

INTERLIBRARY LOAN REQUEST - According to the A.L.A. Interlibrary Loan Code

Date of request: 3-3-67

Remarks: XEROX

Borrowing Library

Fill in left half of form; send sheets A, B and C to Lending library and

enclose shipping label For use of

Fold

Call-No.

Merr111

Status fac

Dept. research

Author (or Periodical title, vol. and year)

Zhurnal Eksperimentalnoi i Teoreticheskoi Fiziki

Title (with author and pages for periodical articles) (incl. edition, place and date)

23 1952 168-176
Karpenko, A.S. Markevich, A.M. and Ryabinin, Y.N.
Electrical conductivity of gases at high temperatures and densities

Verified in: Cannot verify

Source of reference: Microfilm Photoprint instead and bill us.

Lending Library

Fill in pertinent items under

Intellibrary Loan
University of California Libraries
Berkeley, Cal.

REPORTS: return sheets B and C to Borrowing library

#34

Note: No acknowledgment of receipt or return is required. The receiving library assumes responsibility for notification of non-receipt. Stamps in payment of transportation costs should accompany sheet. Notice of Return D. CHECKED BY:

REPORTS

Checked by

Microfilm Photoprint
Sent by BOOK RATE Express Collect

Other Insured for \$

Date sent Charges \$
DATE DUE (Or period of loan)

NOT SENT BECAUSE:

- Not in Library.
- Non-circulating.
- Could supply Microfilm Photoprint
- In use now, hold placed.*
- Temporarily missing, being searched.*
- Other Suggest you request of:

*Unless available to send you within 4 weeks will consider your request cancelled as of that date.

Use sheet C for the "delay" reports.
Send 5th & 6th copy for use by Biblio Center

RECORDS:

Vol. received on: Borrowing library fills in

Date vol. returned
By BOOK RATE Express prepaid

Other: Insured for \$

RENEWALS: (Request and report back on sheet C: Interim Report)

Requested on

RENEWED TO:

(or period of renewal)
 OVER (if checked)

ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GASES AT HIGH TEMPERATURES AND DENSITIES

A.S.Karpenko, A.M.Markevich, and Yu.N.Ryabinin

Zhurnal experimental'noi i teoreticheskoi fiziki, Vol. 23, No. 4 (10),
pp. 468-476, 1952.

An investigation has been made of the electrical conductivity of gases when compressed adiabatically to ultrahigh pressures and thus heated to high temperatures. The electrical conductivity of air has been investigated as a function of pressure when compressed to values from 900 to 9000 kg/cm², technical grade nitrogen -- from 1800 to 6300 kg/cm², and technical grade argon -- from 300 to 5600 kg/cm². The electrical conductivity of adiabatically compressed air is ohmic in character. During the compression of argon and air, fluctuations in the electrical conductivity were observed, associated with pressure fluctuations. The experimental data have been compared with the theory. It is shown that the basic cause of the electrical conduction in these conditions is the ionization of the nitrous oxide formed as a result of chemical reaction.

Introduction:

The properties of gases at large density and high temperature have not hitherto been investigated in detail. One of the physical characteristics of the state of a substance in these conditions is its electrical conductivity. It may be supposed that the increase in the density of a gas will appreciably influence its degree of ionization at high temperature, and therefore, also its electrical conductivity.

To obtain temperatures of the order of several thousands of degrees in a gas at high density (at pressures of the order of several thousands of kg/cm²) by the use of static methods of compression is very difficult.

However, these conditions may be obtained by a dynamic method during an adiabatic compression of the gas, giving then a temperature increase simultaneous with the increase of density of the gas.

The present paper is devoted to the study of the electrical conductivity of gases under strong adiabatic compression.

The Experimental Method:

The investigation was carried out on a special equipment /1/, allowing adiabatic compression of a gas to pressures of the order of 10000 kg/cm². A schematic of the equipment is shown in Fig.1. The test gas, located in the barrel of the equipment, is confined on one side (right in the Fig.) by a damper with electrical leads, and on the other side (the left)-- by a piston. At the time of the test a pressure of several tens of kg/cm² is created behind the piston, by admitting gas through a valve from the receiver, causing the piston to move to the right and compress the test gas ahead of it. Within limits, the degree of compression is proportional to the original pressure in the receiver. The same gas was used in the receiver as in the barrel, so that the test gas could not be changed by possible leakage between the barrel wall and the piston.

Two kinds of electrodes were used to measure the electrical conductivity of the compressed gas. One consisted of a central platinum rod with glass insulation, the construction of which is clear from Fig.1. The second had an annular groove in a plexiglass and mica insulator, a cross section being shown also in Fig.1. This electrical probe proved to be fully reliable in practice, and the basic measurements were performed with it.

Fig.1. Schematic of the adiabatic equipment: 1) barrel; 2) piston with crushable manometer; 3) supply valve and receiver; 4) bottle of compressed gas; 5) trigger electromagnet; 6) sealing of the barrel;

7) and 8) valves for filling the barrel with the test gas; 9) electrical leads (first variant) ~~to~~; 9a) electrical leads (second variant).

The scheme for measurement of the electrical current is shown in Fig.1. The circuit of the electrical leads is completed through the resistances r and R and the constant current battery E , so that an electrical current appears in the circuit when conduction occurs in the gas during the test, creating a potential difference across the resistances of amount determined ~~by~~ by the parameters of the circuit. The potentials were recorded with the aid of a double-beam cathode ray oscilloscope with a driven sweep. The second beam was used to display oscillations of a 3G-2 sound generator with frequency 10000 c/s as a time scale.

Fig.2. Oscillogram of the variation of electrical conduction in compressed air, the maximum pressure being 4400 kg/cm^2 .

One of the oscillograms obtained is shown in Fig. 2, the x axis being time and the y axis the voltage V_r . The lower photograph is a sinusoid of frequency 10000 c/s. The horizontal lines at the top and bottom are calibration markers. The curve is the variation of the electrical conduction of air under adiabatic compression (followed by expansion) to a maximum pressure of 4400 kg/cm^2 . The left part of the curve, up to the maximum, corresponds to the pressure increase, and records an increase of conductivity, while the right part, after the maximum, corresponds to the fall in pressure, and shows decreasing conduction. The maximum value of the electrical conduction corresponds to the maximum pressure of the compressed air. From this kind of oscillogram, knowing the parameters of the electrical circuit and the dimensions of the electrodes, it was not difficult to find the specific resistivity

of the gas at the maximum pressure of compression. The measurements were made for various degrees of compression.

It was demonstrated by individual experiments that an electrical current passes through the gas during the adiabatic compression, and not along the surface of the electrode insulation, i.e. that the conduction is volume conduction.

For air we obtained experimental data in the range from 900 to 9000 kg/cm² of maximum compressive pressure. The specific resistance of the gas was then 1.3×10^8 to 1.1×10^5 ohm.cm, with air density from 0.18 to 0.88 g/cm³. The temperature of the compressed gas in these conditions varied from about 1700 to 2800 °K. The results obtained are shown in Table 1, and also graphically in Fig.3, where the x axis gives the maximum pressure of compression, and the y axis -- the specific resistivity of the air. In a separate series of tests, the voltage on the electrode was varied over wide limits -- from 30 to 17800 V/cm. The circuit current then varied from 6×10^{-6} to 3×10^{-3} A, and the current density in the compressed air -- from 0.008 to 4.0 mA/cm². These tests showed that the resistance of a compressed gas is ohmic in nature.

Table 1: Specific Resistivity of Adiabatically Compressed Air.

Later tests were performed with nitrogen; the technical grade of nitrogen used contained 99.5 % nitrogen and 0.5 % oxygen. The experimental technique and all the other conditions of the tests were the same as in the tests with air. These tests showed that nitrogen also becomes electrically conducting as the pressure increases; the nature of the variation of the electrical conduction during compression proved to be the same as for air. We note that, as in the case ~~of~~ of air,

the curves obtained in the oscillograms are somewhat asymmetrical -- the conductivity changes more rapidly during the compression than during the expansion.

Fig.3. Dependence of the specific resistivity R_0 of adiabatically compressed air on the pressure: $p = 900-9000 \text{ kg/cm}^2$; $R_0 = 133-0.11 \text{ Megohm.cm}$.

Fig.4. Dependence of the specific resistivity R_0 of adiabatically compressed technical grade nitrogen on the pressure: $p = 1800-6300 \text{ kg/cm}^2$; $R_0 = 32.8-0.53 \text{ Megohm.cm}$.

The experiments with nitrogen spanned the pressure range 1800-6300 kg/cm^2 , the specific resistance then ranging from 3.3×10^7 to 5.3×10^5 ohm.cm, at nitrogen density from 0.24 to 0.56 g/cm^3 . The circuit current varied from 2.3×10^{-5} to 1.1×10^{-3} A, the current density in the compressed nitrogen being from 0.03 to 15 mA/cm^2 . The results obtained are shown in Table 2, and graphically in Fig.4, where the maximum compression pressure is shown on the x axis, and the specific resistivity of nitrogen as the y axis.

Table 2. Specific Resistivity of Adiabatically Compressed Technical Grade Nitrogen.

The last series of measurements investigated the electrical conduction of argon, technical argon being used, of composition 87.6 % argon, 12.0 % nitrogen, and 0.4 % oxygen. The technique was as before.

In contrast with the curves of electrical conductivity of air and nitrogen, those for argon do not exhibit a noticeable asymmetry. Moreover, superimposed on the basic curve reflecting the variation of the

electrical conductivity with variation of pressure of the compressed gas, there are high frequency oscillations in the argon case. It was found that the frequency of these oscillations increases with increase of the gas pressure, being 8×10^4 c/s at a pressure of 550 kg/cm^2 , 13×10^4 c/s at 1300 kg/cm^2 , and 16×10^4 c/s at 3200 kg/cm^2 . The amplitude of the oscillations also increases with increase of pressure. One of the oscillograms obtained in this series of experiments is shown in Fig.5, where the argon was subjected to ~~by~~ compression to a maximum pressure of 1300 kg/cm^2 . The x axis shows time, and the y axis -- the voltage V_r .

Fig.5. Oscillogram showing the variation of the electrical conductivity in compression of technical grade argon, the maximum pressure being 1300 kg/cm^2 .

The electrical conductivity of argon was studied in the pressure range 300 to 5600 kg/cm^2 ; the specific resistance varied in these tests from 3.2×10^6 to 170 ohm.cm , the circuit current ranging from 2.3×10^{-4} to 0.23 A , and the current density in the compressed argon from 0.3 to 300 mA/cm^2 . The results obtained are shown in Table 3, and presented graphically in Fig.6, where the maximum compression pressure is the y axis and the specific resistance of argon -- the x axis. Because the range of specific resistance values is so great, the test data are shown in two curves spanning different pressure ranges, the two graphs being complimentary.

In order to elucidate the nature of the oscillations of electrical conductivity observed to be excited in the argon work, we carried out additional experiments in which it was established that when the compression time was reduced by roughly a factor of two (achieved by reducing the weight of the piston), similar oscillations of about equal frequency

were also excited with air. Hence it was concluded that these oscillations are not electrical in nature, and that they result from secondary phenomena excited in the process of compression of the gas during motion of the piston. This conclusion was confirmed by special tests in which a study was made of the manner in which the pressure built up during compression of the gas. The sensor was a high pressure piezoelectric quartz crystal, mounted in place of the electrical probe. The tests showed that during the compression process in the gases, pressure oscillations arise that have the same frequency as the above oscillations of electrical conductivity, the magnitude of the oscillations depending upon the compression conditions. At low rates of compression the oscillations are small and are noticeable only in the argon. With increased rate of compression the amplitude increases, and the pressure oscillations become noticeable also in work with air.

Fig.6. Dependence of the specific resistance R_0 of adiabatically compressed technical grade argon on the pressure. a) pressure is 300-960 kg/cm^2 ; $R_0 = 3200-20$ kilohm.cm; b) pressure is 1080-5600 kg/cm^2 ; $R_0 = 27500-170$ ohm.cm .

Table 3. Specific Resistance of Adiabatically Compressed Technical Grade Argon.

Discussion:

It has been established experimentally that under strong compression of both air and technical grade argon, electrical conduction arises, undoubtedly resulting from thermal ionization of these gases. One naturally asks which gas molecules are ionized in the main under these conditions. It is our opinion that in the given conditions the gas ionized is not oxygen, nor nitrogen, but nitrous oxide, which is formed

in the mixture of oxygen and nitrogen at high temperatures. Of course, ionization of molecules of oxygen and of nitrogen also occurs in mixtures like these, but, because the ionization potential of nitrous oxide (9.5 eV) is considerably less than that of nitrogen (15.8 eV) and of oxygen (12.5 eV), it is nitrous oxide that will be mainly ionized. For these reasons the concentration of electrons formed from molecules of nitrous oxide will be appreciably greater than that from molecules of oxygen or nitrogen, even in spite of the fact that the concentration of nitrous oxide in the nitrogen-oxygen mixture may itself be quite small. We note that in the tests with technical grade nitrogen, the latter contains 0.5 % of oxygen as an impurity, which must lead to the formation of a certain amount of nitrous oxide at a high temperature.

The asymmetry noted above in the variation of conductivity with time, observed in the process of compression and expansion of both air and technical grade nitrogen, evidently occurs because the conductivity of the gas under the given conditions depends to a considerable extent on the concentration of nitrous oxide in the compressed gas. Because the formation (and decomposition) of nitrous oxide from oxygen and nitrogen occurs at a rate determined by the temperature and the kinetics of the given chemical reaction, the concentration of the nitrous oxide formed does not always, and does not immediately, attain an equilibrium value. It is known from kinetics relationships that the lower the temperature of the gas, the slower is the formation of nitrous oxide. Therefore, at the start of the compression the concentration of nitrogen must depart from the equilibrium concentration corresponding to the current temperature of the compressed gas. This deviation must decrease with further compression, and at high temperature, when close to maximum compression, the concentration may approximate to equilibrium. During the expansion the process will go the other way. At first the concentration of oxides of nitrogen will be close to equilibrium, and will even exceed

it, when freezing of the reaction products sets in. In this event the reduction of the gas conduction during the expansion will be determined only by the temperature drop in the gas and by the ^{corresponding} ~~the~~ deionization. This circumstance is apparently the cause of the asymmetry of the conductivity during the compression and expansion of air and nitrogen.

It was of interest to compare our experimentally measured values of specific resistance of thermally ionized gases at high temperatures and pressures with the values calculated from the theory of thermal ionization of gases /2/. Using the latter, we may write the following expression for the electron concentration:

(1)

where T is the temperature, p_0 the pressure, V the ~~pot~~ ionization potential of the gas, ϵ the degree of compression of the gas, and c -- the percentage concentration of the ionized gas.

Using the theory of the mobility of electrons in a gas, we may write an expression for the dependence of the specific resistance R_0 (in ohm.cm) on the electron concentration N_e , the temperature T , and the degree of compression ϵ :

(2)

The results of calculation of electron concentration and specific resistance of thermally ionized gases according to (1) and (2) showed how strongly the specific resistance of a gas varies, under the same conditions of compression and of temperature, depending on which gas is mainly ionized. For example, the presence of a small number of molecules of nitrous oxide in nitrogen is sufficient to reduce the resistance in a given pressure range by a factor of 10^4 - 10^6 . Hence it follows also that it was exactly because of the presence of oxides of nitrogen in the ⁱnitrogen and air investigated that we were able to observe and study the conduction. If it were otherwise, the electrical conductivity due to thermally ionized molecules of nitrogen and oxygen

would be so small that it would be very difficult to measure it in the conditions of our experiments.

Using the experimentally measured values of specific resistance and degree of compression, we calculated the concentrations of free electrons in the gas. The temperature was calculated under the assumption that the gas was ideal, which does not correspond to reality for air and nitrogen, but, taking into account that the deviation from the ideal state in these conditions is not too large, and that the temperature stands under a square root, the error in this assumption may not be especially large.

Calculations carried out using the data obtained in the tests with air showed that, in the limits of the pressure applied, the concentration of free electrons in the gas ~~xxxxxxxxxx~~ ranges from 9×10^8 to 10^{13} per cm^3 . The graphs of Fig.7 show the ~~results of calculating the~~ specific resistance of adiabatically compressed air on the pressure, assuming that the nitrous oxide formed during the compression is ionized. Curve 1 is calculated on the assumption that the ionization potential of the gas is 9.5 V, and Curve 2 -- 7.0 V. The experimental values are shown by circles, and are less than those calculated (for air with nitrous oxide) with an ionization potential of 9.5 V. This confirms the above-mentioned supposition that it is mainly the nitrous oxide, formed in the air during the compression, that is ionized, and not the nitrogen, nor the oxygen, since then the specific resistance of the gas would be several orders greater than that found experimentally. It also follows from the calculation that the ionization potential of the gas, in the conditions prevailing in the tests proved to ^{be} ~~^~~ even less than 9.5 V. The experimental curve for pressures of 1000-2000 kg/cm^2 lies close to the theoretical curve for an ionization potential of 7.0 V. For larger pressures the experimental curve lies between Curves 1 and 2. It

should be noted that Curves 1 and 2 were computed on the assumption that the compressed air behaves like an ideal gas. However, in reality this is not so -- the higher is the pressure (density) of the air, the more the gas deviates from the ideal state, and so the lower will its temperature be, relatively, in an adiabatic compression. Therefore, the values of specific resistance calculated for real air must be larger than for the corresponding ideal gas, the deviation increasing with increase of the compression pressure. Thus, the curve of dependence of specific resistance on pressure must lie above that for an ideal gas. Because the equation of state for air in these conditions is not known, it is not possible to calculate the influence of the departure from the ideal state. It follows, however, from qualitative considerations, that the curve, calculated, for example, for 9.5 V, must rise like the dotted Curve 3 in Fig.7 (drawn arbitrarily).

Thus the experimentally measured values of specific resistance lie closer to the curve calculated for an ionization potential of 7.0 V, than to that for 9.5 V. From this it may be concluded that the ionization potential decreases in a gas at high density.

From the experimental data obtained in the tests with technical grade nitrogen, it was calculated that in the compression pressure range used, the concentration of free electrons in the gas ranged from 7×10^9 to 10^{12} per cm^3 . Comparison of the experimentally measured values of the specific resistance of technical grade nitrogen with those calculated showed that in these experiments, as in the case of air, a fall in ~~pot~~ ~~entixoxf~~ ionization potential of the gas took place.

What is the reason for the drop in ionization potential in the strongly compressed gas (air and nitrogen)? The action of the electric field on the atom being ionized may lead to a drop in ionization potential. A strong electric field proves to have an influence on the bond of the

electron on an atom, resulting in the ionization potential becoming less than in the insulated atom. In that case the electron must be removed, for ionization, not to an infinite distance, but only to such a distance that the field of the ion will be ^{equalled} ~~compensated for~~ by the external electric field. Therefore, the work that must be done in separating the electron from the atom, will be less in the presence of the surrounding field. It is as if the external field cuts off the higher electronic levels, thus lowering the ionization potential. What kind of electric fields may have an influence on the atom? In an ionized gas the electrons and the ions constitute micro-poles, which may reach considerable values when the concentration of the latter is large. In a neutral gas, the electric fields of molecules of the gas may act on the atom being ionized.

From the tentative calculations carried out, it follows that the micro-poles existing in the air under our conditions of compression are created mainly by the electric fields of neutral molecules. Under large compression of the gas, these micro-poles have values so large that they may cause very substantial decrease in the ionization potential of atoms in the molecule. It is very difficult to make an accurate calculation of the influence of electric fields in a dense ionized gas on the ionization potential. A very crude estimate of this may be made by calculating the increase in the dielectric constant of a gas with increase of its density. A calculation ^{of this kind,} carried out for air containing nitrous oxide, compressed adiabatically to a pressure of 9000 kg/cm², shows that the ionization potential may be lowered by 2.9 V.

The foregoing considerations, while not claiming to be either complete or accurate, do give an idea of the causes and the magnitude of the possible decrease in ionization potential in a dense ionized gas. From the experimental data obtained in the tests with technical grade argon, the concentration of free electrons in the gas was calculated.

In our range of compression pressure, it varied from 10^{10} to 3×10^{15} per cm^3 . The dependence of the specific resistance of the gas on the pressure during the adiabatic compression is shown graphically in Fig. 8, the experimental points being shown as circles. Also shown are the values calculated from formulas (1) and (2). Curve 1 was calculated for technical grade argon for which the ionization potential is 15.7 V, while Curve 2 related to the same gas, under the assumption that during the compression nitrous oxide is formed, and the ionization potential is 9.5 V. It is clear from the figure that Curve 2 coincides with the experimental curve at the low pressures, but deviates ~~on~~ ^{to} the high resistance side with increasing pressure. Curve 1 lies above the experimental curve, and draws closer to it as the pressure increases. Hence the conclusion may be drawn that in this gas it is mainly the nitrous oxide, apparently, formed from ^{the} oxygen and ^{impurities} nitrogen during the compression of the technical grade argon, that is ionized. No drop in ionization potential is observed here; it is evident that a drop of the above kind cannot occur, since the concentration of electrons in the gas is not especially great, the gas density is small, ^{and} the argon atoms have the inert gas filled electronic shell, and so the micro-poles cannot be particularly large in this gas.

Fig. 8. Specific Resistance of thermally ionized technical grade argon during the adiabatic compression.

Why is it that, as the compression increases, Curve 1 draws closer, and Curve 2 further away, from the curve constructed from the experimental data? It may be presumed that the cause of this is thermal dissociation of the nitrous oxide molecules. The latter are formed in the gas from chemical reaction between the molecules of nitrogen and oxygen in the initial stages of the compression, at temperatures that are

relatively low. With further compression -- above 1000 kg/cm^2 , when the gas temperature starts to exceed $4000 \text{ }^\circ\text{K}$, a noticeable dissociation of the nitrous oxide molecules into nitrogen and oxygen atoms commences. When the compression reaches pressures of the order of 5000 kg/cm^2 , when the temperature of the given gas reaches $6000\text{-}8000 \text{ }^\circ\text{K}$, the degree of dissociation of the nitrous oxide becomes very great, leading to a considerable reduction of the number of molecules of nitrous oxide in the compressed gas. Thus the dissociation of the nitrous oxide ~~leads to~~ results in there being mainly ionization, not of molecules with ionization potential 9.5 V , but of molecules with considerably smaller ionization potential. This explains why the experimental curve draws closer to Curve 1 as the pressure increases. We note that Curve 2 was computed without allowance for dissociation of nitrous oxide at high temperatures. If this dissociation is allowed for, then, starting at pressures of 1000 kg/cm^2 , the calculated curve must lie above Curve 2, and the amount that it is above must increase with increasing pressure; at some pressure this curve must run into Curve 1.

Finally, we note that the calculations presented here are tentative, serving only to estimate the quantities concerned, and we cannot therefore claim that they are rigorous nor exact.

The Institute of Chemical Physics
of the Academy of Sciences of the USSR.

Received 29 April 1952.

References:

1. Yu.N.Ryabinin, ZhETF, This issue, p. 461.
2. M.Saha,

3100 words

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГАЗОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ПЛОТНОСТЯХ

А. С. Карпенко, А. М. Маркевич и Ю. Н. Рябинин

Исследована электропроводность газов, сжатых адиабатически до сверхвысоких давлений и нагретых при этом до высоких температур. Электропроводность воздуха исследована в зависимости от давления при сжатиях от 900 до 9000 кг/см², технического азота от 1800 до 6300 кг/см², технического аргона от 300 до 5600 кг/см². Электропроводность адиабатически сжатого воздуха имеет омический характер. При сжатии аргона и воздуха обнаружены колебания электропроводности, связанные с колебаниями давления. Экспериментальные данные сопоставлены с расчетными. Показано что основной причиной электропроводности в этих условиях является ионизация окиси азота, образующейся в результате химической реакции.

Введение

Свойства газов при больших плотностях и высоких температурах детально еще не исследованы. Одной из физических характеристик состояния вещества в подобных условиях является электропроводность. Можно предполагать, что увеличение плотности газа будет существенно влиять на степень его ионизации при высокой температуре, а следовательно, и на электропроводность.

Получить температуры порядка нескольких тысяч градусов в газе большой плотности (при давлениях порядка нескольких тысяч кг/см²), пользуясь статическими методами сжатия газов, очень трудно. Осуществить такие условия возможно динамическим методом при адиабатическом сжатии газа. В этом случае повышение температуры осуществляется одновременно с увеличением плотности газа.

Настоящая работа посвящена изучению электропроводности газов при сильных адиабатических сжатиях.

Экспериментальная часть

Исследование проводилось на специальной установке [1], которая позволяла производить адиабатическое сжатие газа до давлений порядка 10 000 кг/см². Схема этой установки представлена на рис. 1. Исследуемый газ, помещенный в стволе установки, ограничен с одной стороны (на рисунке справа) заглушкой с электровводом, с другой стороны (на рисунке слева) — поршнем. В момент опыта через клапан ресивера на обратную сторону поршня осуществлялось давление в несколько десятков кг/см². При этом поршень двигался вправо и сжимал находящийся перед ним испытуемый газ. Степень сжатия в определенных пределах была пропорциональна исходному давлению в ресивере. Для создания исходного давления в ресивере применялся тот же газ, который находился и в стволе. Поэтому состав испытуемого газа внутри ствола не мог изменяться за счет возможного просачивания газа через неплотности между стенкой ствола и поршня.

Для измерения электропроводности адиабатически сжатого газа были разработаны два типа электровводов. Первый состоял из цент-

41
58
82/116
7079

раль
его
вой
Этот
пров

С
элек
тока
в це
вкл
ност
пара
сыва
логр
логр
рато
мас
С
рис.
и по
видн
ные
явля
изме
ческ
сима
вой,
лени
Прав
ниж
пров
ност
зуюс
схем
прот
пров
8 ж

рального платинового стерженька, изолированного стеклом. Устройство его ясно из рис. 1. Второй имел кольцевую канавку в плексигласовой и слюдяной изоляции. Разрез его также представлен на рис. 1. Этот электроввод оказался вполне надежным в работе, и с ним были проведены основные измерения.

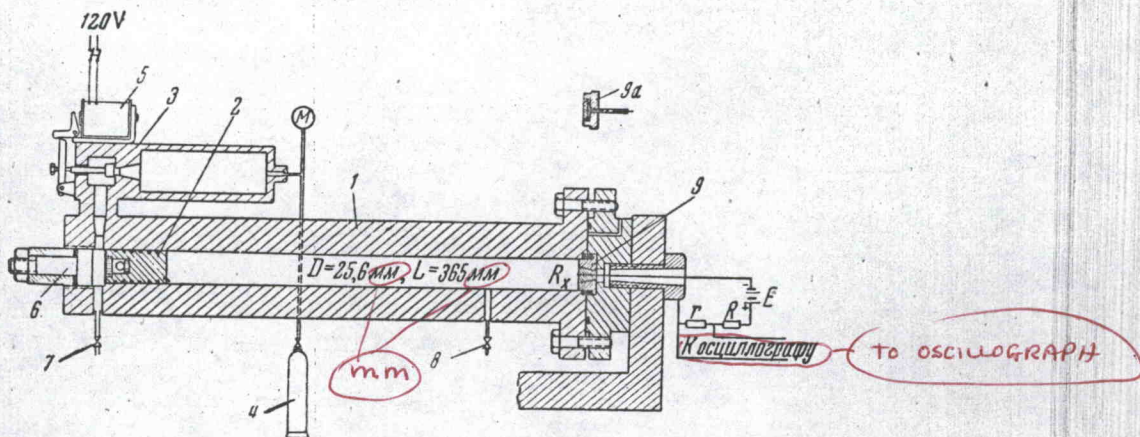


Рис. 1. Схема адиабатической установки; 1 — ствол; 2 — поршень с крещерным манометром; 3 — клапан подачи с ресивером; 4 — баллон со сжатым газом; 5 — пусковой электромагнит; 6 — уплотнение ствола; 7 и 8 — вентили для заполнения ствола испытываемым газом; 9 — электроввод (первый вариант); 9а — электроввод (второй вариант)

Схема измерения электрического тока показана на рис. 1. В цепь электроввода включались сопротивления r и R и батарея постоянного тока E . При возникновении проводимости в газе во время опыта в цепи появлялся электрический ток. При этом на включенных в цепь сопротивлениях возникала разность потенциалов, величина которой определялась параметрами схемы. Эта разность потенциалов записывалась при помощи двухлучевого катодного осциллографа со ждущей разверткой. На второй луч осциллографа подавались колебания от звукового генератора ЗГ-2 с частотой 10 000 гц, которые задавали масштаб времени.

Одна из полученных осциллограмм приведена на рис. 2, на котором по оси абсцисс нанесено время и по оси ординат — напряжение V_r . Внизу снимка видна синусоида с частотой 10 000 гц. Горизонтальные полосы в нижней и верхней части снимка являются градуировочными. Кривая представляет изменение электропроводности воздуха при адиабатическом сжатии (и последующем расширении) до максимального давления 4400 кг/см². Левая часть кривой, до максимума, соответствует увеличению давления газа и регистрирует рост электропроводности. Правая ветвь кривой, после максимума, отвечает понижению давления и регистрирует понижение электропроводности. Максимальное значение электропроводности отвечает максимальному давлению сжимаемого воздуха. Пользуясь подобной осциллограммой и зная параметры электрической схемы и размеры электроввода, нетрудно было найти удельное сопротивление газа при максимальном сжатии. Такие измерения были проведены для различных степеней сжатия.

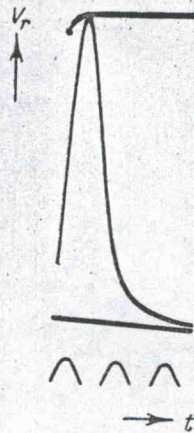


Рис. 2. Осциллограмма изменения электропроводности при сжатии воздуха. Максимальное давление 4400 кг/см²

0.6

Отдельными опытами было доказано, что при адиабатическом сжатии электрический ток проходит через газ, а не по поверхности изоляции электрода, т. е.; что проводимость имеет объемный характер.

Для воздуха получены экспериментальные данные в интервале максимальных давлений сжатия от 900 до 9000 кг/см². При этом

удельное сопротивление газа составляло от $1,3 \cdot 10^8$ до $1,1 \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{см}$ при плотности воздуха от 0,18 до 0,88 г/см³. Температура сжатого газа в этих условиях менялась примерно от 1700 до 2800°K. Полученные результаты приведены в табл. 1 и представлены графически на рис. 3, где по оси абсцисс нанесено максимальное давление сжатия, а по оси ординат — удельное сопротивление воздуха. В отдельной серии опытов напряжение на электровводе менялось в широких пределах: от 30 до 17 800 В/см. При этом ток в цепи менялся от $6 \cdot 10^{-6}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ А, и плотность тока в сжатом воздухе составляла от 0,008 до 4,0 мА/см². Эти опыты показали, что сопротивление сжатого адиабатически газа имеет омический характер.

Далее были проведены опыты с азотом. Применявшийся в работе технический азот содержал 99,5% азота и 0,5% кислорода. Методика проведения экспериментов и все остальные условия опыта были те же, что и при работе с воздухом. Эти

Таблица 1
Удельное сопротивление адиабатически сжатого воздуха

| p кг/см ² | R_0 Ω·см |
|---------------------------|------------------|
| 900 | $1,3 \cdot 10^8$ |
| 1100 | $2,4 \cdot 10^7$ |
| 1250 | $1,5 \cdot 10^7$ |
| 1500 | $7,4 \cdot 10^6$ |
| 1950 | $3,5 \cdot 10^6$ |
| 2250 | $1,7 \cdot 10^6$ |
| 3000 | $7,8 \cdot 10^5$ |
| 3600 | $5,4 \cdot 10^5$ |
| 4000 | $9,8 \cdot 10^5$ |
| 4600 | $7,1 \cdot 10^5$ |
| 5600 | $5,4 \cdot 10^5$ |
| 6400 | $5,0 \cdot 10^5$ |
| 7000 | $1,7 \cdot 10^5$ |
| 7600 | $1,2 \cdot 10^5$ |
| 9000 | $1,1 \cdot 10^5$ |

опыты показали, что азот также при повышении давления становится проводником электричества; характер изменения электропроводности в ходе сжатия оказался таким же, как и у воздуха. Отметим, что как в случае воздуха, так и в случае азота полученные на осциллограмме

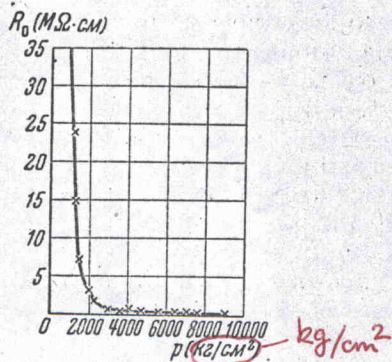


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления R_0 адиабатически сжатого воздуха от давления: $p = 900 - 9000$ кг/см²; $R_0 = 133 - 0,11$ МΩ·см

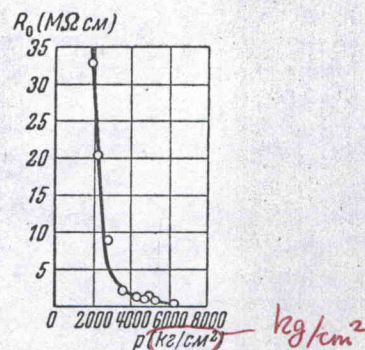


Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления R_0 адиабатически сжатого технического азота от давления: $p = 1800 - 6300$ кг/см²; $R_0 = 32,8 - 0,53$ МΩ·см

опыты показали, что азот также при повышении давления становится проводником электричества; характер изменения электропроводности в ходе сжатия оказался таким же, как и у воздуха. Отметим, что как в случае воздуха, так и в случае азота полученные на осциллограмме

тическом сжа-
о поверхности
объемный ха-

в интервале
м². При этом
е газа состав-
· 10⁵Ω·см при
от 0,18 до
сжатого газа
ась примерно
лученные ре-
обл. 1 и пред-
а рис. 3, где
о максималь-
по оси орди-
вление возду-
опытов напря-
менялось в
до 17 800 V/см.
еи менялся
и плотность
е составляла
Эти опыты по-
ние сжатого
т омический.

ны опыты с
в работе тех-
99,5% азота
и все осталь-
здухом. Эти

кривые несколько несимметричны, — в процессе сжатия проводимость меняется быстрее, чем при расширении.

Опыты с азотом охватывают интервал давлений от 1800 до 6300 кг/см². Удельное сопротивление при этом имело значение от $3,3 \cdot 10^7$ до $5,3 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{см}$ при плотности азота от 0,24 до 0,56 г/см³. Ток в цепи при этом менялся от $2,3 \cdot 10^{-5}$ до $1,1 \cdot 10^{-3}$ А. Плотность тока в сжатом азоте составляла от 0,03 до 15 мА/см². Полученные результаты приведены в табл. 2 и представлены графически на рис. 4, где по оси абсцисс нанесено максимальное давление сжатия, а по оси ординат — удельное сопротивление азота.

В последней серии опытов исследовалась электропроводность аргона. В работе использовался технический аргон состава: 87,6% аргона, 12,0% азота и 0,4% кислорода. Ход опыта оставался прежним.

В отличие от кривых электропроводности воздуха и азота кривые аргона не обнаруживают заметной асимметрии. Кроме того, на основную кривую, отражающую изменение электропроводности с изменением

давления сжимаемого газа, в случае аргона накладываются колебания высокой частоты. Было найдено, что частота этих колебаний

возрастает по мере увеличения давления газа и составляет $8 \cdot 10^4$ гц при давлении 550 кг/см², $13 \cdot 10^4$ гц при давлении 1300 кг/см² и $16 \cdot 10^4$ гц при давлении 3200 кг/см². Амплитуда колебаний также возрастает с увеличением давления. Одна из полученных в этой серии опытов осциллограмм представлена на рис. 5, где аргон был подвергнут сжатию до максимального давления 1300 кг/см². По оси абсцисс нанесено время, по оси ординат — напряжение V_r .

Электропроводность аргона была изучена в интервале давлений от 300 до 5600 кг/см². Удельное сопротивление аргона менялось в этих опытах соответственно от $3,2 \cdot 10^6$ до $170 \Omega \cdot \text{см}$, причем ток в цепи достигал значений от $2,3 \cdot 10^{-4}$ до 0,23 А, и плотность тока в сжатом аргоне составляла от 0,3 до 300 мА/см². Полученные результаты приведены в табл. 3 и представлены графически на рис. 6, где по оси абсцисс нанесено максимальное давление сжатия, а по оси ординат — удельное сопротивление аргона. Вследствие слишком большого диа-

пазона величин удельного сопротивления, опытные данные нанесены на двух графиках, охватывающих различные интервалы давлений. Эти графики дополняют друг друга.

Для выяснения природы наблюдаемых колебаний электропроводности, возникающих при работе с аргоном, были проведены дополнительные опыты, в которых было установлено, что при уменьшении времени сжатия примерно втрое (это достигалось уменьшением веса поршня) подобные колебания близкой частоты возникали также при

Таблица 2

Удельное сопротивление
адиабатически сжатого
технического азота

| $\frac{p}{\text{кг/см}^2}$ | R_0 $\Omega \cdot \text{см}$ |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1800 | $3,3 \cdot 10^7$ |
| 2250 | $2,0 \cdot 10^7$ |
| 2750 | $8,9 \cdot 10^6$ |
| 3600 | $2,2 \cdot 10^6$ |
| 4350 | $1,3 \cdot 10^6$ |
| 4650 | $1,2 \cdot 10^6$ |
| 4650 | $1,3 \cdot 10^6$ |
| 5000 | $1,6 \cdot 10^6$ |
| 5400 | $7,7 \cdot 10^5$ |
| 6300 | $5,3 \cdot 10^5$ |

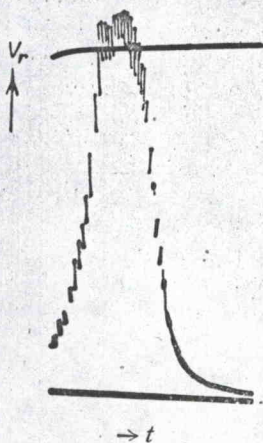


Рис. 5. Осциллограмма изменения электропроводности при сжатии технического аргона. Максимальное давление 1300 кг/см²

становится
проводности
им, что как
иллограмме

работе с воздухом. Отсюда было сделано заключение, что природа этих колебаний носит не электрический характер, и что они являются следствием побочных явлений, возникающих в процессе сжатия газа

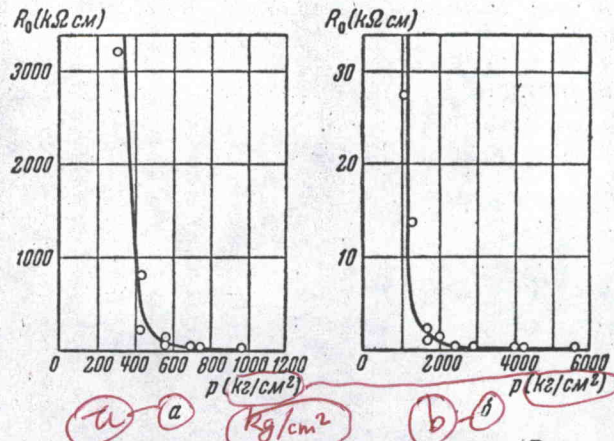


Рис. 6. Зависимость удельного сопротивления R_0 адиабатически сжатого технического аргона от давления. a — давление 300 — 960 кг/см²; $R_0 = 3200$ — 20 кΩ·см; b — давление 1080 — 5600 кг/см², $R_0 = 27500$ — 170Ω·см

при движении поршня. Это заключение было подтверждено специальными опытами, в которых изучался характер нарастания давления при сжатии газа. В качестве датчика служил пьезокварцевый манометр

Таблица 3

Удельное сопротивление адиабатически сжатого технического аргона

| p кг/см ² | R_0 Ω·см |
|---------------------------|------------------|
| 300 | $3,2 \cdot 10^6$ |
| 430 | $8,3 \cdot 10^5$ |
| 430 | $2,1 \cdot 10^5$ |
| 560 | $1,7 \cdot 10^5$ |
| 560 | $6,9 \cdot 10^4$ |
| 700 | $4,8 \cdot 10^4$ |
| 720 | $3,7 \cdot 10^4$ |
| 960 | $2,0 \cdot 10^4$ |
| 1100 | $2,8 \cdot 10^4$ |
| 1300 | $1,4 \cdot 10^4$ |
| 1700 | $2,3 \cdot 10^3$ |
| 1700 | $1,3 \cdot 10^3$ |
| 2000 | $1,7 \cdot 10^3$ |
| 2450 | 390 |
| 2900 | 260 |
| 4000 | 400 |
| 5600 | 170 |

высокого давления, помещенный на место электроввода. Эти опыты показали, что в процессе сжатия в газах возникают колебания давления той же частоты, как вышеуказанные колебания электропроводности. Величина этих колебаний зависит от режима сжатия: При малых скоростях сжатия эти колебания малы и заметны только у аргона. При увеличении скорости сжатия амплитуда колебаний возрастает, и колебания давления становятся заметны также при работе с воздухом.

Обсуждение результатов

Экспериментально было установлено, что при сильном адиабатическом сжатии как воздуха, так и технического азота, у них возникает электропроводность, являющаяся, несомненно, результатом термической ионизации данных газов. Естественно поставить вопрос о том, молекулы какого газа ионизируются в основном при этих услови-

ях? По нашему мнению, в данных условиях ионизируется в основном не кислород и не азот, а окись азота, которая образуется в смеси азота с кислородом при высоких температурах. Конечно, в подобных смесях происходит также ионизация молекул азота и кислорода, но

что природа они являются сжатия газа

вследствие того, что потенциал ионизации окиси азота (9,5 eV) значительно ниже, чем потенциалы ионизации азота (15,8 eV) и кислорода (12,5 eV), в основном будет ионизоваться именно окись азота. В силу указанных причин концентрация электронов, образующихся из молекул окиси азота, будет значительно больше концентрации электронов, образующихся из молекул азота и кислорода, несмотря даже на то, что концентрация окиси азота в азото-кислородной смеси сама по себе может быть достаточно мала. Отметим, что в опытах с техническим азотом последний содержал в виде примеси 0,5% кислорода, что при высокой температуре должно было привести к образованию в такой смеси некоторых количеств окиси азота.

Отмеченная выше некоторая несимметричность изменения проводимости во времени, наблюдаемая в процессе сжатия и расширения как воздуха, так и технического азота, происходит, по видимому, именно потому, что проводимость газа в данных условиях в значительной степени зависит от концентрации окиси азота в сжимаемом газе. Последняя изменяется с изменением температуры газа в процессе адиабатического сжатия. Вследствие того что образование (и разложение) окиси азота из кислорода и азота происходит со скоростью, определяемой температурой и кинетикой данной химической реакции, концентрация образующейся окиси азота не всегда и не сразу достигает равновесного значения. Из кинетических закономерностей известно, что чем ниже температура газа, тем медленнее идет реакция образования окиси азота. Поэтому в начале процесса сжатия концентрация азота должна отставать от равновесной концентрации, соответствующей текущему значению температуры сжатого газа. Это отставание должно уменьшаться по мере дальнейшего сжатия, и при высоких температурах, вблизи максимального сжатия, концентрация может приблизиться к равновесной. В ходе расширения процесс будет идти иным образом. Сначала концентрация окислов азота будет близка к равновесной, а затем даже превысит ее, когда наступит закалка продуктов реакции. В этом случае уменьшение проводимости газа в ходе расширения будет определяться уже только падением температуры газа и сопутствующей этому процессу деионизацией. Указанное обстоятельство и является, очевидно, причиной несимметрии изменения проводимости во время процесса сжатия и расширения воздуха и азота.

Представляло интерес сравнить экспериментально измеренные нами значения удельного сопротивления термически ионизованных газов при высоких температурах и давлениях с их значениями, рассчитанными по теории термической ионизации газов [2]. Пользуясь последней, можно написать следующее выражение для концентрации электронов:

$$N_e = 1,5 \cdot 10^{15} (\sqrt{c} / \sqrt{p_0}) \epsilon T^{3/2} e^{-5800V/T}, \quad (1)$$

где T — температура, p_0 — давление, V — потенциал ионизации газа, ϵ — степень сжатия газа, c — концентрация ионизирующегося газа в процентах.

Пользуясь теорией подвижности электронов в газе, можно написать выражение зависимости удельного сопротивления R_0 (в $\Omega \cdot \text{см}$) от концентрации электронов N_e , температуры T и степени сжатия газа ϵ :

$$R_0 = 3 \cdot 10^{13} (\sqrt{T} / N_e) \epsilon. \quad (2)$$

Результаты подсчета концентрации электронов и удельного сопротивления термически ионизованных газов по (1) и (2) показали, насколько сильно изменяется удельное сопротивление газа при одинаковых условиях

о специаль- авления при ий манометр ещенный на опыты пока- ния в газах вления той изанные ко- сти. Вели- зависит от х скоростях ты и замет- увеличении и колебаний давления при работе

газов

о установ- батическом и техниче- ет электро- сомненно, ионизации о поставить ого газа ио- их услови- вном не меси азота бных сме- орота, но

$$5/58 \cdot \frac{58}{53} \times 398 = \frac{23200}{53} = 436$$

$$\frac{10}{9} \times 398 = 442 \text{ page}$$

$$\begin{array}{r} 53 \overline{) 23084} \quad 436 \\ \underline{212} \\ 188 \\ \underline{159} \\ 294 \end{array}$$

сжатия и температуры в зависимости от того, какой газ в основном ионизируется. Например, достаточно присутствия в азоте небольшого количества молекул окиси азота, чтобы сопротивление в данном интервале давлений уменьшилось в $10^4 - 10^6$ раза. Отсюда также следует, что именно благодаря присутствию окислов азота в исследованных азоте и воздухе нам удалось обнаружить и изучить их проводимость. В ином случае электропроводность за счет термически ионизованных молекул азота и кислорода была бы настолько мала, что измерить ее в наших условиях опыта представило бы весьма большие трудности.

Пользуясь экспериментально измеренными значениями удельного сопротивления и степени сжатия были подсчитаны концентрации свободных электронов в газе. Температура была подсчитана в предположении, что газ является идеальным. Для воздуха и азота это не соответствует действительности, но учитывая, что отклонения от идеальности в этих условиях не слишком велики, а главное, что температура стоит под корнем квадратным, ошибка при этом допущении не может быть особенно велика.

Расчеты, проведенные с использованием данных, полученных в опытах с воздухом, показали, что в пределах применявшихся давлений концентрация свободных электронов в газе имеет значение от $9 \cdot 10^8$ до $1 \cdot 10^{13}$

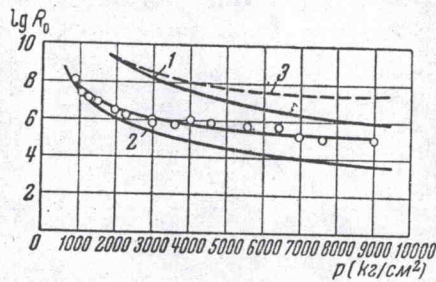


Рис. 7. Удельное сопротивление термически ионизованного воздуха при адиабатическом сжатии

на 1 см^3 . Результаты расчета зависимости удельного сопротивления адиабатически сжатого воздуха от давления в предположении, что ионизируется окись азота, образующаяся в процессе сжатия, представлены графически на рис. 7. Кривая 1 рассчитана в предположении, что потенциал ионизации газа равен $9,5 \text{ V}$, а кривая 2 — при $7,0 \text{ V}$. Кружками обозначены значения удельного сопротивления воздуха, полученные экспериментально. Последние имеют значения, меньшие, чем вычисленные (для воздуха с окисью азота) при потенциале ионизации $9,5 \text{ V}$. Это подтверждает высказанное выше предположение, что ионизируется в данном случае в основном окись азота, образующаяся в воздухе при сжатии, а не азот или кислород, так как при этом удельное сопротивление газа на несколько порядков превышало бы найденное на опыте. Из расчета следует также, что потенциал ионизации газа в условиях проведенных экспериментов оказывается даже меньше $9,5 \text{ V}$. Экспериментальная кривая при давлениях $1000 - 2000 \text{ кг/см}^2$ лежит около расчетной кривой, подсчитанной для потенциала ионизации $7,0 \text{ V}$. При больших давлениях экспериментальная кривая лежит между кривыми 1 и 2. Необходимо отметить, что подсчет кривых 1 и 2 велся в предположении, что сжатый воздух ведет себя как идеальный газ. Однако в действительности это не так — чем выше давление (плотность) воздуха, тем больше газ отклоняется от идеального состояния, и, следовательно, тем относительно ниже будет его температура при адиабатическом сжатии. Поэтому значения удельного сопротивления, подсчитанные для реального воздуха, должны иметь более высокие значения, чем для соответствующего идеального газа, причем это расхождение должно увеличиться по мере повышения давления сжатия. Таким образом кривая зависимости удельного сопротивления от давления для реального воздуха должна лежать выше кривой для идеального газа. Ввиду того что уравнение состояния воздуха в таких условиях не известно, подсчитать указанное влияние отклонений

$$\frac{100}{86} \times 420 = \frac{20}{17} \times 420 = \frac{8400}{17} = 494$$

420

$$\begin{array}{r} 58 \\ 42 \\ \hline 116 \\ 232 \\ \hline 51 \overline{) 24360} \\ 204 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 58 \\ 51 \\ \hline 396 \\ 359 \\ \hline 37 \end{array} \quad 58 \times 420 = 477 + 10 =$$

от идеальности не представляется возможным; однако из качественных соображений следует, что кривая, вычисленная, например, для 9,5 V, должна подняться, подобно тому, как это показано пунктирной линией 3 на рис. 7 (проведенной условно).

Таким образом значения удельного сопротивления, измеренные экспериментально, лежат ближе к кривой, подсчитанной для потенциала ионизации 7,0 V, чем для 9,5 V. Из этого можно сделать вывод, что в газе большой плотности потенциал ионизации уменьшается.

По экспериментальным данным, полученным в опытах с техническим азотом, было подсчитано, что в пределах применявшихся давлений сжатия концентрация свободных электронов в газе имеет значение от $7 \cdot 10^9$ до $1 \cdot 10^{12}$ на 1 см^3 . Сравнение экспериментально измеренных значений удельного сопротивления технического азота с рассчитанными показало, что в данных опытах, так же как и в случае воздуха, происходило понижение потенциала ионизации газа.

Почему же в сильно адиабатически сжатом газе (воздухе и азоте) происходит понижение потенциала ионизации? К понижению потенциала ионизации может привести воздействие электрического поля на ионизирующийся атом. Сильное электрическое поле оказывает влияние на связь электрона в атоме, в результате чего потенциал его ионизации становится меньше, чем у изолированного атома. В этом случае для ионизации электрону нужно удалиться от атома не на бесконечное расстояние, а на такое, при котором поле иона будет компенсироваться внешним электрическим полем. Поэтому работа, которую надо затратить для отрывания электрона от атома, будет меньше при наличии окружающего поля. Внешнее электрическое поле как бы срезает высшие электронные уровни и этим понижает потенциал ионизации. Какие же электрические поля могут воздействовать на атом? В ионизованном газе электроны и ионы создают микрополя, которые могут достигать значительных величин при большой концентрации последних. В нейтральном газе на ионизируемый атом могут воздействовать электрические поля молекул данного газа.

Из проведенных ориентировочных подсчетов следует, что микрополя, имеющиеся в воздухе в наших условиях сжатия, создаются в основном электрическими полями нейтральных молекул. Эти микрополя при больших сжатиях газа имеют значения настолько высокие, что могут вызывать весьма существенное понижение потенциала ионизации атомов и молекул. Произвести точный подсчет влияния воздействия электрических полей в плотном ионизованном газе на понижение потенциала ионизации молекул представляет большие трудности. Весьма грубую, примерную оценку этого можно произвести, учитывая увеличение диэлектрической постоянной газа при возрастании его плотности. Подсчет, произведенный таким образом для воздуха, содержащего окись азота, сжатого адиабатически до давления 9000 кг/см^2 , показывает, что потенциал ионизации может понизиться при этом на 2,9 V.

Изложенные соображения, не претендуя на полноту и точность, дают представление о причинах и величине возможного понижения потенциала ионизации в плотном ионизованном газе. По экспериментальным данным, полученным в опытах с техническим аргоном, подсчитана концентрация свободных электронов в газе. В пределах применявшихся давлений сжатия она составляет от $1 \cdot 10^{10}$ до $3 \cdot 10^{15}$ на 1 см^3 . Зависимость удельного сопротивления газа от давления при адиабатическом сжатии представлена графически на рис. 8. Кружками отмечены экспериментальные данные. Там же приведены рассчитанные значения по формулам (1) и (2). Кривая 1 подсчитана для технического аргона, у которого потенциал ионизации равен 15,7 V, а кривая 2 — для того же газа в предположении, что в нем при сжатии

458 / page
475

412

1576

459

образуется окись азота и потенциал ионизации составляет 9,5 В. Из рисунка следует, что кривая 2 при низких давлениях совпадает с экспериментальной кривой, но по мере увеличения давления отклоняется в сторону более низких сопротивлений. Кривая 1 лежит выше экспериментальной кривой и по мере возрастания давления к ней приближается.

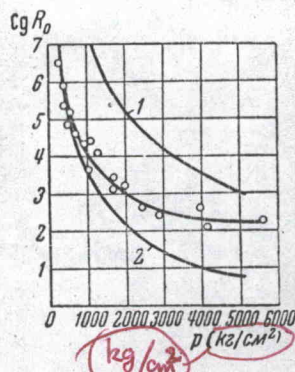


Рис. 8. Удельное сопротивление термически ионизованного технического аргона при адиабатическом сжатии

Отсюда можно сделать вывод, что в данном газе ионизируется в основном, повидимому, окись азота, образующаяся в процессе сжатия технического аргона из азота и кислорода, находящихся в аргоне в виде примесей. Понижения потенциала ионизации здесь не наблюдается; в данном случае, очевидно, подобное понижение и не должно происходить, так как концентрация электронов в газе не особенно велика, плотность газа небольшая, атомы аргона имеют заполненную электронную оболочку благородного газа, и поэтому в таком газе не должно быть особенно больших микрополей.

Почему же по мере увеличения сжатия кривая 1 приближается, а кривая 2 отклоняется от кривой, построенной по экспериментальным данным? Можно предположить, что причиной этого является термическая диссоциация молекул окиси азота. Последние образуются в газе в результате химической реакции молекул азота и кислорода в начальной стадии сжатия, при относительно не слишком высоких температурах. При дальнейшем сжатии — выше 1000 кг/см², когда температура газа начинает превышать 4000° К, начинается процесс заметной термической диссоциации молекул окиси азота на атомы азота и кислорода. При сжатии до давлений порядка 5000 кг/см², при которых температура данного газа доходит до значений 6000—8000° К, степень диссоциации окиси азота становится очень большой, что приводит к значительному уменьшению количества молекул окиси азота в сжатом газе. Таким образом процесс диссоциации окиси азота приводит к тому, что в основном будут ионизоваться уже не молекулы с потенциалом 9,5 В, а молекулы со значительно более высоким потенциалом ионизации. Изложенное объясняет, почему по мере повышения давления экспериментальная кривая приближается к кривой 1. Отметим, что кривая 2 была вычислена без учета диссоциации окиси азота при высоких температурах. Если эту диссоциацию учитывать, то расчетная кривая, начиная от давлений 1000 кг/см², должна лежать выше кривой 2, причем повышение должно усиливаться с повышением давления; при некотором давлении эта кривая должна сойтись с кривой 1.

В заключение отметим, что приведенные здесь расчеты имели ориентировочный характер, служили для оценки величин и вследствие этого не претендуют на строгость и точность.

Выражаем благодарность И. И. Тамму за помощь в работе.

Институт химической физики
Академии Наук СССР

Поступила в редакцию
29 апреля 1952 г.

Литература

- [1] Ю. Н. Рябинин. ЖЭТФ, Этот выпуск, стр. 461. — [2] M. Saha. Proc. Roy. Soc., A, 99, 135, 1921.

0.7
0.6
0.4
0.75
0.45
0.9
0.87
1.0
0.9

6.57 x 400
24 66

2.43

6.8
46
408
272
3128

270
206
2036