderthalb Stunden einen vollen Umlauf um die Erde vollzieht, kann insgesamt nur 8 min lang mit einem bestimmten Beobachtungspunkt auf der Erde in Verbindung stehen. Für den Erdsatelliten, der 1000 km hoch mit einer Umlaufzeit von 1 h 45 min fliegt, kann die »Sprechzeit« bis auf $17\frac{1}{2}$ min steigen (Abb. 7). Je größer die Neigung der Satellitenbahnebene zur Erdäquatorebene ist, von einem um so größeren Territorium aus ist der Satellit zu sehen. Für die ersten sowjetischen Sputniks beträgt diese Neigung 65° , für den amerikanischen Explorer 35° .

Bei Beobachtungen mit unbewaffnetem Auge war der erste Sputnik als Stern fünfter bis sechster Größe, und die Träger Rakete als Stern erster Größe zu sehen. Der zweite Sputnik konnte bei besonders guter Sichtbarkeit als Stern erster Größe beobachtet werden.

Die Funksignale des ersten Sputniks wurden auf einige tausend Kilometer Entfernung und in besonderen Fällen bis 10000 km und sogar mehr empfangen. Nach dreiwöchiger ununterbrochener Tätigkeit der Sendeanlagen waren die Batterien des ersten Sputniks erschöpft.

Die Signale der Funkanlage des zweiten Sputniks wurden, ebenso wie die Signale des ersten Sputniks, auf einer Frequenz von 20,005 MHz in Form von 3,3 Sekunden langen Funkzeichen mit ebenso langen Pausen gesendet. Die Sendeanlage auf 40,002 MHz strahlte ununterbrochen aus. Die Sendeanlage des zweiten Sputniks und die an Bord befindliche Fernsteuerung stellten entsprechend dem Meßprogramm nach einer Woche ihre Tätigkeit ein. Die Bewegung des zweiten Sputniks wurde, ebenso wie die des ersten Sputniks und der Träger Rakete mit optischen und Funkpeilmitteln beobachtet. Auf Grund dieser Beobachtungen wurden ihre weitere Bewegung und Veränderungen ihrer Bahnen vorausberechnet.

Der amerikanische Erdsatellit »Explorer« strahlt Funkwellen auf einer Frequenz von 108 MHz aus.

Die Verwendung der künstlichen Erdsatelliten

Der künstliche Erdsatellit vereinigt in sich die Eigenschaften eines Ballons, der sich lange Zeit über der Erde halten kann und einer Rakete, die fähig ist, sehr hoch aufzusteigen.

In dem künstlichen Satelliten können Geräte untergebracht werden, welche die Vorgänge in den oberen Atmosphärenschichten und im

Weltraum automatisch messen, die Ergebnisse aufzeichnen und per Funk zur Erde senden. Unsere Kenntnisse über den Weltraum wurden auf diese Art durch viele Angaben bereichert, die wir allein mit Hilfe von Geräten, die durch Raketen hochgebracht werden, nicht erhalten können. Ein solches fliegendes Laboratorium war bereits der zweite sowjetische Sputnik.

Erforschung der Erdkugel. Einige Fachleute sind der Ansicht, auch kleine künstliche Erdsatelliten böten die Möglichkeit, verschiedene Messungen durchzuführen, wie zum Beispiel die Entfernung zwischen Kontinenten usw. zu messen. Somit kann man die Hypothese über die relative Verschiebung der Kontinente endgültig bestätigen oder ablehnen.

Wenn auch die Polarluftfahrt ständig die Verschiebung des Eises in den arktischen Meeren beobachtet und über den ausgedehnten Waldgebieten Beobachtungsflugzeuge der Waldschutz-Feuerwehr fliegen, können dennoch solche Beobachtungen bedeutend wirksamer von künstlichen Erdsatelliten ausgeführt werden.

Erforschung der Atmosphäre. Die künstlichen Erdsatelliten werden auch den meteorologischen Beobachtungen Vorteile bringen. Sie gestatten, die Wolkenverteilung und ihre Veränderungen zu beobachten, ferner den Charakter der die Erde bedeckenden Wolkenschicht, die Grenzen der warmen und kalten Luftmassen und die Ausbreitung der Stürme zu bestimmen. Sogar auf dem Festland, das weniger als 30 % der Erdoberfläche beträgt, macht sich ein Mangel an meteorologischen Stationen fühlbar: Zehntausende solcher Stationen sind zum Beispiel nicht imstande, ein vollkommenes Bild der die Erde bedeckenden Wolkenschicht zu vermitteln. Dies ist für sie nicht nur über den gewaltigen Wassermassen, sondern auch über den Kontinenten unmöglich. Die Dichte der oberen Atmosphärenschichten kann man auch auf indirekte Weise mit Hilfe künstlicher Erdsatelliten ohne jegliche Geräte bestimmen. Dazu genügt es vollkommen, die Bahn dieses Satelliten und die Abnahme seiner Geschwindigkeit durch visuelle oder Funkpeilbeobachtung festzustellen.

Erforschung der Ionosphäre und Ausbreitung der Radiowellen. Mit Hilfe der künstlichen Satelliten kann die Ionisierung der Atmosphäre in verschiedenen Höhen studiert werden, was unter anderem für die Prognose der Voraussetzungen für Funkverbindungen von großem Nutzen sein wird.

Die künstlichen Erdtrabanten können auch für Relaisverbindungen von Ultrakurzwellen und besonders von Fernsendungen auf große Entfernung verwendet werden.

Erforschung des Magnetfeldes der Erde. Das Magnetfeld unseres Planeten ist an seiner Oberfläche ziemlich gut erforscht, und die Ergebnisse dieser Forschungen werden seit langem in See- und Luftfahrt, Gcodäsie und auf anderen Gebieten verwendet.

Mit Hilfe künstlicher Satelliten, besonders solcher, die sich in elliptischer Bahn bewegen, wird man das Magnetfeld des die Erde umgebenden Raumes ausmessen und die Ursachen der Magnetfeldanomalien – Abweichungen der magnetischen Feldstärke von den Normalwerten – ermitteln können. Es kann der Einfluß erforscht werden, den die in großen Höhen entstehenden elektrischen Ströme und andere Erscheinungen auf das Magnetfeld der Erde ausüben. Die Forschungen des Magnetfeldes der Erde durch künstliche Erdsatelliten wird nicht nur wissenschaftliche, sondern auch praktische Bedeutung haben. Solche Untersuchungen werden es zum Beispiel ermöglichen, Vorkommen von Bodenschätzen zu entdecken und ihre Vorräte abzuschätzen.

Biologische Forschungen. Der künstliche Satellit ist auch für die Vorbereitung von interplanetarischen Flügen interessant. Auf ihm kann der Einfluß der Schwerelosigkeit auf physiologische Prozesse, wie auch die Wirkung der kosmischen, Sonnen- und anderen Strahlungen auf lebende Organismen studiert werden, die durch die Erdatmosphäre nicht geschützt sind.

Meteoriten, Mikrometeoriten und »kosmischer Staub«. Es wird angenommen, daß die Mikrometeoriten in gewissem Maße auf den Zustand der Ionosphäre und damit auf die Ausbreitung der Radiowellen einwirken.

Mit Hilfe besonderer Zähler im Satelliten kann die Verteilung der Mikrometeoriten, ihr Impuls und die elektrische Ladung in Abhängigkeit von der geographischen Breite studiert werden. Der Aufprall der Meteoriten auf die Außenverkleidung kann von Kristallmikrofonen, die im Trabant untergebracht sind, aufgenommen und nach vorheriger Verstärkung des Funksignals an die Bodenstationen gesendet werden.

Der künstliche Satellit kann vollkommen hermetisch geschlossen und vor dem Start mit Druckgas gefüllt werden. Das verleiht ihm die Starrheit, die er für die hohe Startbeschleunigung benötigt. Während des Fluges zeigt ein Sinken des Gasdruckes an, ob ein Meteorit ein Loch in die Verkleidung geschlagen hat. Die Dauer des havarielosen Fluges weist auf die Häufigkeit von Meteoritentreffern hin, die Geschwindigkeit aber, mit der der Gasdruck fällt, ist ein Maß für die Größe und Geschwindigkeit des Meteoriten.

Der künstliche Erdsatellit kann letzten Endes als interlunare Weltraumstation verwendet werden. Das Raumfahrzeug, das zu einem interplanetaren Flug startet, wie auch die Nutzlasten, die zur Erreichung des Reiseziels benötigt werden, können vorher in Einzelteilen auf eine solche Station gebracht werden. Das erleichtert die Konstruktion des Raumfahrzeugs, da bei einem Abflug von einer Außenstation viel weniger Treibstoff verbraucht wird, als bei einem Abflug direkt von der Erde.