

Обложка
щется

Обложка
щется

Вѣстникъ Опытной Физики

И Элементарной Математики.

№ 667—668.

Содержаніе: Обь одномъ свойствѣ непрерывной функціи. Проф. Е. Л. Буницкаго. — Кинетическая теорія газовъ. Е. Вути. (Окончаніе) — Химія удильныхъ газовъ. Е. С. Бурксер. — Атмосфера Марса. А. В. — Письмо въ редакцію. П. Флорова. — Научная хроника: Очищеніе золота посредствомъ электролиза. — Библиографія: II. Собственныя сообщенія авторовъ, переводчиковъ и редакторовъ о выпущенныхъ книгахъ. «Русскій Астрономическій календарь». — Рѣшенія задачъ: № 307 (6 сер.). — Объявленія.

Обь одномъ свойствѣ непрерывной функціи.

Проф. Е. Л. Буницкаго.

1. Введеніе.

Если функція $f(x)$ опредѣлена въ нѣкоторомъ промежуткѣ $a \dots b$ и если этотъ промежутокъ можно подраздѣлить на конечное или же исчислимо безконечное множество отдѣльныхъ промежутковъ, въ каждомъ изъ которыхъ функція монотонна, то говорятъ, что функція $f(x)$ частично монотонна въ промежуткѣ $a \dots b^*$.

Въ статьяхъ „Къ теоріи maximum'a и minimum'a функціи одного переменнаго“ (№ 598—600 „Вѣстника“, I-ая часть) и „Къ теоріи extrema непрерывной функціи одного переменнаго“ („Записки Императорскаго Новороссійскаго Университета“, 1914) мною показано слѣдующее предложеніе.

*) Въ случаѣ исчислимо безконечнаго множества отдѣльныхъ частей, въ каждой изъ которыхъ функція $f(x)$ монотонна, мы имѣемъ въ виду, конечно, неограниченный промежутокъ $a \dots b$; въ этомъ случаѣ одинъ изъ концовъ промежутка заданъ не числомъ, а символомъ $-\infty$ или $+\infty$.

Пусть функция $f(x)$ обладает следующими свойствами: 1) она определена и непрерывна въ некоторомъ промежуткѣ $a \dots b$; 2) уравненіе

$$(1) \quad f(z) = f(x)$$

разрѣшается при помощи конечнаго числа равенствъ:

$$(2) \quad z = \varphi_0(x) = x, \quad z = \varphi_1(x), \dots, z = \varphi_n(x),$$

гдѣ $\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_n(x)$ суть не приводящіяся тождественно къ x функции, которыя непрерывны въ соответствующихъ промежуткахъ, за исключеніемъ, быть можетъ, конечнаго числа точекъ ξ ; въ этихъ точкахъ всѣ или нѣкоторыя изъ функций $\varphi_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) прерываются безконечнымъ разрывъ, такъ что

$$\lim_{x \rightarrow \xi} |\varphi_i(x)| = \infty;$$

3) каждое изъ уравненій

$$(3) \quad \varphi_i(x) = x \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

имѣетъ конечное число вещественныхъ корней. При наличности всѣхъ этихъ условій промежутокъ $a \dots b$, въ которомъ определена функция $f(x)$, подраздѣляется корнями уравненій (3) на конечное число промежутковъ, въ каждомъ изъ которыхъ функция $f(x)$ монотонна*).

При соблюденіи всѣхъ условій, указанныхъ въ упомянутомъ предложеніи, непрерывная функция $f(x)$ обладаетъ слѣдующими двумя свойствами: во-первыхъ, она частично монотонна, такъ какъ она монотонна въ каждой изъ частей, на которыя подраздѣляется промежутокъ $a \dots b$ корнями уравненій (3); во-вторыхъ, функция $f(x)$ принимаетъ каждое изъ своихъ значеній лишь конечное число разъ въ $a \dots b$, такъ какъ при любомъ данномъ x уравненіе (1) разрѣшается относительно z лишь конечнымъ числомъ равенствъ (2). Можно поставить вопросъ о томъ, какъ связаны вообще между собою эти два свойства, непрерывной функции? Ясно, что для всякой, даже и не непрерывной функции изъ перваго свойства вытекаетъ второе, если только промежутокъ $a \dots b$, въ которомъ функция частично монотонна, состоитъ изъ конечнаго числа частей, въ каждой изъ которыхъ разсматриваемая функция монотонна; дѣйствительно, въ каждой изъ этихъ отдѣльныхъ частей функция такого рода принимаетъ, въ силу монотонности, каждое изъ значеній, которое она вообще можетъ имѣть въ $a \dots b$, либо одинъ разъ, либо ни разу, откуда и слѣдуетъ, что разсматриваемая функция принимаетъ въ $a \dots b$ каждое изъ своихъ значеній лишь конечное число разъ, не большее нѣкотораго определеннаго числа. Справедливо ли обратное предложеніе, по крайней мѣрѣ, для непрерывной функции? Справедливо ли слѣдующее утвержденіе: если функция $f(x)$ непрерывна въ $a \dots b$ и если она принимаетъ въ этомъ промежуткѣ каждое изъ своихъ значеній не болѣе

*) Вещественные корни уравненій (3) даютъ какъ разъ всѣ тѣ значенія независимаго переменнаго, для которыхъ она принимаетъ значенія extrema.

m разъ, гдѣ m есть данное цѣлое положительное число, то промежутокъ $a \dots b$ распадается на конечное число частей, въ каждой изъ которыхъ функція $f(x)$ монотонна, и, такимъ образомъ, функція $f(x)$ частично монотонна въ $a \dots b$. Если бы это утверждение было вѣрно, то изложеніе вышеупомянутыхъ двухъ статей объ extrema непрерывной функціи могло бы значительно упроститься. Изъ допущенія, что уравненіе (1) разрѣшается относительно z конечнымъ числомъ равенствъ (2), вытекаетъ, что функція $f(x)$ принимаетъ въ $a \dots b$ каждое изъ своихъ значеній конечное число разъ, а именно не болѣе $n+1$ разъ. Поэтому, если бы указанное выше предложеніе было вообще вѣрнымъ, то изъ непрерывности функціи $f(x)$ и изъ допущенія, что уравненіе (1) разрѣшается конечнымъ числомъ равенствъ (2), вытекало бы, — независимо отъ остальныхъ допущеній, — что промежутокъ $a \dots b$ разлагается на конечное число частей, въ каждой изъ которыхъ функція $f(x)$ монотонна, и вопросъ объ опредѣленіи extrema функціи $f(x)$ приводился бы къ отысканію этихъ отдѣльныхъ частей. Въ настоящей статьѣ выясняется, что оставшееся подъ вопросомъ предложеніе вообще невѣрно: изъ того, что непрерывная въ $a \dots b$ функція $f(x)$ принимаетъ каждое изъ своихъ значеній не болѣе m разъ, гдѣ m есть данное цѣлое положительное число, не вытекаетъ, что промежутокъ $a \dots b$ распадается на конечное число частей, въ каждой изъ которыхъ функція $f(x)$ монотонна, и вообще не вытекаетъ частичная монотонность функціи $f(x)$, если $m > 2$. Если же $m = 1$ или $m = 2$, то рассматриваемое предложеніе вѣрно, а именно: если функція $f(x)$ непрерывна въ $a \dots b$ и если она принимаетъ каждое изъ своихъ значеній въ этомъ промежуткѣ лишь одинъ разъ, то она монотонна въ $a \dots b$; если функція $f(x)$ непрерывна въ $a \dots b$ и если она принимаетъ въ этомъ промежуткѣ каждое изъ своихъ значеній не болѣе двухъ разъ, принимая нѣкоторыя изъ нихъ навѣрно два раза, то функція $f(x)$ частично монотонна въ $a \dots b$, при чемъ промежутокъ $a \dots b$ распадается на двѣ или на три части, въ каждой изъ которыхъ функція $f(x)$ попеременно возрастаетъ или убываетъ монотонно; эти предложенія справедливы какъ для конечнаго, такъ и для безконечнаго промежутка $a \dots b$. Высказанныя только-что предложенія и составляютъ предметъ настоящей статьи.

2. Нѣкоторыя вспомогательныя указанія.

При обозначеніи промежутковъ въ статьѣ принята система Г. Ковалевскаго (G. Kowalewsky). Такъ называемый замкнутый промежутокъ отъ a до b , т.-е. промежутокъ, къ которому отнесено также и каждое изъ чиселъ a и b , мы будемъ обозначать черезъ $\langle a, b \rangle$; промежутокъ чиселъ между a и b , въ который не включено ни a ни b , мы будемъ обозначать черезъ (a, b) ; если же къ промежутку отъ a до b отнесено число a (или b), но не отнесено b (или a), то мы будемъ обозначать его черезъ $\langle a, b \rangle$ [или $(a, b]$ *). Кромѣ того,

*) См. „Grundzüge“ Kowalewsk'aro, § 10 (стр. 11), или Г. Ковалевскій — „Основы дифференціального и интегрального исчисленій“, переводъ почтъ редакціей прив.-доц. С. О. Шатуновскаго; изд. т-ва „Mathesis“; Одесса, 1911.

мы обозначаемъ вообще черезъ $a \dots b$ промежутокъ любого изъ указанныхъ выше типовъ, а черезъ $a \dots c$ и $\langle a \dots c$ — промежутки, въ которые включены соответственно числа c и a , если о концахъ a и c не сказано опредѣленно, включены ли они соответственно въ промежутокъ или нѣтъ.

Въ настоящей статьѣ мы называемъ однооднозначной функцію $f(x)$, принимающую въ промежуткѣ $a \dots b$, въ которомъ она опредѣлена, каждое изъ своихъ значеній лишь одинъ разъ; другими словами, функція $f(x)$ однооднозначна, если изъ неравенства $x_1 \neq x_2$ вытекаетъ, что $f(x_1) \neq f(x_2)$. Примѣромъ однооднозначной функціи можетъ служить такъ называемая монотонная функція, т.е. функція, которая всегда возрастаетъ или всегда убываетъ съ возрастаніемъ значенія независимаго переменнаго. Иначе говоря, для монотонности функціи необходимо и достаточно, чтобы отношеніе $\frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_1 - x_2}$ сохраняло при $x_1 \neq x_2$ постоянный знакъ.

Въ настоящей статьѣ мы предполагаемъ извѣстнымъ слѣдующее свойство непрерывной функціи: если функція $f(x)$ непрерывна въ $\langle a, b \rangle$ и если ея значенія $f(a)$ и $f(b)$ имѣютъ разные знаки, то для нѣкотораго значенія $x = c$, лежащаго внутри $\langle a, b \rangle$, $f(c) = 0$; отсюда вытекаетъ, какъ извѣстно, что функція $f(x)$, непрерывная въ промежуткѣ $\langle a, b \rangle$ и принимающая по концамъ его неравные значенія $f(a)$ и $f(b)$, принимаетъ внутри $\langle a, b \rangle$ каждое изъ значеній, лежащихъ въ промежуткѣ $\langle f(a), f(b) \rangle$. Точно такъ же мы считаемъ извѣстнымъ слѣдующее предположеніе Вейерштрасса (Weierstrass): если функція $f(x)$ непрерывна въ замкнутомъ промежуткѣ $\langle a, b \rangle$, то она достигаетъ своего наибольшаго и своего наименьшаго значенія въ этомъ промежуткѣ; другими словами, можно найти въ $\langle a, b \rangle$ числа c_1 и c_2 , удовлетворяющія соответственно неравенствамъ $f(x) \leq f(c_1)$ и $f(x) \geq f(c_2)$ при любомъ значеніи x , взятомъ въ $\langle a, b \rangle$.

Подъ extremum'омъ функціи $f(x)$ мы всегда будемъ подразумѣвать ея extremum для нѣкотораго значенія независимаго переменнаго $x = c$, лежащаго внутри промежутка, въ которомъ опредѣлена функція. Такимъ образомъ, функція $f(x)$ имѣетъ въ точкѣ c maximum или minimum, если можно указать такое положительное число δ , чтобы для всѣхъ значеній x , удовлетворяющихъ неравенствамъ

$$(4) \quad 0 < |x - c| < \delta,$$

выполнялось соответственно соотношение

$$(5) \quad f(x) - f(c) \leq 0 \quad \text{или} \quad f(x) - f(c) \geq 0.$$

Если въ неравенствахъ (4) можно выбрать положительное число δ такъ, чтобы въ неравенствѣ (5) отпалъ знакъ равенства, то extremum называется собственнымъ, а если этого нельзя сдѣлать, — не собственнымъ.

Изъ опредѣленія extremum'а вытекаетъ, что функція $f(x)$, достигающая своего наибольшаго или наименьшаго значенія $f(c)$ для

значенія независимаго переменнаго c , лежащаго внутри промежутка $a \dots b$, въ которомъ опредѣлена функція $f(x)$, имѣетъ также и extremum (соотвѣтственно maximum или minimum) въ точкѣ c (собственный или несобственный).

Наконецъ, мы будемъ считать извѣстнымъ въ дальнѣйшемъ изложеніи слѣдующее предложеніе: если функція $f(x)$ опредѣлена въ промежуткѣ $a \dots b$ и если она въ немъ монотонна, то существуютъ (конечные или безконечные) предѣлы $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ и $\lim_{x \rightarrow b} f(x)$. Доказательство

этого предложенія вытекаетъ изъ слѣдующихъ соображеній. При неограниченномъ приближеніи x къ a значеніе функціи $f(x)$ все время возрастаетъ (или убываетъ), либо оставаясь меньше (больше) нѣкотораго опредѣленнаго числа M , либо принимая значенія, большія (меньшія) любого положительнаго (отрицательнаго) числа; въ первомъ случаѣ переменная величина $f(x)$, все время возрастая (убывая) и оставаясь меньше (больше) M , стремится къ конечному предѣлу, не большому (не меньшему) M , а во второмъ случаѣ стремится къ предѣлу $+\infty$ [или $-\infty$]. Если a (или b) есть символъ $+\infty$ или $-\infty$ и если предѣлы $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ [или $\lim_{x \rightarrow b} f(x)$] есть число, то кривая $y = f(x)$ имѣетъ асимптоту, параллельную оси x ; если же a (или b) есть число и если предѣлы $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ [или $\lim_{x \rightarrow b} f(x)$] есть $+\infty$ или $-\infty$, то кривая $y = f(x)$ имѣетъ асимптоту, параллельную оси y .

3. О функціи непрерывной и однооднозначной.

Теорема I. Если функція $f(x)$ непрерывна въ промежуткѣ $a \dots b$ и если она въ немъ однооднозначна, то она монотонна въ $a \dots b$ *).

Допустимъ, что функція $f(x)$, непрерывная и однооднозначная въ $a \dots b$, не монотонна въ $a \dots b$. Тогда существуетъ пара неравныхъ значеній α_1, β_1 независимаго переменнаго и другая пара неравныхъ значеній α_2, β_2 , для которыхъ отношеніи

$$(6) \quad \frac{f(\alpha_1) - f(\beta_1)}{\alpha_1 - \beta_1}, \quad \frac{f(\alpha_2) - f(\beta_2)}{\alpha_2 - \beta_2}$$

не суть числа одного знака. Въ томъ случаѣ, когда одно, по крайней мѣрѣ, изъ нихъ равно нулю, выполняется одно изъ равенствъ: $f(\alpha_1) = f(\beta_1)$, $f(\alpha_2) = f(\beta_2)$ при $\alpha_1 \neq \beta_1$ и $\alpha_2 \neq \beta_2$, т.-е. функція $f(x)$ не однооднозначна, что противно условію. Остается рассмотреть тотъ

*) Это предложеніе доказано, — не будучи, однако, выведено въ отдѣльную теорему, — въ § 118-мъ „Grundzüge“ Ковалевскаго при изложеніи теоріи обратной функціи. Этимъ же предложеніемъ, вмѣстѣ съ теоремой II настоящей статьи, можно воспользоваться для точнаго и подробнаго доказательства теоремъ 3) и 4) статьи „Къ теоріи maximum'a и minimum'a функціи одного переменнаго“.

случай, когда отношения (6) имѣютъ разные знаки. Въ виду соответственной симметріи отношеній (6) относительно α_1 , β_1 и α_2 , β_2 можно принять, что

$$(7) \quad \alpha_1 > \beta_1, \quad \alpha_2 > \beta_2.$$

При такомъ предположеніи числители отношеній (6) имѣютъ разные знаки. Рассмотримъ теперь функцію $g(t)$, определяемую равенствомъ:

$$g(t) = f[\alpha_1 + t(\alpha_2 - \alpha_1)] - f[\beta_1 + t(\beta_2 - \beta_1)].$$

При измѣненіи t въ замкнутомъ промежуткѣ $\langle 0, 1 \rangle$ выраженія $\alpha_1 + t(\alpha_2 - \alpha_1)$ и $\beta_1 + t(\beta_2 - \beta_1)$ измѣняются соответственно въ замкнутыхъ промежуткахъ $\langle \alpha_1, \alpha_2 \rangle$ и $\langle \beta_1, \beta_2 \rangle$ или же остаются соответственно равными α_1 или β_1 , если $\alpha_1 = \alpha_2$ или $\beta_1 = \beta_2$; поэтому значенія этихъ выраженій лежатъ въ $a \dots b$, такъ что функція $g(t)$ определена въ замкнутомъ промежуткѣ $\langle 0, 1 \rangle$, при чемъ она въ немъ и непрерывна въ силу непрерывности функцій $f(x)$ и функцій $\alpha_1 + t(\alpha_2 - \alpha_1)$ и $\beta_1 + t(\beta_2 - \beta_1)$. Значенія функцій $g(t)$ по концамъ промежутка $\langle 0, 1 \rangle$, а именно:

$$g(0) = f(\alpha_1) - f(\beta_1), \quad g(1) = f(\alpha_2) - f(\beta_2),$$

имѣютъ разные знаки. Следовательно, непрерывная функція $g(t)$ при нѣкоторомъ значеніи θ переменнаго t , лежащемъ внутри промежутка $\langle 0, 1 \rangle$, обращается въ нуль. Итакъ, полагая $\xi_1 = \alpha_1 + \theta(\alpha_2 - \alpha_1)$, $\xi_2 = \beta_1 + \theta(\beta_2 - \beta_1)$, имѣемъ: $f(\xi_1) = f(\xi_2)$, при чемъ навѣрно $\xi_1 + \xi_2$; дѣйствительно, такъ какъ θ лежитъ внутри промежутка $\langle 0, 1 \rangle$ и такъ какъ [см. (7)] разности $\alpha_1 - \beta_1$ и $\alpha_2 - \beta_2$ суть числа положительные, то

$$\xi_1 - \xi_2 = (\alpha_1 - \beta_1)(1 - \theta) + \theta(\alpha_2 - \beta_2) > 0.$$

Итакъ, функція $f(x)$ оказалась не однооднозначной, что противно условію.

Замѣчаніе. Такимъ образомъ, если непрерывная въ нѣкоторомъ промежуткѣ функція однооднозначна въ немъ, т.-е. если она принимаетъ въ немъ каждое изъ своихъ значеній лишь одинъ разъ, то она, какъ только-что доказано, и монотонна въ этомъ промежуткѣ; но однооднозначность есть необходимое условіе монотонности, а потому справедливо слѣдующее предположеніе: для того, чтобы функція $f(x)$, непрерывная въ нѣкоторомъ промежуткѣ, была въ немъ монотонна, необходимо и достаточно, чтобы она была въ немъ однооднозначна*).

Теорема II. Если непрерывная въ $a \dots b$ функція $f(x)$ принимаетъ равныя значенія для двухъ неравныхъ значеній α и β независимаго переменнаго, то она имѣетъ extremum въ нѣкоторой точкѣ ϵ , лежащей внутри промежутка $\langle \alpha, \beta \rangle$.

*) Въ такомъ именно видѣ формулировано рассматриваемое предположеніе въ статьѣ „Къ теоріи extrema непрерывной функціи одного переменнаго (см. теорему I, 3) этой статьи).

По условію $f(a) = f(\beta)$. Если функція $f(x)$ сохраняетъ въ промежуткѣ $\langle a, \beta \rangle$ постоянное значеніе, равное каждому изъ чиселъ $f(a)$ и $f(\beta)$, то она имѣетъ (несобственный) extremum для всякаго значенія c независимаго переменнаго, лежащаго внутри $\langle a, \beta \rangle$. Если же функція $f(x)$ не сохраняетъ постоянного значенія въ промежуткѣ $\langle a, \beta \rangle$, то она принимаетъ внутри него значеніе, либо большее, либо меньшее значеній, отвѣчающихъ концамъ его, а потому функція $f(x)$, достигая въ промежуткѣ $\langle a, \beta \rangle$, въ силу непрерывности, своего наибольшаго и наименьшаго значенія въ этомъ промежуткѣ, принимаетъ соответственно одно изъ нихъ навѣрно для нѣкотораго значенія c независимаго переменнаго, лежащаго внутри $\langle a, \beta \rangle$; это наибольшее или наименьшее значеніе $f(c)$ функціи $f(x)$ въ промежуткѣ $\langle a, \beta \rangle$, какъ достигаемое внутри него, есть навѣрно extremum функціи $f(x)$.

Теорема III. Если функція $f(x)$, непрерывная въ промежуткѣ $a \dots b$, не имѣетъ extremum'a внутри этого промежутка, то она въ немъ монотонна.

Допустимъ, что функція $f(x)$, непрерывная въ промежуткѣ $a \dots b$ и не имѣющая extremum'a внутри него, не монотонна въ немъ. Тогда, по теоремѣ I, функція $f(x)$ не была бы одноднотозначна въ $a \dots b$, и, такимъ образомъ, мы имѣли бы, что $f(a) = f(\beta)$ для нѣкоторыхъ двухъ неравныхъ значеній независимаго переменнаго a и β ; но тогда, по теоремѣ II, функція $f(x)$ имѣла бы extremum внутри промежутка $\langle a, \beta \rangle$, а потому и внутри промежутка $a \dots b$, что противно условію.

4. О собственныхъ и несобственныхъ extrema.

Теорема IV. Если $f(c)$ есть несобственный extremum функціи $f(x)$, то существуетъ безконечный рядъ чиселъ $c_1, c_2, \dots, c_n, \dots$, удовлетворяющихъ равенствамъ $f(c_i) = f(c)$ ($i = 1, 2, \dots$), а также неравенствамъ

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_n \geq \dots \geq c,$$

въ которыхъ взяты одновременно либо верхніе, либо нижніе знаки.

По опредѣленію несобственного extremum'a для любого даннаго положительнаго числа δ можно указать значеніе ξ независимаго переменнаго, удовлетворяющее неравенствамъ $0 < |\xi - c| < \delta$ и равенству $f(\xi) = f(c)$. Пусть теперь δ_0 есть любое, но опредѣленное положительное число, и пусть ξ_1 удовлетворяетъ неравенствамъ $0 < |\xi_1 - c| < \delta_0$ и равенству $f(\xi_1) = f(c)$. Принимая въ опредѣленіи несобственного extremum'a число δ равнымъ положительному числу $|\xi_1 - c|$, можно указать значеніе независимаго переменнаго ξ_2 , удовлетворяющее неравенствамъ $0 < |\xi_2 - c| < |\xi_1 - c|$ и равенствамъ $f(\xi_2) = f(\xi_1) = f(c)$. Продолжая рассуждать такимъ же образомъ, можно выдѣлить безконечный рядъ чиселъ $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$, удовлетворяющихъ неравенствамъ

$$(8) \quad 0 < \dots < |\xi_n - c| < |\xi_{n-1} - c| < \dots < |\xi_2 - c| < |\xi_1 - c| < \delta_0$$

и равенствамъ

$$(9) \quad f(\xi_i) = f(c) \quad (i = 1, 2, \dots).$$

Такъ какъ числа ξ_i не равны между собою и такъ какъ ни одно изъ нихъ не равно c [см. (8)], то изъ ряда $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$ навѣрно можно выдѣлить безконечный рядъ чиселъ либо исключительно меньшихъ, либо большихъ, чѣмъ c (быть можетъ, существуютъ оба такіе ряда, но одинъ изъ нихъ навѣрно существуетъ). Предполагая, для краткости, что въ ряду чиселъ $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$, при сохраненіи той же ихъ нумераціи въ неравенствахъ (8), оставлены числа либо только меньшія, либо только большія, чѣмъ c , и полагая $\xi_i = c_i$, находимъ соотвѣтственно:

$$(10) \quad 0 < \dots < c_n - c < c_{n-1} - c < \dots < c_2 - c < c_1 - c < \delta_0$$

или

$$(11) \quad 0 < \dots < c_n - c < c_{n-1} - c < \dots < c_2 - c < c_1 - c < \delta_0.$$

Изъ неравенствъ (10) слѣдуетъ, что

$$-c < \dots < -c_n < -c_{n-1} < \dots < -c_2 < -c_1,$$

или что

$$(12) \quad c_1 < c_2 < \dots < c_{n-1} < c_n < \dots < c,$$

а изъ неравенствъ (11), что

$$(13) \quad c_1 > c_2 > \dots > c_{n-1} > c_n > \dots > c.$$

Итакъ, мы построили безконечный рядъ чиселъ $c_1, c_2, \dots, c_n, \dots$, удовлетворяющихъ неравенствамъ (12) или же (13) и, кромѣ того [см. (9)], равенствамъ

$$(14) \quad f(c_i) = f(c) \quad (i = 1, 2, 3, \dots).$$

Слѣдствіе. Если функція $f(x)$, заданная въ промежуткѣ $a \dots b$, принимаетъ въ немъ каждое изъ своихъ значеній не болѣе m разъ, гдѣ m есть данное цѣлое положительное число, то она не имѣетъ несобственныхъ extrema.

Дѣйствительно, если бы рассматриваемая функція имѣла несобственный extremum $f(c)$, то, по доказанной теоремѣ, она принимала бы значеніе, равное $f(c)$, безконечное множество разъ для нѣкотораго безконечнаго ряда неравныхъ значеній независимаго переменнаго $c_1, c_2, \dots, c_n, \dots$.

Теорема V. Если функція $f(x)$ определена въ промежуткѣ $a \dots b$, непрерывна въ этомъ промежуткѣ и имѣетъ въ немъ несобственный extremum, то она имѣетъ безчисленное множество extrema.

Пусть $f(c)$ есть несобственный экстремум рассматриваемой функции. Построимъ съ помощью теоремы IV безконечный рядъ чиселъ c_i , удовлетворяющихъ равенствамъ (14) и неравенствамъ (12) или (13). Функция $f(x)$, непрерывная въ $a \dots b$, непрерывна въ замкнутомъ промежуткѣ $\langle c_1, c_2 \rangle$, при чемъ, въ силу равенствъ (14), $f(c_1) = f(c_2)$; поэтому (теорема II) функция $f(x)$ имѣетъ экстремумъ $f(\gamma_1)$ въ некоторой точкѣ γ_1 , лежащей между c_1 и c_2 . Точно такимъ же образомъ можно доказать, что функция $f(x)$ имѣетъ extrema $f(\gamma_2)$, $f(\gamma_3)$, ... и т. д. въ некоторыхъ точкахъ $\gamma_2, \gamma_3, \dots$, лежащихъ соответственно между c_2 и c_3 , c_3 и c_4 и т. д. Въ безконечномъ ряду чиселъ $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ нѣтъ двухъ равныхъ, такъ какъ они удовлетворяютъ [см. (12), (13)] либо

$$c_1 < \gamma_1 < c_2 < \gamma_2 < c_3 < \gamma_3 < \dots < c_{n-1} < \gamma_{n-1} < c_n < \gamma_n \dots,$$

либо неравенствамъ

$$c_1 > \gamma_1 > c_2 > \gamma_2 > c_3 > \gamma_3 > \dots > c_{n-1} > \gamma_{n-1} > c_n > \gamma_n \dots$$

Такимъ образомъ, функция $f(x)$ имѣетъ безконечное множество extrema $f(\gamma_1)$, $f(\gamma_2)$, $f(\gamma_3)$ и т. д.

Слѣдствіе. Если непрерывная въ промежуткѣ $a \dots b$ функция $f(x)$ имѣетъ въ немъ конечное число extrema, то всѣ они собственные.

Замѣчаніе. Предложеніе это можно вывести, конечно, также и изъ теоремы III, принимая во вниманіе, что, въ силу этой теоремы, функция, непрерывная и имѣющая конечное число extrema, монотонна отъ начала промежутка до первой точки c_1 включительно, въ которой функция имѣетъ первый экстремумъ $f(c_1)$, затѣмъ она монотонна въ послѣдовательныхъ промежуткахъ $\langle c_1, c_2 \rangle$, $\langle c_2, c_3 \rangle$, ..., $\langle c_{n-1}, c_n \rangle$, $\langle c_n \dots b$, гдѣ c_1, c_2, \dots, c_n суть всѣ тѣ послѣдовательныя значенія независимаго переменнаго, для которыхъ функция $f(x)$ имѣетъ extrema; такимъ образомъ, въ достаточно малой окрестности каждой изъ точекъ c_i ($i = 1, 2, \dots, n$) функция не имѣетъ значенія, равнаго $f(c_i)$, а потому всѣ ея extrema должны быть собственными.

Теорема VI. Если функция $f(x)$ непрерывна въ промежуткѣ $a \dots b$ и если она имѣетъ въ этомъ промежуткѣ конечное число extrema, то она частично монотонна въ $a \dots b$.

Пусть функция $f(x)$ имѣетъ n extrema для значеній $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n$ независимаго переменнаго, и пусть эти значенія пронумерованы, для большаго удобства, такъ, что промежутокъ $a \dots b$ раздѣляется ими на части $a \dots c_1$, $\langle c_1, c_2 \rangle$, ..., $\langle c_{n-1}, c_n \rangle$, $\langle c_n \dots b$. Тогда функция $f(x)$ внутри каждаго изъ этихъ промежутковъ не имѣетъ extremum'a, а потому она, въ силу непрерывности, монотонна въ каждомъ изъ нихъ (теорема III); иначе говоря, функция $f(x)$ частично монотонна въ промежуткѣ $a \dots b$.

Замѣчаніе. Изъ монотонности функціи $f(x)$ въ промежуткахъ $a \dots c_1$, $\langle c_1, c_2 \rangle, \dots, \langle c_n \dots b$ и изъ опредѣленія extremum'a вытекаетъ, что extrema $f(c_1), f(c_2), \dots, f(c_n)$ суть поочередно то maximum, то minimum, или наоборотъ; кромѣ того, въ указанныхъ выше послѣдовательныхъ промежуткахъ функція $f(x)$ поочередно то возрастаетъ (убываетъ), то убываетъ (возрастаетъ).

(Продолженіе слѣдуетъ).

Кинетическая теорія газовъ.

Е. Бути.

(Окончаніе *).

Часть II. Успѣхи теоріи и трудности, ею встрѣчаемая.

Въ предыдущемъ очеркѣ мы изложили основанія кинетической теоріи газовъ и указали на то, что она способна къ дальнѣйшему, ничѣмъ не ограниченному совершенствованію, такъ какъ она въ состояніи принимать въ соображеніе, при помощи подходящихъ специфическихъ постоянныхъ въ формулѣ Ванъ-деръ-Ваальса, всѣ особенности строенія соответствующихъ молекулъ. Теперь мы познакоимся съ успѣхами этой теоріи, которые позволили намъ опредѣлить число молекулъ въ единицѣ объема и величину самихъ молекулъ. Послѣ этого мы укажемъ, въ чемъ состоятъ тѣ весьма значительныя трудности, на которыя мы наталкиваемся при попыткѣ распространить кинетическую теорію на явленія теплого лучеиспусканія.

14. Рассмотримъ массы различныхъ совершенныхъ газовъ, занимающія единицу объема при одной и той же температурѣ и при одномъ и томъ же давленіи. Кинетическая теорія устанавливаетъ, что каждая изъ этихъ массъ должна обладать однимъ и тѣмъ же запасомъ живой силы поступательнаго движенія ихъ молекулъ. Пусть n обозначаетъ количество молекулъ, находящихся въ единицѣ объема, m — массу молекулъ, а u — среднюю скорость поступательнаго движенія. Мы будемъ имѣть

$$nm u^2 = \text{const.} \quad (1)$$

Извѣстно, что газы, обладающіе одной и той же температурой и находящіеся подъ однимъ и тѣмъ же давленіемъ, диффундируютъ одни въ другіе, при чемъ, несмотря на тѣсное смѣшеніе газовъ, имѣющее мѣсто при диффузии, не наблюдается никакого теплого эффекта. Далѣе, примемъ во вниманіе, что при процессѣ

*) См. „Вѣстникъ“, № 666.

диффузии столкновения между молекулами разного рода быстро ведутъ къ уравниванію средней живой силы поступательнаго движенія молекулъ; а это, въ общемъ случаѣ, не можетъ произойти безъ извѣстнаго тепловаго эффекта. А между тѣмъ при указанныхъ выше условіяхъ послѣдній не обнаруживается. Слѣдовательно, средняя живая сила поступательнаго движенія молекулъ уже до наступленія диффузии была одинаковой для обоихъ газовъ. Итакъ, мы получаемъ:

$$mv^2 = \text{const.} \quad (2)$$

Изъ равенствъ (1) и (2) слѣдуетъ, что

$$n = \text{const.}$$

Число n молекулъ въ единицѣ объема различныхъ газовъ при одномъ и томъ же давленіи и одной и той же температурѣ всегда одинаково. Съ точки зрѣнія кинетической теоріи одинъ газъ отличается отъ другого лишь массой своихъ молекулъ; такимъ образомъ, послѣдняя пропорціональна плотности. Напримѣръ, азотъ въ 14 разъ плотнѣе водорода, и, слѣдовательно, масса молекулы азота во столько же разъ больше массы молекулы водорода.

Какъ извѣстно, еще до того, какъ была разработана кинетическая теорія, химики высказали то же положеніе. Они выводили его изъ законовъ, указывающихъ, въ какихъ объемныхъ отношеніяхъ вступаютъ между собою въ соединеніе газы; эти законы установилъ Гэ-Люссакъ, а Авогадро примѣнилъ ихъ къ атомистической гипотезѣ. Число молекулъ (n) въ единицѣ объема или, еще лучше, число ихъ (N) въ граммолекулахъ при нормальныхъ условіяхъ извѣстно подъ названіемъ постоянной Авогадро.

Новѣйшіе успѣхи кинетической теоріи дали возможность опредѣлить эту постоянную, а также объемъ молекулъ. Эти опредѣленія производятся различными способами, имѣющими болѣе или менѣе косвенный характеръ. Несмотря на недостаточную точность, допускаемую нѣкоторыми изъ этихъ способовъ, всѣ они приводятъ къ результатамъ, превосходящимъ по своей согласованности самыя смѣлыя ожиданія. Мы имѣемъ въ виду дать нѣкоторое представленіе о наиболѣе доступныхъ изъ этихъ методовъ.

15. Если бы молекулы были бесконечно малы, то столкновенія между ними были бы совершенно невозможны, и онѣ отражались бы только стѣнками сосуда. Но если представить себѣ, что молекулы обладаютъ нѣкоторыми конечными размѣрами, то столкновенія между ними будутъ тѣмъ болѣе часты, чѣмъ больше будетъ ихъ объемъ.

Для упрощенія предположимъ, что молекулы имѣютъ сферическую форму. Это предположеніе будетъ имѣть болѣе шансовъ согласоваться съ дѣйствительностью, если мы на время ограничимся разсмотрѣніемъ простыхъ одноатомныхъ газовъ (§ 11).

Среднее число столкновеній, которымъ подвергается молекула въ единицу времени, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будетъ діаметръ

молекулы. Измѣненія средней длины пути, пробѣгаемаго молекулой между двумя послѣдовательными столкновениями, будутъ по смыслу обратны измѣненіямъ діаметровъ молекулъ. Кинетическая теорія даетъ намъ простое соотношеніе между объемомъ газа, средней длиной пути молекулы и ея діаметромъ; но пока послѣдніе два элемента остаются для насъ неизвѣстными. Постараемся опредѣлить среднюю длину пути молекулы.

16. Разсмотримъ въ газѣ, находящемся въ состояніи равновѣсія, два прилегающіе другъ къ другу слои и представимъ себѣ, что толщина каждаго изъ нихъ равна неизвѣстной намъ средней длинѣ пути. Между указанными двумя слоями будетъ происходить постоянный обмѣнъ молекулами. Вообще говоря, всѣ молекулы, принадлежащія первому слою, очутившись во второмъ слоѣ, будутъ задержаны въ немъ, т.-е. не будутъ въ состояніи проскочить сквозь него, не подвергнувшись столкновенію, которое придастъ иное направленіе ихъ пути. Вирочемъ, такого рода взаимная „бомбардировка“ двухъ разсматриваемыхъ слоевъ ничего не измѣняетъ въ состояніи газа, такъ какъ слои обмѣниваются одинаковымъ количествомъ „снарядовъ“*), средняя скорость которыхъ въ обоихъ слояхъ одинакова.

Не то будетъ въ томъ случаѣ, если равновѣсіе будетъ систематически нарушаться въ томъ смыслѣ, что между средними скоростями молекулъ въ двухъ сосѣднихъ слояхъ будетъ поддерживаться значительная разность. Можно, напримѣръ, нарушить равновѣсіе, нагревая газъ съ верхней стороны и охлаждая его съ нижней и поддерживая при этомъ съ той и съ другой стороны постоянныя температуры. Тогда каждый болѣе теплый слой, толщина котораго равна средней длинѣ пути, посылаетъ въ ниже лежащій, болѣе холодный слой „снаряды“, обладающіе большей скоростью. Болѣе холодный слой отвѣчаетъ „снарядами“, скорость которыхъ меньше. Въ результатѣ въ газѣ устанавливается процессъ постоянного расхода живой силы и, слѣдовательно, теплоты (тепловая проводимость). Величина этого расхода, очевидно, связана со средней длиной пути.

Болѣе глубокій анализъ этого явленія позволяетъ установить соотношеніе, въ которомъ имѣется только одно неизвѣстное, а именно — средняя длина пути; послѣднюю, такимъ образомъ, можно опредѣлить какъ функцію отъ извѣстныхъ величинъ. Но въ данномъ случаѣ опытъ, очень трудный, не допускаетъ достаточной точности.

17. Нарушеніе равновѣсія можетъ быть достигнуто еще однимъ, способомъ; этотъ способъ, кстати сказать, позволяетъ намъ лучше понять одно изъ существенныхъ свойствъ молекулярнаго движенія. Онъ основанъ на всѣмъ извѣстномъ свойствѣ прилипанія газовъ къ твердымъ тѣламъ. Вообразимъ себѣ плоскія, неограниченнаго размѣра, стѣнки, расположенныя параллельно одна противъ другой, и допустимъ, что одна изъ нихъ неподвижна, а другая перемѣщается въ своей собственной плоскости съ постоянной скоростью. Перемѣщаю-

*) Если пренебречь незначительными колебаніями въ этомъ отношеніи.

жающаяся стѣнка увлекаетъ за собою прилегающій слой газа и сообщаетъ, такимъ образомъ, его молекуламъ, обладающимъ извѣстнымъ первоначальнымъ поступательнымъ движеніемъ, нѣкоторую дополнительную скорость, равную и параллельную скорости движенія стѣнки. Слои, находящіеся въ промежуткѣ между подвижной и неподвижной стѣнками, скользятъ одни по другимъ, при чемъ дополнительная скорость, оставаясь все время параллельной одному и тому же направленію, съ опредѣленной правильностью убываетъ отъ подвижной стѣнки къ неподвижной, гдѣ становится равной нулю.

Легко видѣть, что такое искусственно созданное состояніе газа можетъ поддерживаться только при постоянномъ расходованіи энергіи. Дѣйствительно, въ каждомъ слое, толщина котораго равна средней длинѣ пути, столкновенію между молекулами безостановочно стремятся уравнять скорость молекулярнаго движенія по вѣснмъ направленіямъ; очевидно, что это происходитъ за счетъ дополнительной скорости, имѣющей одно опредѣленное направленіе. Если бы, въ виду этого, дѣйствіе силы на подвижную стѣнку прекратилось, то послѣдняя остановилась бы; но если движеніе стѣнки поддерживается, то живая сила переноснаго движенія, исчезающая въ каждый моментъ, преобразуется въ живую силу молекулярнаго движенія, т.-е. въ теплоту.

Было бы трудно осуществить этотъ опытъ въ такомъ видѣ, какъ мы его себѣ представили. Въмѣсто этого мы производимъ опытъ, аналогичный описанному, при которомъ вычисляютъ количество газа, протекающаго черезъ капиллярную трубку подъ вліяніемъ опредѣленной разности давленій. Газовый слой, тѣсно прилегающій къ стѣнкѣ капиллярной трубки, остается неподвижнымъ; внутренніе же концентрическіе слои скользятъ одни по другимъ подобно трубкамъ бинокля. Такимъ образомъ, мы имѣемъ здѣсь, въ сущности, то же явленіе скольженія (вязкость, внутреннее треніе газовъ), о которомъ говорится въ только-что описанномъ воображаемомъ опытѣ. Пользуясь данными, добытыми изъ этого опыта, и рядомъ извѣстныхъ величинъ, можно вычислить среднюю длину пути.

18. Для одного и того же газа средняя длина пути молекулы обратно пропорціональна давленію и прямо пропорціональна абсолютной температурѣ, т.-е. обратно пропорціональна плотности.

Напримѣръ, для азота средняя длина пути при нормальныхъ температурѣ и давленіи очень близка къ $\frac{1}{10000}$ мм.

Зная среднюю длину пути и предполагая, что молекула имѣетъ сферическую форму (§ 15), мы можемъ найти длину ея діаметра. Въ случаѣ азота мы находимъ для длины діаметра молекулы число $2,8 \cdot 10^{-8}$ см.

Мы видимъ, что, при такъ называемыхъ нормальныхъ условіяхъ температуры и давленія, средняя длина пути въ нѣсколько сотъ разъ больше діаметра молекулы.

19. Уравненіе состоянія газовъ Ванъ-деръ-Ваальса, выражающее, при второй степени приближенія, сжимаемость и расширяемость газа (§ 13), содержитъ три специфическія постоянныя величины, изъ которыхъ одна (коволюмъ) теоретически равна четыремъ-

кратной суммѣ объемовъ всѣхъ молекулъ, въ предположеніи, что онѣ имѣютъ сферическую форму. Но мы только-что опредѣлили діаметръ, а, слѣдовательно, и объемъ отдѣльной молекулы. Поэтому, раздѣливши четверть коволюма на объемъ отдѣльной молекулы, мы получимъ число молекулъ въ единицѣ объема газа, т.-е. число Авогадро (§ 14). Опредѣленіе этого числа въ данномъ случаѣ основано на опытномъ изслѣдованіи вязкости и сжимаемости газовъ. Но результатъ носить все же нѣсколько гипотетическій характеръ, такъ какъ мы построили свой выводъ на допущеніи, будто молекулы имѣютъ сферическую форму, и будто формула Ванъ-деръ-Ваальса абсолютно точна. Необходимо число Авогадро, полученное такимъ способомъ, проконтролировать помощью метода, который совершенно отличался бы отъ только-что описаннаго.

20. Представимъ себѣ изотермическую атмосферу, находящуюся въ состояніи равновѣсія. Извѣстно, что, если, начиная отъ какого-либо уровня, напримѣръ, уровня почвы, подыматься на высоты, возрастающія въ арифметической прогрессіи, то давленіе будетъ уменьшаться въ геометрической прогрессіи (формула Лапласа).

Сравнимъ между собою двѣ атмосферы, образованныя различными газами. Высота поверхности, отдѣляющей въ каждой изъ разсматриваемыхъ атмосферъ уровни, гдѣ давленія будутъ имѣть два данныхъ значенія, обратно пропорціональна плотности составляющихъ эти атмосферы газовъ и, слѣдовательно, массѣ ихъ молекулъ (§ 19). Такимъ образомъ, если бы мы знали массу молекулы одного опредѣленнаго газа, то, произведя сравнительныя измѣренія надъ различными изотермическими атмосферами, мы опредѣлили бы массу молекулы каждаго изъ другихъ газовъ.

Къ несчастью, плотности различныхъ извѣстныхъ намъ газовъ имѣютъ одинъ и тотъ же порядокъ величины. Поэтому опредѣленіе массы молекулы представляло бы одну и ту же трудность независимо отъ того, какой взять газъ.

21. Перрену пришла въ голову замѣчательная идея создать искусственныя атмосферы, въ которыхъ роль молекулъ играли бы маленькіе шарики извѣстнаго намъ вѣса. Массы этихъ шариковъ, весьма незначительныя въ сравненіи съ нашей единицей мѣры, должны быть, однако, огромными въ сравненіи съ массой газовой молекулы.

Для осуществленія своей идеи Перренъ воспользовался эмульсіями, — напримѣръ, эмульсіей гуммигута; при этомъ онъ, при помощи ряда дробныхъ перегонокъ старался добиться того, чтобы частицы эмульсіи имѣли, насколько, возможно, одинаковый діаметръ.

Возникаетъ вопросъ, въ какой мѣрѣ можно такого рода эмульсію считать аналогичной изотермической газовой атмосферѣ? Для того, чтобы выяснитъ это, Перренъ занялся сосчитываніемъ частицъ на различныхъ уровняхъ эмульсіи. Оказалось, что среднее число частицъ, замѣчаемыхъ въ полѣ зрѣнія микроскопа, при постепенномъ поднятіи трубки на одинаковыя разстоянія убываетъ въ геометрической прогрессіи (§ 20). При повѣркѣ этого факта, довольно тонко поставленной, получаютъ результаты, далеко превосходящіе наши ожиданія.

Итакъ, мы здѣсь имѣемъ искусственную атмосферу, въ которой броуновское движеніе играетъ роль поступательнаго молекулярнаго движенія, а сферическія частицы эмульсіи — роль молекулъ. Въ то время какъ въ нашей атмосферѣ нужно подняться приблизительно на 6 км., чтобы давленіе, а, слѣдовательно, и число молекулъ, уменьшилось на половину, въ случаѣ одной изъ эмульсій Перрена достаточно поднять микроскопъ на шесть тысячныхъ миллиметра, чтобы получить такое же уменьшеніе. Такимъ образомъ, активная масса*) частицы эмульсии приблизительно въ миллиардъ разъ больше массы молекулы воздуха. Слѣдовательно, взвѣшивая извѣстное количество этихъ частицъ, мы тѣмъ самымъ косвенно производимъ взвѣшивание молекулы какого-либо газа (§ 20)**).

Зная массу единицы объема газа при нормальныхъ условіяхъ (плотность), а также массу одной молекулы, мы можемъ непосредственно опредѣлить число Авогадро.

Перренъ варіировалъ въ самыхъ широкихъ размѣрахъ составъ эмульсій, размѣръ ея частицъ, вязкость, плотность, температуру эмульгирующей жидкости. Соответствіе между результатами получилось вполне удовлетворительное.

Постоянную Авогадро можно считать близкой къ числу $6,8 \cdot 10^{23}$.

22. Такимъ образомъ, мы вышли изъ области теорій, имѣющей, какъ и всякая теорія, нѣсколько туманный характеръ. Мы пришли въ соприкосновеніе съ дѣйствительностью. Согласіе между результатами, полученными не только посредствомъ методовъ, принципы которыхъ мы изложили, но и посредствомъ еще многихъ другихъ методовъ, должно внушить намъ довольно высокую степень довѣрія къ основательности тѣхъ гипотетическихъ положеній, на которыхъ построена кинетическая теорія. Являются ли эти гипотетическія положенія окончательнымъ, безспорнымъ выраженіемъ дѣйствительности? Мы не осмѣлились бы утверждать это. Но можно съ увѣренностью сказать, что они даютъ картину, довольно близкую къ дѣйствительности. Кинетическая гипотеза дала намъ возможность связать между собою явленія, на первый взглядъ совершенно одно отъ другого не зависящія, какъ, напримѣръ, тепловую проводимость газа и его вязкость (§§ 16 и 17).

*) Сила, дѣйствующая на частицу эмульсии и уравновѣшивающая эффектъ броуновскаго движенія, есть не что иное, какъ кажущійся вѣсъ частицы, равный разности между ея дѣйствительнымъ вѣсомъ и вѣсомъ одинаковаго объема жидкости эмульсии.

**) Основываясь на заключеніи § 14, мы можемъ сказать, что живая сила поступательнаго движенія частицы эмульсии (броуновскаго движенія) должна быть равна средней живой силѣ поступательнаго движенія молекулы жидкости, которая, въ свою очередь, равна средней живой силѣ поступательнаго движенія молекулы соответствующаго этой жидкости газа. Скорость u для газа колеблется въ предѣлахъ скоростей, которыми обладаютъ снаряды современныхъ орудій. Скорость броуновскаго движенія не превосходитъ нѣсколькихъ тысячныхъ миллиметра.

На частицу эмульсии можно смотрѣть, какъ на молекулу такого фиктивного газа, молекулярный вѣсъ котораго приблизительно въ миллиардъ разъ больше молекулярнаго вѣса обыкновеннаго газа.

Эта гипотеза удивительнымъ образомъ будила умъ изслѣдователей и сыграла роль весьма сильнаго фермента, подготовившаго новыя открытія.

23. Значить ли это, что кинетическая теорія обладаетъ могуществомъ объяснять рѣшительно все, хотя бы даже въ ограниченной области, охватывающей только тепловыя явленія. Въ этомъ отношеніи будетъ цѣлесообразно выдѣлить всю группу явленій, относящихся къ тепловому лучеиспусканію.

Теплота можетъ переходить отъ одного тѣла къ другому при помощи непосредственнаго соприкосновенія; для объясненія этого явленія вполне достаточно, конечно, указать на происходящее при этомъ столкновеніе молекулъ. Но теплота способна распространяться отъ одного тѣла къ другому также черезъ прозрачныя тѣла и, въ частности, черезъ пустоту.

Свѣтовыя, а также тепловыя волны распространяются въ пустотѣ со скоростью 300 000 км. въ секунду. Для того, чтобы объяснить себѣ, какъ это происходитъ, пришлось допустить существованіе нѣкоторой промежуточной среды — ээира, заполняющаго собою все міровое пространство, проникающаго въ матеріальныя тѣла и сохраняющаго свою подвижность въ тѣхъ изъ нихъ, которыя мы называемъ прозрачными.

Каково строеніе ээира? Относительно этого мы не знаемъ ничего кромѣ того, что онъ обладаетъ чрезвычайно большою упругостью. Но упругость его совсѣмъ особаго рода. Онъ служитъ средой, въ которой могутъ распространяться лишь поперечныя волны, въ противоположность газамъ, которые способны передавать лишь продольныя волны, и твердымъ тѣламъ, которыя могутъ одновременно передавать оба вида волнъ. Обладаетъ ли ээиръ непрерывнымъ строеніемъ, или же, подобно другимъ средамъ, онъ состоитъ изъ молекулъ? Какъ первое, такъ и второе предположеніе имѣли своихъ сторонниковъ. Мы увидимъ въ одной изъ слѣдующихъ статей, почему физики въ настоящее время предпочитаютъ придерживаться перваго предположенія.

Ээиръ самъ по себѣ, повидимому, совершенно инертенъ. Источникомъ колебаній, которыя онъ передаетъ, служатъ тепловыя, электрическія, химическія и др. измѣненія, происходящія въ матеріальныхъ тѣлахъ. Ээирныя колебанія могутъ на пути своего распространенія претерпѣвать отраженіе, разсѣяніе, преломленіе, поглощеніе со стороны матеріальныхъ тѣлъ. Несмотря на успѣхи новѣйшаго времени, экспериментальное изслѣдованіе должно раскрыть намъ еще много тайнъ въ области явленій лучеиспусканія.

24. Механическое объясненіе испусканія и поглощенія лучей можно было бы построить на явленіяхъ увлеченія за собою ээира матеріей, вполне доказанныхъ знаменитымъ опытомъ Физо (Fizeau). Такимъ образомъ, всякое колебательное движеніе элементовъ матеріи должно имѣть своимъ послѣдствіемъ колебательное движеніе ээира и наоборотъ. Правда, этимъ путемъ можно объяснить, — по крайней мѣрѣ, въ общихъ чертахъ и не касаясь количественной стороны явленій, — испускательную и поглощательную способность твердыхъ тѣлъ, молекулы которыхъ способны совершать колебанія около нѣкотораго положенія равновѣсія. Но избѣгнемъ ли мы при этомъ всѣхъ трудностей?

Насъ особенно интересуетъ, примѣнимы ли всѣ эти разсужденія къ газамъ. Прежде всего, способенъ ли газъ испускать лучи при обыкновенныхъ условіяхъ? Другими словами, способенъ ли онъ испускать и поглощать лучистую энергію подѣ влияніемъ одной только теплоты, безъ всякаго химическаго воздѣйствія, при отсутствіи глубокаго измѣненія своихъ молекулъ или атомовъ, вызваннаго электричествомъ или какимъ-либо другимъ агентомъ?

Вопросъ этотъ въ высшей степени сложенъ. Въ послѣднее время мы стали получать кое-какія точныя свѣдѣнія о происхожденіи различныхъ видовъ газовыхъ спектровъ: спектровъ сплошныхъ, линейчатыхъ и спектровъ поглощенія; мы начали кое-гдѣ различать, что принадлежитъ молекулѣ и что атому, и т. д. Важно отмѣтить, что спектры одноатомныхъ газовъ нисколько не отличаются по своей сложности отъ спектровъ многоатомныхъ газовъ.

Испускательная способность газовъ при низкой температурѣ особенно трудно поддается экспериментальному изслѣдованію, но ихъ поглощательная способность лучше изучена. Извѣстно, что въ видимомъ спектрѣ углекислый газъ отличается особенно высокой поглощательной способностью. Водяной паръ, различные газы атмосферы также отличаются хорошо выраженной и весьма сложной избирательной способностью поглощенія. Хотя о поглощательной способности одноатомныхъ газовъ (аргона, гелія, неона и т. д.) мы знаемъ меньше, но можно быть увѣреннымъ, что и въ этомъ случаѣ она существуетъ и подчиняется довольно сложнымъ законамъ.

Можно ли, съ точки зрѣнія кинетической теоріи, дать объясненіе явленіямъ испусканія и поглощенія лучистой энергіи, свойственнымъ одноатомному газу. Вѣдь мы установили, и притомъ безъ всякихъ оговорокъ, что весь запасъ тепловой энергіи этихъ газовъ заключается въ поступательномъ движеніи ихъ молекулъ: существованіе какихъ бы то ни было колебательныхъ движеній мы совершенно отвергли (§ 11). Какимъ же образомъ поступательное движеніе молекулъ можетъ преобразовываться въ колебательное движеніе ээира и наоборотъ? Трудность возникаетъ здѣсь большая. Ее, пожалуй, нельзя даже преодолѣть.

Въ такой же мѣрѣ приходится задумываться надъ нѣкоторыми трудностями, встрѣчаемыми при изученіи лучеиспусканія темныхъ тѣлъ.

25. Попытка разрѣшить всѣ эти трудности привела къ необходимости расширить нашу точку зрѣнія и болѣе глубоко проникнуть въ строеніе ээира и матеріи.

Проницательный гений Максвелля создалъ электромагнитную теорію свѣта, поразительнымъ образомъ подтвержденную въ послѣдствіи открытіемъ волнъ Герца. Согласно этой теоріи, распространеніе лучей въ пустотѣ состоитъ въ чередующихся электромагнитныхъ пертурбаціяхъ, происходящихъ въ ээирѣ. Лучистая энергія можетъ оказывать непосредственное воздѣйствіе лишь на электрическія и магнитныя массы.

Съ другой стороны, изученіе катодныхъ лучей и явленій радіо-активности привело къ открытію электроновъ, настоящихъ атомовъ

электричества, которые при помощи достаточно больших сил могут быть отторгнутыми от своих материальных атомов, раньше считавшихся неделимыми. И вотъ, является рациональнымъ относить явленія испусканія и поглощенія лучей къ воздѣйствію электромагнитныхъ волнъ эѳира на свободные или связанные съ атомомъ электроны.

Такимъ образомъ, мы отказываемся отъ чисто механическаго объясненія явленій лучеиспусканія.

Въ ближайшей своей статьѣ „О темномъ лучеиспусканіи и о квантахъ“ мы разсмотримъ, насколько возможно такое толкованіе этихъ явленій, которое опиралось бы одновременно на принципы механики и электродинамики. А это, несмотря на возможность такого распространительнаго примѣненія нынѣ существующихъ принциповъ, приведетъ насъ къ вопросу о томъ, не является ли все-таки необходимымъ нѣкоторымъ образомъ расширить самыя основы механики или электродинамики, на которыхъ до настоящаго времени покоились эти ученія.

Химія удушливыхъ газовъ.

Е. С. Бурксера.

Одесскій Областной Комитетъ военно-технической помощи организовалъ въ г. Одессѣ Курсы по газовому дѣлу, которые имѣютъ цѣлю готовить для нашей арміи кадры химиковъ-инструкторовъ. Согласно предложенію г. Попечителя Одесскаго Учебнаго Округа, средними учебными заведеніями г. Одессы были командированы на эти курсы преподаватели физико-математической специальности и школьные врачи, которые въ теченіе минувшихъ рождественскихъ каникулъ прослушали циклъ лекцій, читаемыхъ на Курсахъ, и въ настоящее время приступили къ сообщенію свѣдѣній по газовому дѣлу, въ настоящее время столь важному, учащимся выпускныхъ классовъ.

Настоящая статья представляетъ собою, въ нѣкоторомъ сокращеніи, лекціи по химіи удушливыхъ газовъ, читанныя завѣдующимъ Курсами Е. С. Бурксеромъ на Одесскихъ Курсахъ химиковъ-инструкторовъ по газовому дѣлу.

Ред.

Какъ извѣстно изъ исторіи войнъ, удушающій дымъ примѣнялся, какъ средство борьбы, еще много вѣковъ тому назадъ. Въ настоящую войну германцами выпускаются вмѣстѣ съ вѣтромъ облака удушливыхъ и ядовитыхъ газовъ, которые отравляютъ воздухъ.

Для образованія удушливаго облака необходимы газы, болѣе тяжелые, чѣмъ воздухъ, способные ползти по землѣ и заполнять всѣ углубленія. Для газовой атаки употребляются лишь тѣ газы, которые доступны въ большомъ количествѣ и вмѣстѣ съ тѣмъ дешевы и которые

быстро выводятъ человѣка изъ строя. Химія знаетъ большое число удушающихъ и ядовитыхъ газовъ и легко испаряющихся жидкостей, которые могутъ быть примѣнены въ современной войнѣ.

Въ виду того, что химикамъ-инструкторамъ по газовому дѣлу для успѣшности борьбы съ новымъ оружіемъ врага необходимо подробно ознакомиться со свойствами подобныхъ веществъ и способами ихъ распознаванія, мы не ограничимся ознакомленіемъ съ тѣми веществами, которые нашли уже себѣ примѣненіе, но рассмотримъ свойства и тѣхъ веществъ, примѣненіе которыхъ не является невозможнымъ. По дѣйствію на организмъ примѣняемые на войнѣ газы могутъ быть раздѣлены на три категоріи: на раздражающіе, ядовитые и смѣшанные (при этомъ къ числу газовъ мы относимъ и жидкости высокой упругости пара).

1. Раздражающіе газы.

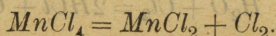
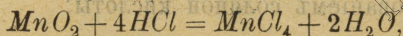
Къ первой категоріи принадлежатъ галоиды (хлоръ, бромъ и фторъ), ихъ водородныя соединенія, сѣрнистый газъ и азотноватый ангидридъ; при этомъ мы здѣсь же огмѣтимъ, что примѣненіе фтора, бромистаго и фтористаго водорода маловероятно.

1. Хлоръ.

Свойства. Хлоръ (*Cl*) представляетъ собою газъ зеленовато-желтаго цвѣта, удѣльный вѣсъ котораго по отношенію къ воздуху = 2,45. При -102° хлоръ затвердѣваетъ въ желтую кристаллическую массу. При 0° и при давленіи въ 6 атмосферъ сгущается въ жидкость, кипящую при $-33,5^{\circ}$. При охлажденіи ниже этой температуры онъ сгущается и при обыкновенномъ давленіи. При 15° удѣльный вѣсъ жидкаго хлора = 1,426. 1 килограммъ жидкаго хлора образуетъ около 300 литровъ газообразнаго. Въ одномъ объемѣ воды при 20° растворяется 2,26 объема хлора.

Чистый сухой хлоръ въ сжиженномъ видѣ хорошо сохраняется въ стальныхъ баллонахъ. Если такой баллонъ открыть, наклонивъ его предварительно краномъ внизъ, то жидкій хлоръ вырывается съ шумомъ изъ баллона и при сильномъ охлажденіи обращается въ газъ. Вслѣдствіе значительнаго удѣльнаго вѣса хлоръ стелется по землѣ и, увлекаемый въ ту или другую сторону вѣтромъ, заполняетъ всѣ щели, ямы, овраги, разрушая на пути все живое. Физиологическое дѣйствіе хлора весьма сильно. Въ количествѣ 1 ч. на 250 000 ч. воздуха онъ вызываетъ смерть.

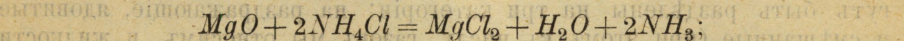
Полученіе. Источникомъ для полученія хлора въ лабораторіи является соляная кислота, которую нагреваютъ въ смѣси съ перекисью марганца. Происходящая реакція можетъ быть выражена слѣдующими уравненіями:



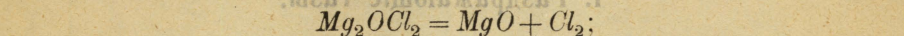
Въ технику для получения свободного хлора, находящаго себѣ широкое промышленное примѣненіе, пользуются:

- 1) электролизомъ хлористаго натрія;
- 2) методомъ Сольвея и Монда, основаннымъ на дѣйствіи кислорода на хлористый магній:

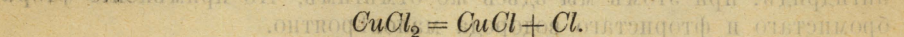
$MgCl_2 + O = MgO + Cl_2$,
при чемъ магnezій вновь превращается въ хлористый магній при нагрѣваніи съ нашатыремъ:



- 3) способомъ Weldon-Pechiney'a, основаннымъ на разложени хлорокиси магнія при накаливаніи:



- 4) способомъ Дикона, основаннымъ на разложеніи двухлористой мѣди:

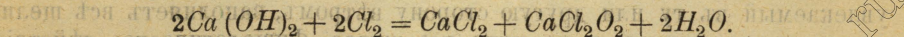
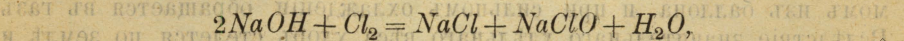


Соединенія. Въ чистомъ видѣ хлоръ жадно соединяется съ металлами: сурьма, измельченная въ порошокъ, сгораетъ въ хлоръ яркимъ пламенемъ; даже золото и платина не противостоятъ дѣйствію хлора.

Съ амміакомъ хлоръ можетъ дать нашатырь, хлористый азотъ и азотъ. Растворы органическихъ красокъ обесцвѣчиваются подѣ влияніемъ окисляющаго дѣйствія хлора.

Изъ соединений хлора съ кислородомъ слѣдуетъ отмѣтить Cl_2O и ClO_2 . Первый окисель хлора представляетъ красную жидкость, кипящую при $+20^\circ$ и образующую желто-зеленые пары удѣльнаго вѣса 3,90. Двоукись хлора ClO_2 кипитъ при $+10^\circ$ и легко разлагается со взрывомъ.

Поглотители. Щелочами хлоръ поглощается безъ остатка, при чемъ образуются хлористыя и хлорноватистыя соли, какъ, напримѣръ,



Сѣрноватистокислый натрій (гипосульфитъ) $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ вступаетъ весьма быстро въ реакцію съ хлоромъ, образуя сѣрнокислый и хлористый натрій. Во время реакціи обычно освобождается также и сѣрнистый газъ, для избежанія чего къ гипосульфиту прибавляется въ 5,8 разъ большее по вѣсу количество соды ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$). Вода подѣ дѣйствіемъ хлора разлагается на свѣту съ выдѣленіемъ кислорода и образованіемъ соляной кислоты:



Реактивы. Для обнаруженія въ воздухѣ свободного хлора могутъ быть примѣнены слѣдующія реакціи:

1. Иодо-крахмальная бумага*), смоченная водою въ атмосферѣ, содержащей хлоръ, синѣетъ. Хлоръ вытѣсняетъ іодъ изъ іодистой соли, а послѣдній вызываетъ съ крахмаломъ синее окрашиваніе.

Ту же реакцію даютъ бромъ, двуокись азота и озонъ.

2. Растворъ сѣрниокислаго индиго при взбалтываніи съ воздухомъ, содержащимъ хлоръ, обезцвѣчивается.

3. Воздухъ, содержащій хлоръ, пропускается черезъ воду; вода взбалтывается съ растворомъ азотнокислаго серебра, послѣ чего осаждается хлористое серебро.

4. Хлоръ, растворенный въ водѣ, выдѣляетъ изъ бромистыхъ солей свободный бромъ, который, растворяясь при взбалтываніи въ хлороформъ, окрашиваетъ послѣдній въ желтый цвѣтъ.

2. Бромъ.

Бромъ (*Br*) по своимъ химическимъ свойствамъ является анагомъ хлора и принадлежитъ къ той же группѣ химическихъ элементовъ (къ галоидамъ).

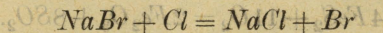
Мѣстонахождение брома. Въ природѣ бромъ встрѣчается въ соединеніи съ калиемъ или магниемъ (*KBr* и *MgBr₂*) въ верхнихъ слояхъ Стассфуртскихъ залежей въ Германіи, гдѣ добывается до 900 000 кг_p. брома въ годъ, а также въ видѣ бромистаго серебра въ Америкѣ. Въ Россіи замѣтнымъ содержаніемъ бромистыхъ солей отличаются нѣкоторыя соленыя озера Юга Россіи.

Свойства. Въ чистомъ видѣ бромъ представляетъ собою бурокрасную жидкость удѣльнаго вѣса (при 0°) 3,187, замерзающую при -7,05° и кипящую при 58,7°. Удѣльный вѣсъ паровъ брома равенъ, приблизительно, 5.

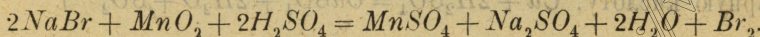
Въ виду того, что бромъ обладаетъ сильнымъ удушливымъ запахомъ и оказываетъ весьма вредное дѣйствіе на глаза, его употребляютъ въ современной войнѣ для начинки снарядовъ.

1 часть брома растворяется въ 27 частяхъ воды, образуя буроватый растворъ, извѣстный подъ названіемъ бромной воды. Бромъ, подобно хлору, легко соединяется съ металлами, но окислительныя свойства его слабѣе, чѣмъ у хлора.

Бромъ добывается изъ бромистыхъ солей дѣйствіемъ на нихъ хлора:

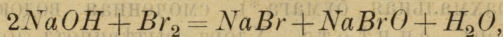


или же нагреваніемъ ихъ съ перекисью марганца и сѣрной кислотой:



*) Способъ изготовленія: 5 гр. крахмала растирается въ порошокъ и смѣшивается съ небольшимъ количествомъ холодной воды, чтобы получилась кашлица, которую вливаютъ въ литръ кипящей воды; кипятятъ 1—2 минуты; раствору даютъ отстояться 12 часовъ и фильтруютъ; полученнымъ растворомъ пропитываютъ фильтровальную бумагу, даютъ ей высохнуть, затѣмъ смачиваютъ 1%-нымъ растворомъ іодистаго калия и снова сушатъ.

Поглотители. Бромъ поглощается, подобно хлору, растворами щелочей, при чемъ образуются бромистыя и бромноватистыя соли:



а также растворомъ гипосульфита, при чемъ образуются бромистый натрій и сѣрникоислый натрій.

Реактивы. Для обнаруженія свободного брома могутъ служить слѣдующія реакціи:

1. Йодокрахмальная бумага (смоченная водой) синѣетъ.
2. Бумажка, смоченная растворомъ диметилфенилендіамина, окрашивается въ фіолетовый цвѣтъ.
3. Бумажка, смоченная растворомъ флуоресцеина, краснѣетъ.
4. Весьма характерна для обнаруженія брома бумажка Дениже*). Смоченная предварительно 1—2%-ной соляной кислотой, она окрашивается въ фіолетово-красный цвѣтъ.

Ни хлоръ ни іодъ не оказываютъ на бумажку Дениже такого дѣйствія (NB. Формальдегидъ даетъ ту же окраску).

3. Сѣрнистый газъ.

Свойства. Сѣрнистый газъ (SO_2) представляетъ безцвѣтный газъ, удѣльнаго вѣса 2,26, обладающій рѣзкимъ удушливымъ запахомъ. При -10° онъ легко превращается при обыкновенномъ давленіи въ жидкость, а при -73° замерзаетъ. Удѣльный вѣсъ жидкаго SO_2 равенъ 1,38.

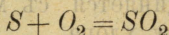
Сѣрнистый газъ употребляется для бѣленія, окуриванія бочекъ и уничтоженія крысъ.

Соединенія и поглотители. Сѣрнистый газъ весьма сильно растворимъ въ водѣ; растворъ его обладаетъ кислыми свойствами вслѣдствіе образованія сѣрнистой кислоты H_2SO_3 .

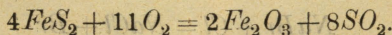
Типичныя реакціи его — реакціи возстановленія, обусловленныя способностью перехода сѣрнистаго ангидрида SO_2 въ сѣрный ангидридъ SO_3 .

Щелочи съ сѣрнистымъ газомъ образуютъ сѣрнитоислыя соли.

Полученіе. Получается сѣрнистый газъ при горѣніи сѣры:



или желѣзнаго колчедана:



Лабораторный способъ полученія SO_2 основанъ на дѣйствіи мѣди на сѣрную кислоту: $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2^{**}$.

*) 10 кб. см. раствора бисульфата натрія (крѣпостью 33° Боме) вливается въ 1 литръ воднаго раствора фуксина (1:1000). После 5-ти минутнаго стоянія прибавляется 20 кб. см. соляной кислоты удѣльнаго вѣса 1,18.

**) На 1 вѣс. часть мѣдныхъ стружекъ берутъ 3—4 вѣс. части крѣпкой сѣрной кислоты и ведутъ реакцію при нагреваніи. При этой реакціи получается и небольшое количество другихъ соединеній, — напримѣръ, CuS .

Реактивы. 1. Водный растворъ іода въ присутствіи сѣрнистаго газа обезцвѣчивается, при чемъ образуется сѣрная кислота; послѣдняя при прибавленіи хлористаго барія даетъ соляную кислоту и нерастворимый въ этой кислотѣ бѣлый осадокъ сѣрнокислаго барія.

2. Крахмальная бумага, пропитанная 1%-нымъ растворомъ іодноватокислаго натрія, окрашивается вслѣдствіе выдѣленія іода въ синій цвѣтъ.

3. Двуокись свинца поглощаетъ сѣрнистый газъ, образуя сѣрно-кислый свинецъ, имѣющій бѣлый цвѣтъ.

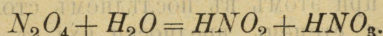
4. Лакмусовый растворъ окрашивается въ красный цвѣтъ.

4. Двуокись азота.

Свойства. Двуокись азота (NO_2) — буро-красный газъ съ кислой реакціей и своеобразнымъ удушливымъ запахомъ. Удѣльный вѣсъ этого газа равенъ 2,65. При охлажденіи легко переходитъ въ жидкость красновато-желтаго цвѣта (удѣльнаго вѣса 1,47), кипящую при $+22,5^\circ$ и замерзающую при -9° .

Пары двуокиси азота имѣютъ бурю окраску, интенсивность которой увеличивается при нагрѣваніи, вслѣдствіе перехода N_2O_4 въ NO_2 .

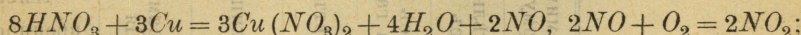
При смѣшеніи съ водой двуокись азота образуетъ азотную и азотистую кислоты:



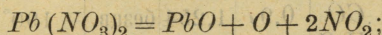
Поглотители. Двуокись азота поглощается щелочами, при чемъ образуются азотно-кислыя и азотисто-кислыя соли.

Полученіе. Двуокись азота можетъ быть получена:

1. дѣйствіемъ азотной кислоты на нѣкоторые металлы:



2. нагрѣваніемъ азотнокислаго свинца:



3. соединеніемъ кислорода и азота воздуха подъ вліяніемъ электрическихъ разрядовъ.

Реактивы. 1. Иодокрахмальная бумага синѣетъ.

2. Въ водномъ растворѣ двуокись азота можетъ быть обнаружена помощью бруцина и метафенилендіамина, служащихъ для обнаруженія азотной и азотистой кислотъ.

Проба помощью бруцина ($C_{23}H_{26}N_2O_4$) производится слѣдующимъ образомъ: растворяютъ нѣсколько кристалликовъ бруцина въ крѣпкой сѣрной кислотѣ и къ 1 *кб. см.* бруцина прибавляютъ двѣ-три капли изслѣдуемаго раствора; въ присутствіи азотной кислоты тотчасъ же появляется красное окрашиваніе, быстро переходящее въ оранжевое.

Проба на азотистую кислоту помощью метафенилендіамина производится слѣдующимъ образомъ. Къ изслѣдуемой водѣ прибавляется 1—2 *жб. см.* разбавленной сѣрной кислоты и около 1 *жб. см.* безцвѣтнаго раствора сѣрноокислаго метафенилендіамина. Появленіе желтаго или желто-коричневаго окрашиванія (образованіе краски-бисмаркбраунъ) указываетъ на присутствіе азотистой кислоты.

3. Для обнаруженія азотной и азотистой кислоты въ растворѣ можетъ служить реактивомъ также дифениламинъ.

Проба производится такъ же, какъ и при употребленіи бруцина, при чемъ появленіе синей окраски устанавливаетъ присутствіе азотной и азотистой кислотъ.

II. Ядовитые газы.

Въ то время, какъ удушливые газы, вызывая смерть организма, поглощаются послѣднимъ лишь въ ничтожномъ количествѣ, ядовитые газы легко задерживаются въ организмѣ и могутъ быть безъ труда обнаружены. Нѣкоторые изъ нихъ, какъ, напримѣръ, окись углерода, не обладаютъ ни запахомъ ни цвѣтомъ. Ціанистыя соединенія имѣютъ пріятный запахъ горькаго миндаля.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ перечислены газы, обладающіе ядовитыми свойствами: при этомъ въ послѣднемъ столбцѣ таблицы указана такъ называемая степень вредности ихъ, т.-е. та концентрація ихъ (въ объемныхъ частяхъ) въ воздухѣ, которая достаточна для того, чтобы вызвать смерть.

	Химическ. формула	Удельный вѣсъ газа	Вѣсъ 1 ли- тра газа	Цвѣтъ	Т. кипѣнія	Т. замер- занія	Степень вредности
Окись углерода	CO	0,94	1,254	безцв.	-190°	-200°	1 на 300
Сѣроводородъ	H_2S	1,18	1,523	„	-61°	-85°	1 на 1000
Теллуристый водо- родъ	H_2Te	4,49	5,82	„	0°	-50°	мало ядовитъ
Мышьяковистый водородъ	AsH_3	2,71	3,49	„	-55°	-110°	1 на 4000
Фосфористый водо- родъ	PH_3	1,18	1,62	„	-85°	-135°	1 на 4000
Сурьмянистый во- дородъ	SbH_3	4,29	5,54	„	-17°	-28°	—
Ціанъ	C_2N_2	1,80	2,33	„	-25°	-35°	1 на 500
Синильная кислота	HCN	0,936	1,21	„	$+26^{\circ}$	-15°	1 на 1000
Сѣроуглеродъ	CS_2	2,68	2,96	„	$+46^{\circ}$	—	1 на 30

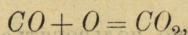
Тѣ изъ перечисленныхъ газовъ, удѣльный вѣсъ которыхъ по отношенію къ воздуху близокъ къ 1 или меньше 1, не могутъ быть примѣняемы въ видѣ газоваго облака; примѣненіе же тяжелыхъ газовъ, приведенныхъ въ таблицѣ, въ видѣ облака затрудняется невозможностью изготовленія ихъ въ большихъ количествахъ.

Примѣненіе же ядовитыхъ газовъ для начинки снарядовъ или для отравленія атмосферы оставленныхъ окоповъ вполнѣ возможно.

А. УГЛЕРОДНЫЯ СОЕДИНЕНІЯ.

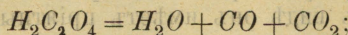
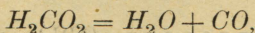
1. Окись углерода.

Свойства. Окись углерода (CO) вслѣдствіе низкой критической температуры можетъ быть сохраняема только въ сильно сжатомъ видѣ. Окись углерода представляетъ собою газъ безъ цвѣта и безъ запаха, сгорающій въ воздухѣ голубымъ пламенемъ съ образованіемъ углекислоты:



которую легко уже обнаружить известковой водой *).

Полученіе. Окись углерода легко образуется при неполномъ сгораніи углерода. Въ лабораторіи окись углерода получаютъ посредствомъ нагрѣванія муравьиной кислоты (H_2CO_2) или щавелевой кислоты ($H_2C_2O_4$) съ концентрированной сѣрной кислотой; послѣдняя служитъ лишь для отнятія воды и потому не включается въ уравненія:



въ послѣднемъ случаѣ окись углерода получается въ смѣси съ углекислымъ газомъ, отъ котораго ее отдѣляютъ пропусканіемъ черезъ концентрированный растворъ ѣдкаго кали, такъ какъ послѣднее поглощаетъ CO_2 , но не поглощаетъ CO .

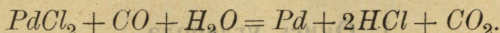
Распознаваніе. Окись углерода обнаруживается въ воздухѣ сравнительно сложнымъ путемъ. Проба воздуха въ бутылкѣ, емкостью не менѣе литра (бутылка наполняется водой, которая выливается въ изслѣдуемой атмосферѣ; окись углерода мало растворима въ водѣ), взбалтывается съ 5—6 жб. см. 10%-наго свѣжеприготовленнаго раствора крови теплокровнаго животнаго.

Путемъ спектральнаго анализа обнаружено, что въ спектрѣ поглощенія всякаго раствора крови, между красной и зеленой частью его, имѣются двѣ черныя полосы, независимо отъ того, содержитъ ли этотъ растворъ окись углерода или нѣтъ.

*) При взбалтываніи углекислаго газа CO_2 съ известковой водой, т.-е. съ растворомъ гидрата окиси кальція $Ca(OH)_2$, получается бѣлый осадокъ углекислаго кальція $CaCO_3$.

Но если прибавить несколько капель сѣрнистаго аммонія, то въ присутствіи окиси углерода полосы остаются нераздѣленными (наблюдать слѣдуетъ черезъ 12 минутъ послѣ прибавленія сѣрнистаго аммонія); въ отсутствіи же окиси углерода полосы сливаются въ одну.

Окись углерода поглощается растворомъ однохлористой мѣди (CuCl) въ соляной кислотѣ. При нагреваніи CO можетъ быть выдѣлена изъ этого раствора. Хромовой кислотой (CrO_3) или хлористымъ палладіемъ (PdCl_2) она окисляется въ уголекислоту. Хлористый палладій разлагается съ выдѣленіемъ чернаго металлическаго палладія:



Для открытія малыхъ количествъ CO въ газовой смѣси, — напримеръ, въ воздухѣ, — изслѣдуемый воздухъ просасываютъ помощью тонкой стеклянной трубки черезъ 10 *кб. см.* раствора, содержащаго 1 *мгр.* PdCl_2 и 2 капли разбавленной HCl ; въ присутствіи CO выдѣляется черныи металлическій палладій, и растворъ постепенно обезцвѣчивается.

Для той же цѣли можно пользоваться также бумажкой, смоченной хлористымъ палладіемъ, но эта проба не обладаетъ достаточной чувствительностью.

Бертелло рекомендуетъ слѣдующую очень чувствительную реакцію на окись углерода: слабо амміачный растворъ малой концентраціи азотнокислаго серебра отъ дѣйствія окиси углерода бурѣетъ.

2. Сѣроуглеродъ.

Свойства. Сѣроуглеродъ (CS_2) есть безцвѣтная тяжелая жидкость: въ чистомъ видѣ онъ имѣетъ пріятный запахъ, но продажный продуктъ, благодаря незначительнымъ постороннимъ примѣсямъ, отличается дурнымъ запахомъ.

Сѣроуглеродъ легко воспламеняется и, сгорая, образуетъ сѣрнистый газъ и уголекислый газъ.

Сѣроуглеродъ мало растворимъ въ водѣ, но хорошо растворимъ въ абсолютномъ спиртѣ; самъ же является хорошимъ растворителемъ для сѣры, фосфора, галондовъ и многихъ органическихъ веществъ.

Полученіе. Сѣроуглеродъ получается пропусканіемъ паровъ сѣры надъ раскаленнымъ углемъ.

Поглотители. Поглощаются пары сѣроуглерода спиртовымъ растворомъ ѣдкаго кали.

Реактивы. Для обнаруженія сѣроуглерода въ воздухѣ рекомендуютъ взболтать пробу воздуха съ абсолютнымъ спиртомъ и къ полученному раствору прибавить спиртовый же растворъ уксуснокислаго свинца [$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 + 3\text{H}_2\text{O}$]; въ присутствіи сѣроуглерода появляется черная окраска, обусловленная образованіемъ сѣрнистаго свинца (PbS).

3. Сѣроокись углерода.

Свойства. Сѣроокись углерода (COS) есть безвѣтный газъ съ запахомъ, напоминающимъ углекислый и сѣроводородный газы.

Полученіе. Онъ получается при дѣйствіи 1 объема сѣрной кислоты, смѣшанной съ 1 объемомъ воды, на роданистый калий.

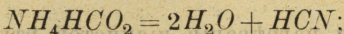
4. Синильная кислота.

Свойства. Синильная кислота (HCN) есть самый сильный ядъ, дѣйствующій мгновенно. Она встрѣчается въ природѣ въ горькихъ миндаляхъ и плодахъ нѣкоторыхъ другихъ растений; въ горькихъ миндаляхъ содержится амигдалинъ ($\text{C}_{20}\text{H}_{27}\text{NO}_{11}$), выделяющій при дѣйствіи слабой соляной кислоты синильную кислоту. Изъ 100 гр. горькаго миндаля можетъ быть получено до 0,15 гр. синильной кислоты.

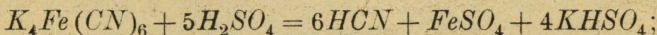
Синильная кислота представляетъ по своему составу синеродистый водородъ, при 26° легко сжижающійся въ жидкость (удѣльнаго вѣса 0,697), пріятно пахнущую горькимъ миндалемъ. Уже 0,05 гр. этого вещества является смертельной дозой для человѣка. Синеродистый водородъ сгораетъ бѣлымъ пламенемъ съ розоватой каймой. Онъ хорошо растворимъ въ водѣ, но растворы его непрочны и легко подвергаются разложенію. На лакмусъ растворъ синеродистаго водорода даетъ нейтральную реакцію. Какъ слабая кислота, синеродистый водородъ съ калиемъ и натріемъ даетъ соли, обладающія въ водномъ растворѣ щелочной реакціей. Соли серебра, цинка и свинца нерастворимы въ водѣ.

Полученіе. Въ чистомъ видѣ синильную кислоту легче всего получить:

а) разложеніемъ (путемъ нагреванія) муравьинокислаго аммонія:



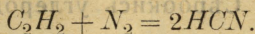
б) перегонкою желтой кровяной соли $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ съ разбавленной *) сѣрной кислотой:



при этомъ въ приемникъ получается водный растворъ синильной кислоты. Для полученія безводной синильной кислоты растворъ ее перегоняютъ и полученную смѣсь паровъ воды и HCN пропускаютъ черезъ нагрѣтыя трубки съ CaCl_2 ; тогда въ охлажденномъ приемникѣ собирается безводная синильная кислота;

*) 4 ч. соли + 8 ч. воды + 3 ч. сѣрной кислоты. При употребленіи крѣпкой сѣрной кислоты получается не синильная кислота, а продуктъ ея разложенія — окись углерода.

с) при пропускании электрических искръ черезъ смѣсь ацетилена съ азотомъ:



Реактивы. Для обнаруженія паровъ синильной кислоты могутъ быть примѣнены слѣдующія реакціи:

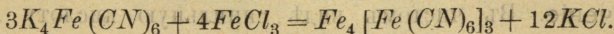
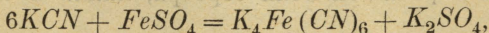
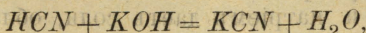
а) Фильтровальную бумагу пропитываютъ 1%-нымъ растворомъ мѣднаго купороса и высушиваютъ; передъ опытомъ смачиваютъ 1%-нымъ спиртовымъ растворомъ гваяковой настойки. Въ присутствіи ціана или синильной кислоты моментально происходитъ яркое синее окрашиваніе.

б) Если изслѣдуемый воздухъ взболтать съ водою, то въ присутствіи синильной кислоты азотнокислое серебро ($AgNO_3$) даетъ бѣлый творожистый осадокъ ціанистаго серебра ($AgCN$).

с) Къ тому же водному раствору приливаютъ смѣсь растворовъ желѣзнаго купороса ($FeSO_4$) и хлорнаго желѣза ($FeCl_3$), затѣмъ нѣсколько капель ѣдкаго кали (KOH) и смѣсь умѣренно нагреваютъ; послѣ этого подкисляютъ жидкость соляной кислотой для растворенія окисловъ желѣза.

При достаточномъ количествѣ HCN сейчасъ же образуется синій осадокъ берлинской лазури $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$. Въ присутствіи же лишь слѣдовъ HCN получается лишь зеленое окрашиваніе, но спустя нѣкоторое время изъ него выдѣляются синіе хлопья берлинской лазури.

Реакція протекаетъ по слѣдующимъ уравненіямъ:

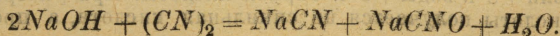


5. Ціанъ.

Полученіе. При нагреваніи ціанистой ртути HgC_2N_2 или смѣси желѣзистосинеродистаго калия (желтой кровяной соли) $K_4Fe(CN)_6$ и сулемы $HgCl_2$ образуется газъ — ціанъ $(CN)_2$, при чемъ одновременно образуется равное по вѣсу количество параціана — твердаго полимера ціана.

Свойства. Газообразный ціанъ безцвѣтенъ и имѣетъ запахъ, похожій на запахъ синильной кислоты, но въ 5 разъ менѣе ядовитъ, чѣмъ послѣдняя. Онъ производитъ раздражающее дѣйствіе на глаза и слизистую оболочку. Ціанъ горитъ красивымъ красно-фіолетовымъ пламенемъ.

Поглотители. Ціанъ поглощается щелочами съ образованіемъ ціанистыхъ и ціановыхъ солей:

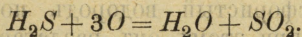


Для поглощенія ціана и синильной кислоты употребляются растворы солей азотнокислаго кобальта или сѣрнокислаго никкеля, амміачные растворы сѣрнокислой мѣди и щелочный раствор сѣрнокислаго желѣза.

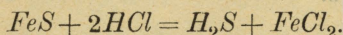
В. ВОДОРОДНЫЯ СОЕДИНЕНІЯ.

1. Сѣрнистый водородъ.

Свойства. Сѣрнистый водородъ (H_2S) есть безцвѣтный газъ запаха тухлыхъ яицъ, хорошо растворимый въ водѣ. Онъ образуется при гнѣніи бѣлковыхъ веществъ. Ядовитость его значительна. Сѣрководородъ горитъ на воздухѣ синеватымъ пламенемъ, образуя воду и сѣрнистый газъ:

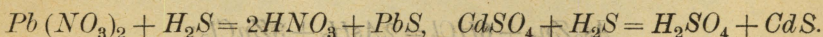


Полученіе. Для полученія сѣрководорода въ лабораторіи дѣйствуютъ соляной кислотой на сѣрнистое желѣзо:



Поглотители. Сѣрководородъ поглощается растворами солей тяжелыхъ металловъ.

Распознаваніе. Присутствіе его въ воздухѣ легко опредѣляется по характерному запаху или бумажками, пропитанными солями свинца или солями кадмія; первая изъ этихъ бумажекъ въ атмосферѣ сѣрнистаго водорода чернѣетъ вслѣдствіе выдѣленія чернаго осадка сѣрнистаго свинца (PbS), а вторая желтѣетъ вслѣдствіе выдѣленія желтаго осадка сѣрнистаго кадмія (CdS):



2. Теллуристый водородъ.

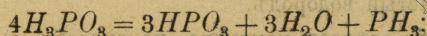
Теллуристый водородъ (H_2Te) есть аналогъ сѣрнистаго водорода; это — безцвѣтный ядовитый газъ съ отвратительнымъ запахомъ.

3. Фосфористый водородъ.

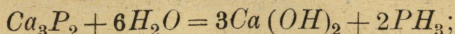
Свойства. Фосфористый водородъ (PH_3) есть чрезвычайно ядовитый безцвѣтный газъ запаха гнилой рыбы.

Полученіе. Фтористый водородъ получается:

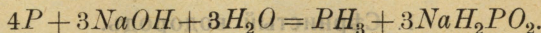
а) при нагреваніи фосфористой кислоты:



б) при дѣйствіи воды на фосфористые металлы (напримѣръ, на фосфористый кальцій):



с) при нагреваніи желтаго фосфора съ крѣпкимъ растворомъ ѣдкой щелочи:



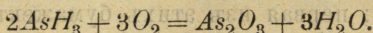
Въ соприкосновеніи съ воздухомъ газъ PH_3 воспламеняется самъ собою: это свойство газообразнаго фосфористаго водорода обусловливается присутствіемъ въ немъ небольшихъ количествъ жидкаго фосфористаго водорода, имѣющаго составъ P_2H_4 и обладающаго самовоспламеняемостью.

Поглотители. Фосфористый водородъ поглощается растворомъ азотнокислаго серебра: при этомъ онъ разлагается, выдѣляя фосфоръ, $\frac{2}{3}$ котораго выпадаетъ въ видѣ фосфористаго серебра (Ag_3P).

Іодъ, окисляющія вещества, мѣдный купоросъ также поглощаютъ фосфористый водородъ.

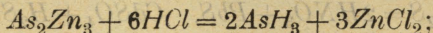
4. Мышьяковистый водородъ.

Свойства. Мышьяковистый водородъ (AsH_3) есть безцвѣтный газъ, чесночнаго запаха, необычайно ядовитый; на воздухѣ горитъ синеватымъ пламенемъ, образуя воду и мышьяковистый ангидридъ:

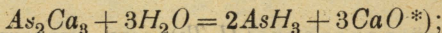


Полученіе. Мышьяковистый водородъ получается:

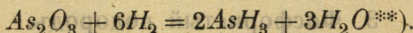
а) при дѣйствіи соляной кислоты на сплавъ мышьяка съ цинкомъ:



б) при дѣйствіи воды на мышьяковистый кальцій:



с) при дѣйствіи водорода въ моментъ выдѣленія на мышьяковистый ангидридъ:

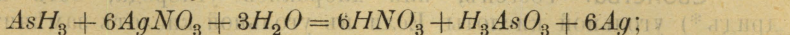


Поглотители. Тѣ вещества, которыя служатъ для поглощенія фосфористаго водорода, поглощаютъ и мышьяковистый водородъ.

*) При оставленіи окоповъ непріатели нерѣдко разбрасывали фосфористые и мышьяковистые металлы, развивавшіе при дѣйствіи влаги фосфористый и мышьяковистый водородъ.

**) Для открытія слѣдовъ мышьяка по способу с) пользуются приборомъ Марша, описаніе котораго можно найти въ любомъ учебникѣ химіи.

Реактивы. Для обнаруженія присутствія мышьяковистаго водорода въ воздухѣ послѣдній взбалтывается со слабымъ растворомъ азотнокислаго серебра, при чемъ выдѣляется чернѣйшій осадокъ серебра и образуется мышьяковистая кислота (H_3AsO_3):



присутствіе мышьяковистой кислоты обнаруживается реактивомъ Буго*).

5. Сурьмянистый водородъ.

Свойства. Сурьмянистый водородъ (SbH_3) имѣетъ запахъ, напоминающій запахъ сѣроводорода. 1 объемъ воды растворяетъ 5 объемовъ этого газа. Воздухъ содержащій $\frac{1}{100}$ % его, вызываетъ параличъ нижнихъ конечностей.

Полученіе. Сурьмянистый водородъ образуется при дѣйствіи соляной кислоты: а) на сплавъ сурьмы съ цинкомъ (Sb_2Zn_3) или б) на сурьмянистокалиевую соль (K_2HSbO_3); кромѣ того, этотъ газъ можетъ быть полученъ въ приборѣ Марша с) дѣйствіемъ водорода въ моментъ выдѣленія на мышьяковистый ангидридъ.

III. Смѣшанные газы.

Газы, относящіеся къ этой группѣ, дѣйствуютъ, какъ раздражающіе газы и какъ химическіе яды.

Сюда относятся: хлорокись углерода, или фосгенъ, хлористый ціанъ, селенистый водородъ, хлористый нитрозиль и соединенія фтора съ фосфоромъ.

		Плотность газа по отношенію къ воздуху	Вѣсъ 1 литра га- за въ гр.	Цвѣтъ	Т. кипѣ- нія	Т. замер- занія	Степень вредности
Фосгенъ	$COCl_2$	3,30	4,43	бѣзцв.	+ 8°	—	1: 200 000
Хлористый ціанъ га- зообразный . . .	$CNCl$	2,13	2,75	„	— 12°	—	1: 300
Хлорист. ціанъ жидкій	—	—	—	„	+ 15,5°	— 6°	—
Селенистый водородъ	H_2Se	2,70	3,63	„	— 42°	—	очень ядов.

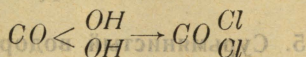
1 литръ хлороокиси углерода въ жидкомъ видѣ вѣситъ 1432 гр.

„ „ селенистаго водорода „ „ „ „ 2120 „

*) Для изготовленія реактива Буго въ колбѣ, емкостью въ 200 куб. см., растворяютъ при слабомъ нагреваніи 10 гр. фосфорноватистокислаго натрія въ 10 куб. см. воды, доводятъ до 200 куб. см. чистой соляной кислотой, даютъ отстояться и декантируютъ. Для испытанія на мышьякъ 1 куб. см. изслѣдуемой жидкости вводятъ въ пробирку и приливаютъ 10 куб. см. реактива. Пробирку нагреваютъ въ паряхъ кипящей воды. Появленіе бурно-черной мути свидѣтельствуетъ о присутствіи мышьяка.

1. Фосгенъ

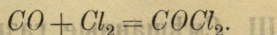
Свойства. Фосгенъ, или хлорокись углерода, есть хлорангидридъ *) угольной кислоты. Если въ угольной кислотѣ замѣнить гидроксиль хлоромъ, то получается фосгенъ:



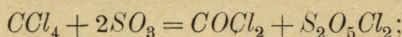
Какъ хорошій матеріалъ для цѣлаго ряда органическихъ синтезовъ, фосгенъ нашелъ себѣ большое промышленное примѣненіе и изготовлялся въ Германіи въ большихъ количествахъ.

Самое ничтожное количество этого газа въ воздухѣ вызываетъ удушье, кашель и слезотеченіе, что очень затрудняетъ обращеніе съ нимъ.

Полученіе. а) Фосгенъ образуется отъ соединенія равныхъ объемовъ окиси углерода и хлора при каталитическомъ дѣйствіи свѣта (откуда и произошло названіе „фосгенъ“), а также нѣкоторыхъ веществъ (камфоры, пористыхъ тѣлъ):

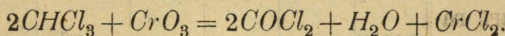


Фосгенъ можно также получить: б) приливая по каплямъ пироксѣрную кислоту $[S_2O_5(OH)_2]$ къ кипящему четыреххлористому углероду; при этомъ кислота отъ нагреванія разлагается, выделяя пары сѣрнаго ангидрида SO_3 , который соединяется съ CCl_4 :

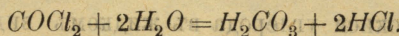


выделяющійся газъ пропускаютъ черезъ сѣрную кислоту, удерживающую хлорангидридъ пироксѣрной кислоты ($S_2O_5Cl_2$), и затѣмъ сжижаютъ охлажденіемъ; въ приемникѣ соберется фосгенъ въ видѣ безцвѣтной жидкости, кипящей уже при 8° ;

с) дѣйствіемъ хромоваго ангидрида на хлороформъ:



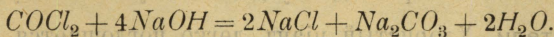
Поглотители. Фосгенъ растворяется въ равномъ объемѣ воды, образуя угольную и соляную кислоты:



*) При замѣщеніи воднаго остатка OH (одноатомнаго радикала, содержащагося въ кислородныхъ кислотахъ) галоидомъ получаются галоидангидриды кислотъ — особый классъ соединений, отличающихся тѣмъ, что они легко разлагаются водой уже при комнатной температурѣ на галогеноводородную кислоту и на кислоту участвующаго металлоида. Хлорангидриды суть ѣдкія, летучія и разлагающіяся уже влажностью воздуха и потому дымящіяся жидкости. Общій способъ полученія ихъ состоитъ въ дѣйствіи пятихлористаго фосфора (PCl_5) на кислоту.

Фосгенъ хорошо растворяется въ бензолъ и спирту.

Со щелочами фосгенъ образуетъ хлористыя и углекислыя соли:



Если взятыя щелочи свободны отъ угольной кислоты, то по количеству поглощенного хлора и угольной кислоты можетъ быть установлена наличность фосгена. Опредѣленіе же незначительныхъ количествъ фосгена весьма кропотливо.

Для поглощенія фосгена служатъ также слѣдующія сложныя вещества:

- а) смѣсь ѣдкаго натра, гашеной извести и древеснаго угля;
- б) 25%-ный растворъ уротропина (гексаметиленъ-тетрамина: $(\text{CH}_2)_6 \cdot \text{N}_4$);
- в) кристаллическій фенил-гидразинъ $(\text{C}_6\text{H}_5 \cdot \text{NH} \cdot \text{NH}_2)$ въ трубкахъ;
- д) смѣсь глицерина съ сульф-анилово-натріевою солью, имѣющей составъ: $\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2) \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{Na}$.

2. Хлористый нитрозиль.

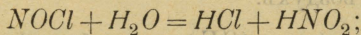
Свойства. Хлористый нитрозиль (NOCl) есть хлорангидридъ азотистой кислоты ($\text{HNO}_2 = \text{NO} \cdot \text{OH}$). Онъ представляетъ собою весьма ядовитый газъ, сгущающійся при -5° въ красную жидкость и затвердѣвающий при -60° . Плотность газа при $10^\circ = 2,29$.

Полученіе. Хлористый нитрозиль получается:

- а) при перегонкѣ царской водки ($\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$);
 - б) непосредственнымъ соединеніемъ окиси азота (NO) съ хлоромъ.
- Германцами для газовыхъ атакъ часто примѣняется в) смѣсь двуокиси азота и хлора, при чемъ возможно частичное образованіе хлористаго нитрозила.

Поглотителями служатъ щелочи.

Реактивъ. Съ водою хлористый нитрозиль даетъ соляную и азотистую кислоты:



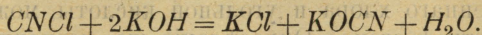
поэтому для обнаруженія хлористаго нитрозила пользуются реактивами на хлоръ (азотнокислое серебро) и на азотистую кислоту (см. выше).

3. Хлористый ціанъ.

Свойства. Хлористый ціанъ (CNCl) есть газъ, удрушлагаго запаха, дѣйствующій на слизистую оболочку глазъ. Онъ имѣетъ одинъ полимеръ жидкій, кипящій при 18° , и одинъ твердый, кипящій при 190° . Вещества эти негорючи и устойчивы при нагреваніи.

Полученіе. Хлористый ціанъ получается при дѣйствіи хлора на ціанистую ртуть или на разведенную синильную кислоту.

Поглотители. Хлористый ціанъ легко поглощается щелочами съ образованіемъ хлористыхъ и ціановыхъ солей:



Реактивъ. Ціановыя соли даютъ съ азотнокислой мѣдью бурозеленый осадокъ.

4. Селенистый водородъ.

Свойства. Селенистый водородъ (H_2Se) есть безцвѣтный ядовитый газъ съ весьма непріятнымъ запахомъ, напоминающимъ запахъ сѣроводорода. При горѣніи его образуется вода и выделяются пары селена, распространяющіе запахъ гнилой капусты.

Поглотители и реактивы — тѣ же, что и для сѣроводорода.

5. Фтористыя соединенія фосфора.

а) Трехфтористый фосфоръ (PF_3) есть сильно пахучій газъ, сжижающійся при -10° и давленіи въ 40 атмосферъ въ безцвѣтную жидкость. Получается при накаливаніи фтористаго цинка (ZnF_2) съ трехбромистымъ фосфоромъ (PBr_3). Поглощается водою и щелочами.

б) Пятифтористый фосфоръ (PF_5) есть безцвѣтный газъ; на воздухѣ онъ дымить, разлагаясь водою на фосфорную кислоту (H_3PO_4) и фтористый водородъ (HF). Получается при нагрѣваніи пятихлористаго фосфора (PCl_5) съ трехфтористымъ мышьякомъ (AsF_3).

в) Фторокись фосфора (POF_3), д) фтористый тиофосфориль (PSF_3) и е) фторохлористый фосфоръ (PF_3Cl_2) представляютъ собою газы. POF_3 есть фторангидридъ фосфорной кислоты $PO(OH)_3$. Ему соответствуетъ сѣрнистое соединеніе PSF_3 , содержащее вмѣсто кислорода сѣру; это — безцвѣтный тяжелый газъ, воспламеняющійся на воздухѣ.

ф) Фтористая сѣра (SF_6) есть безцвѣтный газъ; свойства его мало изучены.

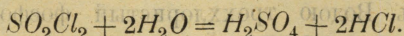
Неорганическія удушливыя жидкости и утяжелители.

Мы укажемъ теперь рядъ жидкихъ неорганическихъ веществъ, развивающихъ удушливыя или ядовитыя пары; одни изъ нихъ, какъ, напримѣръ, хлористый сульфуриль, четыреххлористый титанъ, хлорное олово, будучи примѣшаны къ сжиженному хлору или фосгену,

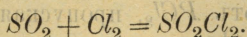
способствуютъ образованію устойчиваго газоваго облака, вѣдѣствѣе-
чего они названы „утяжелителями“; другія же примѣняются для
начинки снарядовъ, которые, разрываясь, орошаютъ ими нѣкоторую
область.

1. Хлористый сульфуриль.

Свойства. Хлористый сульфуриль (SO_2Cl_2 , хлорангидридъ сѣр-
ной кислоты) есть безцвѣтная жидкость (удѣльнаго вѣса 1,70), кипя-
щая при 76° ; на воздухѣ онъ слабо дымить, распространяя удушли-
вый запахъ. Водой хлористый сульфуриль разлагается на сѣрную и
соляную кислоты:

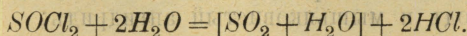


Полученіе. Хлористый сульфуриль образуется при прямомъ сое-
диненіи сѣрнистаго газа съ хлоромъ на солнечномъ свѣтѣ:



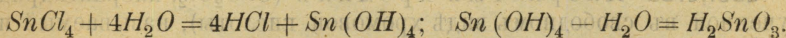
2. Хлористый тїониль.

Свойства. Хлористый тїониль ($SOCl_2$, хлорангидридъ сѣрнистой
кислоты) есть безцвѣтная жидкость (удѣльнаго вѣса 1,675), кипящая
при 78° и обладающая острымъ запахомъ. Водой онъ разлагается на
сѣрнистую и соляную кислоты:



3. Хлорное олово.

Свойства. Хлорное олово ($SnCl_4$) есть безцвѣтная густая жид-
кость (удѣльнаго вѣса при 0° 2,27), сильно дымящая на воздухѣ и ки-
пящая при 114° . Избыткомъ воды хлорное олово разлагается на хло-
ристый водородъ и на гидратъ окиси олова, который легко выдѣляетъ
одну молекулу H_2O и переходитъ въ оловянную кислоту:



Полученіе. Для полученія безводнаго хлорнаго олова сухой
хлоръ пропускаютъ по трубкѣ, доходящей почти до дна колбы, въ
которой осторожно нагреваютъ олово до плавленія.

4. Четыреххлористый титанъ.

Свойства. Четыреххлористый титанъ ($TiCl_4$) есть безцвѣтная,
дымящая на воздухѣ, жидкость (удѣльнаго вѣса 1,76), кипящая при
 136° и растворимая въ водѣ.

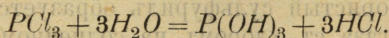
Полученіе. Получается накаливаніемъ смѣси окиси титана (TiO_2)
и угля въ струѣ хлора.

5. Бромокись углерода.

Бромокись углерода ($COBr_2$) есть жидкость, кипящая при 63° ; свойства ее аналогичны свойствам фосгена.

6. Треххлористый фосфор.

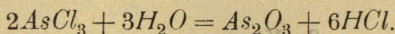
Свойства. Треххлористый фосфор (PCl_3 , хлорангидрид фосфористой кислоты) есть безцветная жидкость (удельного веса при 0° 1,616), кипящая при 76° ; на воздухъ она сильно дымитъ, распространяя острый запахъ. Водю треххлористый фосфоръ разлагается на фосфористую кислоту и хлористый водородъ:



Получение. Получаютъ PCl_3 , пропуская сухой хлоръ черезъ нагрѣваемый въ ретортѣ фосфоръ.

7. Треххлористый мышьякъ.

Свойства. Треххлористый мышьякъ ($AsCl_3$, хлорангидридъ неизвѣстной въ свободномъ состояніи мышьяковистой кислоты) есть безцветная, маслянистая, дымящая на воздухъ, жидкость (удельного веса 2,20), кипящая при 134° . Избыткомъ воды разлагается на хлористый водородъ и мышьяковистый ангидридъ:



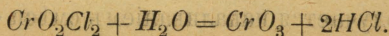
Получение. Получается при дѣйствіи хлора на мышьякъ или при перегонкѣ смѣси поваренной соли, мышьяковистаго ангидрида и сѣрной кислоты.

8. Хлористый хромиль.

Свойства. Хлористый хромиль (CrO_2Cl_2 , хлорангидридъ не полученной въ свободномъ видѣ хромовой кислоты), называемый иначе хлорокисью хрома, есть бурая жидкость (удельного веса 1,9), кипящая при 118° и сильно дымящая на воздухъ; пары этой жидкости также бурога цвѣта.

На всѣ вещества, способныя соединиться съ кислородомъ или съ хлоромъ, хлористый хромиль дѣйствуетъ весьма энергично: сѣра, спиртъ, скипидаръ отъ соприкосновенія съ нимъ воспламеняются, что иногда сопровождается сильнымъ взрывомъ. Бумага и деревянные пробки быстро разрушаются имъ.

Водю хлористый хромиль разлагается на хромовый ангидридъ и соляную кислоту:



Полученіе. Получается при дѣйствіи 30 ч. дымящей сѣрной кислоты на сплавъ 12 ч. двухромокислаго калия ($K_2Cr_2O_7$) съ 10 ч. хлористаго натрія.

9. Фтористый мышьякъ.

Свойства. Фтористый мышьякъ (AsF_3) есть безцвѣтная жидкость (удѣльнаго вѣса 2,73), кипящая при 63° и дымящая на воздухѣ.

Полученіе. Получается при перегонкѣ сухой смѣси мышьяковистаго ангидрида съ фтористымъ кальціемъ и сѣрною кислотой.

Органическія соединенія.

Органическая химія располагаетъ большимъ числомъ удушливыхъ и ядовитыхъ соединеній, которыя могутъ быть примѣнены для начинки снарядовъ.

I. Удушающія соединенія.

1. Хлорометилловый эфиръ хлоромуравьиной кислоты ($ClCO_2CH_2Cl$) есть жидкость желтаго цвѣта и весьма непріятнаго запаха, кипящая при 77°. Присутствіе въ воздухѣ $\frac{1}{200000}$ ч. этой жидкости вызываетъ слезотеченіе и кашель. Получается дѣйствіемъ фосгена на хлористый метиль.

2. Хлорэтиловый эфиръ хлоромуравьиной кислоты ($ClCO_2C_2H_4Cl$) сходенъ по своимъ свойствамъ съ предыдущимъ соединеніемъ; точка кипѣнія его = 118°, а удѣльный вѣсъ = 1,32. Получается дѣйствіемъ фосгена на хлористый этиль.

3. Тиофосгенъ ($CSCl_2$) есть жидкость краснаго цвѣта, кипящая при 73,5°; удѣльный вѣсъ ея = 1,5. Присутствіе въ воздухѣ 0,0001 ч. тиофосгена вызываетъ раздраженіе дыхательныхъ путей. Получается дѣйствіемъ хлора на сѣроуглеродъ.

4. Жидкость Ляри есть смѣсь сѣроуглерода, четыреххлористаго углерода, меркаптана и тиофосгена и вызываетъ рвоту.

5. Перхлорметилмеркаптанъ (CCl_3SCl) есть жидкость желтоватаго цвѣта, кипящая при 146,5°; она обладаетъ непріятнымъ запахомъ и сильно раздражаетъ дыхательные пути: удѣльный вѣсъ ея = 1,717.

II. Соединенія, раздражающія слизистыя оболочки.

1. Хлорпикринъ (нитрохлороформъ) (CCl_3NO_2) есть безцвѣтная жидкость (удѣльнаго вѣса 1,69), кипящая при 12°; это — весьма прочное соединеніе, нерастворимое въ водѣ. Присутствіе въ воздухѣ

0,000001 части этой жидкости вызывает сильное слезотечение. Получается при перегонкѣ пикриновой кислоты съ бѣлѣйной известью.

2. Хлористый бензоиль (C_6H_5COCl , хлорангидридъ бензойной кислоты) есть жидкость (удѣльнаго вѣса 1,23), кипящая при 198° ; обладаетъ весьма ѣдкимъ запахомъ.

3. Хлористый бензилъ ($C_6H_5CH_2Cl$) есть жидкость (удѣльнаго вѣса 1,09), кипящая при 179° ; обладаетъ весьма ѣдкимъ запахомъ. Получается пропусканиемъ на свѣту хлора въ кипящій толуолъ.

4. Бромистый бензилъ ($C_6H_5CH_2Br$) есть безцвѣтная жидкость (удѣльнаго вѣса 1,438), кипящая при 198° . Получается изъ брома и толуола.

5. Дибромонитроэтанъ ($C_2H_3Br_2NO_2$) есть жидкость весьма ѣдкаго запаха, кипящая при $162^\circ - 164^\circ$.

6. Бромистый ксилить есть жидкость, кипящая при 212° и представляющая собою смѣсь нѣсколькихъ изомеровъ. Получается дѣйствиемъ брома на ксилолъ.

7. Акролеинъ (C_2H_3COH) есть жидкость крайне удушливаго запаха, раздражающаго слизистыя оболочки; кипитъ при $52,4^\circ$. Какъ альдегидъ, легко окисляется. Получается изъ глицерина.

8. Горчичное масло (C_3H_5CNS) есть жидкость (удѣльнаго вѣса 1,01), кипящая при $150,7^\circ$; обладаетъ пронзительнымъ запахомъ. Получается перегонкою сѣмянъ черной горчицы съ водою или дѣйствиемъ роданистаго кали на іодистый аллилъ.

9. Диметилсульфатъ $[(CH_3)_2SO_4]$ есть жидкость (удѣльнаго вѣса 1,33), кипящая при 188° ; она весьма сильно раздражаетъ глаза и разрушаетъ ткани. Получается дѣйствиемъ сѣрной кислоты на метиловый спиртъ.

10. Метилхлоросульфатъ (CH_3OSO_2Cl) есть безцвѣтная жидкость (удѣльнаго вѣса 1,51), кипящая при 132° ; она обладаетъ ѣдкимъ запахомъ и весьма сильно раздражаетъ глаза и дыхательные пути.

11. Монобромацетонъ ($CH_3Br.COCH_3$) есть жидкость (удѣльнаго вѣса 1,99), кипящая при 137° . Она обладаетъ ѣдкимъ запахомъ и раздражаетъ глаза и дыхательные пути. Получается изъ ацетона и брома.

Къ числу органическихъ соединений, дѣйствующихъ удушающимъ или отравляющимъ образомъ на организмъ, принадлежатъ меркаптаны, тиоэфиры, изонитрилы, какадиловыя, металло-органическія и многія другія соединения. Но всѣ эти вещества могутъ быть примѣнены лишь для начинки снарядовъ, что значительно ограничиваетъ кругъ ихъ дѣйствія и облегчаетъ защиту. Активированный уголь защищаетъ органы дыханія отъ вреднаго дѣйствія всѣхъ этихъ веществъ; для защиты же глазъ употребляются шлемы или спеціальныя очки.

Атмосфера Марса.

Само собою понятно, что при рѣшеніи вопроса о томъ, насколько возможна растительная и животная жизнь на какой-либо планетѣ, весьма важную роль играютъ наши свѣдѣнія объ ея атмосферѣ. Изученіе атмосферы Марса, возможное благодаря примѣненію телескопа и спектроскопа, сдѣлало значительные успѣхи въ теченіе послѣднихъ двадцати лѣтъ.

Съ точки зрѣнія необходимости для жизни, главными составными частями атмосферы являются водяной паръ и кислородъ; нельзя въ этомъ отношеніи совершенно игнорировать азотъ и рѣдкіе элементы, открытые Рамзаемъ (Ramsay).

Только недавно спектроскопъ съ несомнѣнностью указалъ на присутствіе кислорода и водяного пара въ атмосферѣ Марса, но и раньше уже имѣлись нѣкоторыя телескопическія данныя, говорившія въ пользу того же. Сэръ Вилліамъ Гёггинсъ (William Huggins) и Фогель (Vogel) считали, что они обнаружили существованіе на Марсѣ водяного пара, но болѣе тонкіе аппараты, примѣненные при болѣе благоприятныхъ условіяхъ, показали, что методы, которыми пользовались эти ученые, не были въ состояніи окончательно рѣшить вопроса. П. Лоуэлль (P. Lowell) сообщаетъ въ журналѣ „Scientia“ объ изслѣдованіяхъ, имѣющихъ рѣшающее значеніе по этому вопросу.

Зимой 1908 года В.-М. Слиферъ (V.-M. Slipher) въ обсерваторіи Лоуэлля въ первый разъ получилъ спектрограммы, указывающія на то, что въ спектрѣ Марса линія *a* отличается большей интенсивностью, чѣмъ въ спектрѣ луны. Разница въ интенсивности временами настолько ясна, что даже совершенно неопытный глазъ замѣчаетъ ее уже при первомъ взглядѣ на спектрограмму. Линія *a* представляетъ собою главную линію, отвѣчающую водяному пару въ нашей земной атмосферѣ. Очень легко, даже при помощи ручного спектроскопа, прослѣдить измѣненія этой линіи въ теченіе дня; а именно, она очень слаба въ полдень въ зенитѣ и, наоборотъ, очень ясно выражена у горизонта при заходѣ солнца, что зависитъ отъ большей толщины слоя водяныхъ паровъ, чрезъ который проходитъ свѣтъ.

Луна имѣетъ мало воздуха или совсѣмъ его не имѣетъ, а потому спектръ отражаемаго ею свѣта содержитъ лишь линіи поглощенія, обусловленныя слоемъ газа, окружающимъ солнце, и нашей собственной атмосферой. Въ случаѣ Марса свѣтъ солнца долженъ два раза проходить чрезъ его атмосферу, если таковая существуетъ, прежде чѣмъ дойти до наружной границы нашей атмосферы; такимъ образомъ, къ вліянію, производимому на спектръ атмосферами земли и солнца, присоединяется еще вліяніе атмосферы Марса. Въ виду этого, всякое различіе между спектрами луны и Марса должно быть приписано Марсу.

При подобныхъ изслѣдованіяхъ важно работать при минимальномъ содержаніи водяныхъ паровъ въ нашей собственной атмосферѣ.

Дѣйствительно, если мы обозначимъ соответственно буквами A и B количество водяныхъ паровъ на Марсѣ и на землѣ, то вопросъ сведется къ сравненію между $A+B$ и B . Если B очень велико, а A очень мало, то намъ приходится сравнивать между собою вещи, почти совпадающія, и разницу между ними установить очень трудно. Поэтому слѣдуетъ изслѣдованія вести при такихъ условіяхъ, гдѣ B имѣетъ наименьшее значеніе, т.-е. въ безводной пустынной мѣстности и зимою.

Эти два условія были выполнены при наблюденіяхъ Слифера. Значеніе влажности земной атмосферы становится особенно явнымъ при изслѣдованіи спектрограммъ; въ тѣхъ изъ нихъ, которыя были получены при умѣренной сухости воздуха, разница между линіями a въ спектрахъ Марса и луны выражена слабо; но при очень сухой погодѣ разница эта становится вполне очевидной.

Спектрограммы Слифера въ дальнѣйшемъ подверглись изслѣдованію проф. Вери (Very) въ астрофизической обсерваторіи Вествуда (Westwood), а именно, при помощи спеціальнаго прибора, построеннаго имъ для этой цѣли, онъ измѣрялъ относительную интенсивность линій. Вери нашелъ, что интенсивность линіи a спектра Марса была въ 4,47 раза больше интенсивности соответствующей линіи спектра луны, въ то время какъ линія C солнца, приписываемая водороду и не подвергающаяся воздѣйствію теллурической атмосферы, была въ томъ же случаѣ интенсивнѣе въ 0,955 разъ (понятно, что, если исключить всякія случайности опыта, то линія C должна быть въ обоихъ спектрахъ одинаковой). „Это означаетъ, что въ моментъ полученія спектра въ воздухѣ Марса было въ 1,75 разъ больше воды въ видѣ пара, чѣмъ въ земной атмосферѣ надъ Флагстаффомъ (Flagstaff). Но слѣдуетъ помнить, что воздухъ Флагстаффа почти обладаетъ свойствами воздуха пустыни, и что атмосфера въ тотъ моментъ отличалась исключительной сухостью. Это означаетъ, что количество водяныхъ паровъ въ воздухѣ Марса составляетъ $1/3$ или $1/4$ средняго количества ихъ на землѣ“.

Благодаря усовершенствованіямъ въ технику изслѣдованія, Вери имѣлъ возможность измѣрить не только линію a , но также теллурическую линію B , отвѣчающую кислороду, и этимъ путемъ доказател. присутствіе этого газа въ атмосферѣ Марса. Онъ имѣлъ также возможность изучать спектры, соответствующіе различнымъ областямъ Марса, и такимъ образомъ получить нѣкоторые данныя о распредѣленіи водяныхъ паровъ въ атмосферѣ этой планеты.

„Въ общемъ, на основаніи всѣхъ этихъ изслѣдованій“, говоритъ Вери, „мы видимъ, что линія c имѣетъ одинаковую интенсивность въ спектрахъ обоихъ небесныхъ тѣлъ, что въ спектрѣ Марса линія B на 24% сильнѣе, и что большая интенсивность линіи водяного пара въ этомъ спектрѣ колеблется между 88% и 13% смотря по тому, на какую область мы наводимъ щель спектроскопа. Такой результатъ служитъ подтвержденіемъ предположенія, что тайныя снѣговъ арктическихъ областей Марса есть единственный источникъ водяныхъ паровъ атмосферы этой планеты, и что экваторіальныя области ея отличаются необычайной сухостью, чѣмъ подтверждается гипотеза ороси-

тельныхъ каналовъ, принадлежащая Лоуэллю. Однако, кажется нѣсколько страннымъ, что въ теплой атмосферѣ тропиковъ не замѣчается болѣе примѣси влаги“.

Итакъ, спектроскопъ, подтверждая данныя, добытыя при помощи телескопа, указываетъ намъ на присутствіе воды и кислорода въ атмосферѣ Марса, но въ то же время точно устанавливаетъ, что эти двѣ составныя части атмосферы существуютъ въ ней въ сравнительно небольшихъ количествахъ; такимъ образомъ, мы вмѣстѣ съ Лоуэллемъ можемъ сказать, что „Марсъ представляетъ собою пустыню, и притомъ почти совершенно покинутую“.

ПИСЬМО ВЪ РЕДАКЦІЮ.

Таблицы чиселъ проф. В. П. Ермакова, составленныя
Г. Е. Минаевымъ.

„Таблицы чиселъ проф. Василія Петровича Ермакова“, составленныя Г. Е. Минаевымъ, вышли въ свѣтъ въ трехъ экземплярахъ. Ихъ авторъ предпослалъ имъ слѣдующее предисловіе.

Числа проф. В. П. Ермакова суть цѣлыя положительныя числа, удовлетворяющія неопредѣленному уравненію

$$x^2 + y^2 + z^2 + \dots + v^2 + w^2 = xyz \dots vw,$$

гдѣ число переменныхъ какое угодно. Извѣстно, что для рѣшенія этого уравненія нужно найти систему такъ называемыхъ наименьшихъ рѣшеній, послѣ чего найдется сколько угодно системъ чиселъ, удовлетворяющихъ уравненію. Эта теорема двумя способами доказана П. С. Флоровымъ въ его статьяхъ, напечатанныхъ въ „Вѣстникѣ Опытной Физики и Элементарной Математики“ за 1906 и 1916 годы подъ названіемъ: „О числахъ, произведеніе которыхъ равняется суммѣ ихъ квадратовъ“ (№ 419—420) и „Таблицы чиселъ, произведеніе которыхъ равняется суммѣ ихъ квадратовъ“ (№ 650—651). Въ первой изъ этихъ статей изложены два способа рѣшенія уравненій профессора В. П. Ермакова. Однимъ изъ нихъ я руководствовался при отысканіи наименьшихъ системъ. Методъ вычисленія требуетъ ограничить размѣры вычисленія предѣломъ, имѣющимъ видъ степени двухъ. Я взялъ десятую степень и довелъ вычисленіе до числа

$$2^{10} = 1024.$$

Предлагаемыя таблицы представляютъ собою результаты моихъ вычисленій, расположенныя по системѣ П. С. Флорова. Я предполагаю, что

$$x \geq y \geq z \geq \dots \geq v \geq w,$$

и употребляю заголовокъ для таблицы въ составѣ слѣдующихъ буквъ:

E, P, M, A, K, O, B.

Буква *E* означаетъ число переменныхъ уравненія профессора В. П. Ермакова; числа *P, M, A* суть наибольшія числа, принадлежащія къ системѣ наименьшихъ рѣшеній. Черезъ *K* я обозначаю произведеніе всѣхъ прочихъ чиселъ той же системы. Буква *O* означаетъ число такихъ переменныхъ, изъ которыхъ каждое въ системѣ наименьшихъ рѣшеній имѣетъ значеніе, равное единицѣ. Наконецъ, буква *B* означаетъ число переменныхъ въ такихъ уравненіяхъ профессора В. П. Ермакова, которые не рѣшаются въ цѣлыхъ числахъ.

Обзоръ предлагаемой таблицы показываетъ, что изъ состава 1024 изученныхъ уравненій профессора В. П. Ермакова рѣшеній не имѣютъ 263 уравненія. При этомъ уравненіе съ однимъ переменнымъ $x^2 = x$ отнесено къ числу имѣющихъ рѣшеніе. Подробный осмотръ таблицъ открываетъ, что среди уравненій проф. В. П. Ермакова есть такія, которыя допускаютъ по двѣ и вообще по нѣсколько системъ наименьшихъ рѣшеній. Статистическія свѣдѣнія, сюда относящіяся, могутъ быть представлены посредствомъ слѣдующихъ записей:

<i>m</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>n</i>	263	231	167	96	79	43	38	34	16

<i>m</i>	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>n</i>	15	10	12	5	4	7	2	0	2

Здѣсь *m* означаетъ число системъ наименьшихъ рѣшеній, допускаемыхъ нѣкоторымъ уравненіемъ проф. В. П. Ермакова. Сколько именно уравненій проф. В. П. Ермакова обладаютъ этимъ свойствомъ, на это указываетъ число *n*, написанное подъ числомъ *m*. Такъ, напримѣръ, изъ предыдущей записи видно, что тремя системами наименьшихъ рѣшеній обладаютъ 96 уравненій проф. В. П. Ермакова, и что только два уравненія имѣютъ по 17 рѣшеній. Больше 17 рѣшеній не имѣетъ ни одно изъ уравненій проф. В. П. Ермакова съ числомъ переменныхъ, не превосходящимъ 1024.

Не имѣя средствъ издать „Таблицы чиселъ проф. В. П. Ермакова“ и не желая, чтобы мой трудъ по составленію таблицъ остался совершенно неизвѣстнымъ, я рѣшился изготovitъ предлагаемыя таблицы въ трехъ экземплярахъ для пожертвованія ихъ по одному экземпляру:

1. проф. В. П. Ермакову;
2. въ Императорскую Публичную Библіотеку;
3. въ фундаментальную бібліотеку Урюпинскаго реального училища, директоромъ коего состоитъ П. С. Флоровъ.

Обращеніемъ къ перечисленнымъ инстанціямъ съ почтительнѣйшею просьбою о принятіи отъ меня моего авторскаго дара заканчиваю мое настоящее предисловіе къ предлагаемымъ таблицамъ.

Учитель частной классической гимназіи въ слободѣ Михайловкѣ, Области Войска Донскаго, Григорій Евфимьевичъ Минаевъ.

Чтобы дать понятіе о текстѣ сочиненія Минаева выпишемъ изъ его книги всѣ наименьшія рѣшенія уравненія проф. В. П. Ермакова съ числомъ неизвѣстныхъ, равнымъ 838.

<i>E</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>K</i>	<i>O</i>	<i>B</i>
838	29	17	2	2	834	780
838	19	2	2	16	831	786
838	10	3	2	16	831	804
838	38	26	3	1	835	810
838	22	11	3	2	834	812
838	25	5	3	4	833	813
838	9	6	3	6	833	828
838	30	17	4	1	835	834
838	25	18	4	1	835	837
838	17	9	4	2	834	840
838	13	11	4	2	834	841
838	26	5	4	3	834	842
838	22	14	5	1	835	846
838	18	16	5	1	835	851
838	29	6	5	2	834	852
838	10	5	5	4	834	855
838	13	7	6	2	834	858

НАУЧНАЯ ХРОНИКА.

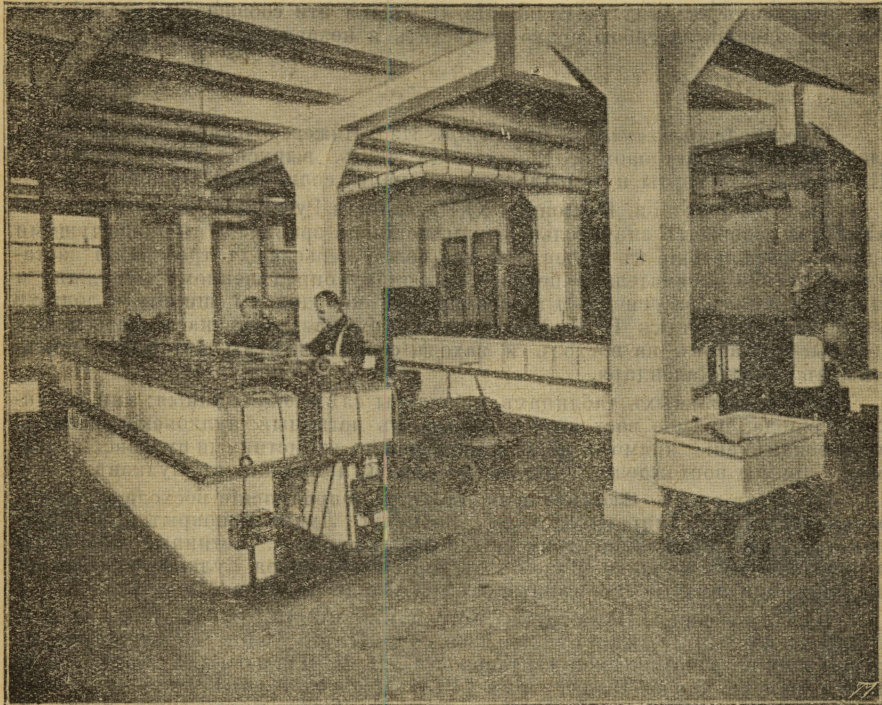
Очищеніе золота посредствомъ электролиза. Проблема очищенія золота предстала предъ людьми, по крайней мѣрѣ, уже въ то время, когда впервые начали чеканить монету (въ Западномъ мірѣ около 700 г. до Р. Х.). Уже въ древности удаленіе неблагородныхъ металловъ въ достаточной мѣрѣ достигалось процессомъ капелированія^{*)}, но, кромѣ этого, очевидно, не безъ успѣха производилось отдѣленіе серебра отъ золота. Такимъ образомъ, нѣкоторые древнія греческія монеты содержатъ 997 — 998⁰/₁₀₀ чистаго золота. Въ настоящее время для отдѣленія серебра отъ золота пользуются воздѣйствіемъ хлора (въ Австраліи) или сѣрной кислоты (въ Европѣ) и электролизомъ (въ Америкѣ).

Электролитическій способъ былъ предложенъ Чарльзомъ Уаттомъ (Charles Watt) въ Сидней въ 1863 году; впервые онъ былъ осуществленъ на практикѣ Вольвилемъ (Wohlwill) въ Гамбургѣ въ 1878 году и Тэттлемъ (Tuttle) — на монетномъ дворѣ въ Филадельфіи въ 1902 году. При методѣ хлорированія электролитическая ванна содержитъ растворъ хлористаго золота и нѣкоторое количество свободной соляной кислоты. Подъ влияніемъ электрическаго тока золото, находящееся въ растворенномъ состояніи на анодѣ, отлагается въ чистомъ видѣ на катодѣ. Другіе металлы также превращаются въ хлориды на анодѣ; они или остаются въ растворѣ или же образуютъ осадокъ вокругъ анода. Если въ анодѣ содержится серебро, то оно превращается въ хлористое серебро, которое частью растворяется, частью падаетъ на дно камеры, а частью пристаётъ къ аноду, образуя на немъ нерастворимый слой. Вслѣдствіе образованія этого слоя свободная поверхность анода уменьшается, плотность тока, дѣйствующаго на единицу поверхности анода, увеличивается, и начинается выдѣленіе хлора, если только токъ не слишкомъ малъ. Если въ металлическомъ слиткѣ, образующемъ анодъ, содержится больше 6⁰/₁₀₀ серебра, то, какъ показываетъ опытъ, приходится считать съ анода хлористое серебро, а потому на практикѣ рѣдко допускають большее процентное содержаніе серебра въ анодѣ.

Обычное содержаніе свободной соляной кислоты въ гидролитической ваннѣ колеблется отъ 3 до 10⁰/₁₀₀, но, согласно экспериментальнымъ даннымъ сэра Томаса Роза (T. Rose), при употребленіи болѣе концентрированныхъ растворовъ достигаются лучшіе результаты. Такъ, напримѣръ, при содержаніи въ растворѣ 29⁰/₁₀₀ свободной соляной кислоты можно примѣнить токъ въ 5000 амперъ на квадратный метръ анода, не вызывая выдѣленія хлора на анодѣ. При этихъ условіяхъ содержаніе серебра въ анодѣ можетъ быть безъ всякихъ затрудненій доведено, по крайней мѣрѣ, до 20⁰/₁₀₀. Сильный токъ способствуетъ тому, чтобы хлористое серебро отдѣлялось отъ анода, а также не позволяетъ золоту отлагаться въ анодныхъ осадкахъ, главнымъ образомъ, потому, что при этихъ условіяхъ не образуется хлористое золото.

*) Процессъ капелированія заключается въ слѣдующемъ: золото извлекають расплавленнымъ свинцомъ, сплавъ переносится на чрезвычайно пористый тигель — „капель“. Подъ дѣйствіемъ кислорода воздуха свинецъ окисляется, и окисъ свинца впитывается тиглемъ. Золото остается въ видѣ королька.

Большія преимущества достигаются также, въ смыслѣ отложенія золота на катодѣ, при употребленіи растворовъ, содержащихъ въ видѣ хлорида 20% золота вмѣсто обычныхъ 3 — 5%. При употребленіи тока въ 5000 амперъ на квадратный метръ золото отлагается въ видѣ компактной массы, легко отмываемой и обладающей послѣ плавленія хорошей ковкостью. Густота тока, применяемая нынѣ на практикѣ, ниже 1000 метростъ на квадратный метръ; при этомъ аноды растворяются черезъ недѣлю. При токѣ въ 5000 амперъ аноды растворялись бы въ теченіе одного рабочаго дня; но при этомъ создавалась бы выгода въ смыслѣ доходности производства.



Фиг. 1.

Однимъ изъ преимуществъ электролитическаго способа является то, что получаемое при его помощи золото всегда отличается хорошей ковкостью и можетъ быть употреблено для художественныхъ издѣлій. Другое преимущество состоитъ въ томъ, что при этомъ извлекается вся платина, содержащаяся въ необработанномъ золотѣ. Последнее обстоятельство имѣетъ важное значеніе, если примемъ во вниманіе высокую цѣнность платины, а также и тотъ фактъ, что послѣдняя содержится почти въ каждомъ необработанномъ слиткѣ золота, включая и золото изъ Трансвааля. Согласно опыту монетнаго двора Соединенныхъ Штатовъ (фиг. 1), очищеніе золота при помощи электролиза обходится дешевле, чѣмъ при помощи сѣрной кислоты.

БИБЛЮГРАФІЯ.

II. Собственныя сообщенія авторовъ, переводчиковъ и редакторовъ о выпущенныхъ книгахъ.

Авторы, переводчики и редакторы новыхъ сочиненій приглашаются присылать для этого отдѣла краткія сообщенія о выпущенныхъ ими сочиненіяхъ, объ ихъ характерѣ и объ ихъ назначеніи. Къ этимъ сообщеніямъ долженъ быть приложенъ экземпляръ сочиненія. Помѣщая эти сообщенія, редакция сохраняетъ, однако, за собою право помѣстить и независимую рецензію.

Русскій Астрономическій Календарь. Изд. Нижегородскаго Кружка любителей физики и астрономіи. Переменная часть, выпускъ XXIII на 1917 г.; VII + 200 стр., 4 карты путей планетъ и 1 карта солнечнаго затмѣнія.

Отъ редакціи. Настоящій XXIII выпускъ Русскаго Астрономическаго Календаря содержитъ значительныя измѣненія по сравненію съ предыдущими годами. Предъявленіе къ Календарю все болѣе серьезныхъ требованій заставило Редакцію окончательно перейти къ одному опредѣленному меридіану и широтѣ, принявъ за основныя географическія координаты широту и долготу Пулковъ... Переходъ къ Пулковскому меридіану заставилъ насъ дать новыя таблицы поправокъ на восходъ и заходъ солнца и луны, которыя и помѣщены въ концѣ Календаря.

Въ ежемѣсячныхъ таблицахъ добавлены слѣдующія данныя: дни юліанскаго періода, прямое восхожденіе солнца въ истинный пулковскій полдень, часовое измѣненіе прямого восхожденія солнца въ истинный пулковскій полдень и прямое восхожденіе луны въ моментъ кульминаціи въ Пулковѣ.

Содержаніе. Ежемѣсячныя таблицы. Опредѣленіе восхода и захода солнца и луны для широтъ 40° — 64° . Затмѣнія. Лунныя покрытія. Большія планеты. Меркурій. Гелиоцентрическія долготы планетъ. Истинныя положенія на орбитахъ 4-хъ планетъ. Явленія въ системѣ Юпитера. Кульминаціи Полярной. Падающія звѣзды. Переменные звѣзды. Справочникъ наблюдателя.

Приложенія. 1) Усѣхи астрономіи въ 1915 г. К. Л. Баевъ и Э. К. Эникъ. 2) Оскаръ Карловичъ Баклундъ (Краткій очеркъ его научной астрономической дѣятельности). П. И. Яшновъ. 3) Краткія свѣдѣнія о кометѣ Энке-Баклунда. П. И. Яшновъ. 4) Гриничская обсерваторія въ настоящеемъ. Н. М. Ляпинъ. 5) Новая конструкція теллурія. Л. Кандауровъ. 6) Таблица юліанскихъ дней. 7) Таблица для опредѣленія времени солнечнымъ кольцомъ. 8) Таблица поправокъ звѣзднаго времени въ средній полдень. 9 и 10) Таблицы поправокъ на восходъ и заходъ солнца и луны. 11) Отчетъ о дѣятельности Нижегородскаго Кружка любителей физики и астрономіи за 1915 — 1916 гг.

РѢШЕНІЯ ЗАДАЧЪ.

№ 307 (6 сер.). Въ выпускѣмъ четырехугольникъ ABCD даны отношенія $AD:BC$ и $AD:EF$, гдѣ EF есть отрезокъ, дѣлящій стороны AB и CD въ данномъ отношеніи $m:n$. Доказать, что этими условіями опредѣляется уголъ прямыхъ AD и BC.

Построимъ параллелограммы $EADP$ и $EBCQ$. Тогда $EP=AD$ и $EQ=BC$, такъ что

$$(1) \frac{AD}{BC} = \frac{EP}{EQ}, \quad (2) \frac{AD}{EF} = \frac{EP}{EF}.$$

Если точки P и F совпадаютъ, то и всѣ три точки P , F и Q совпадаютъ; дѣйствительно, въ этомъ случаѣ прямые AB и DC параллельны, и, кромѣ того, $AE=DF$, а такъ какъ по условію $\frac{AE}{EB} = \frac{DF}{FC} = \frac{m}{n}$, то и $EB=FC=CQ$, откуда, вслѣдствіе параллельности каждой изъ прямыхъ CF и CQ прямой AB , вытекаетъ совпаденіе точекъ F и Q . Подобнымъ же образомъ можно доказать, что при совпаденіи точекъ Q и F всѣ три точки P , F и Q также совпадаютъ. Наконецъ, если точки P и Q совпадаютъ, то прямая DC также параллельна прямой AB , и изъ равенствъ $AE=DP$ и $EB=CQ=CP$ вытекаетъ, что $\frac{AE}{EB} = \frac{DP}{PC} = \frac{m}{n}$, откуда слѣдуетъ, что точка P , дѣля отрезокъ DC въ отношеніи $m:n$, совпадаетъ съ F , т. е. что всѣ три точки P , F и Q совпадаютъ. Итакъ, если двѣ изъ точекъ P , F и Q совпадаютъ, то всѣ три эти точки совпадаютъ.

Изъ построенія слѣдуетъ, что точки P , F и Q лежатъ на одной и той же прямой. Въ самомъ дѣлѣ, въ случаѣ параллельности прямыхъ AB и CD точки P , F и Q лежатъ на прямой CD ; въ случаѣ же непараллельности этихъ прямыхъ указанное выше построеніе приводитъ къ треугольникамъ FDP и FCQ , которые подобны, ибо $\angle FDP = \angle FCQ$ и $\frac{DP}{CQ} = \frac{AE}{EB} = \frac{m}{n} = \frac{DF}{FC}$; поэтому $\angle DFP = \angle CFQ$; отсюда слѣдуетъ, что лучи FP и FQ , которые, въ силу построенія, расположены по разнымъ сторонамъ отъ прямой CD , составляють продолженіе одинъ другого; слѣдовательно, и въ этомъ случаѣ точки P , F и Q лежатъ на одной и той же прямой.

Допустимъ теперь, что $\frac{AD}{BC} = 1$ и $\frac{AD}{EF} = 1$. Въ этомъ случаѣ [см. (1) и (2)] $EP=EF=EQ$, т. е. точки P , F и Q лежатъ на окружности, описанной изъ центра E радіусомъ EP . Но, какъ только-что было доказано, точки P , F и Q въ то же время лежатъ на одной и той же прямой, а это можетъ имѣть мѣсто лишь тогда, когда какія-либо двѣ изъ точекъ P , F и Q совпадаютъ; но въ такомъ случаѣ всѣ три эти точки совпадаютъ, откуда слѣдуетъ, что прямые AD и BC параллельны.

Наоборотъ, если двѣ изъ точекъ P , F и Q совпадаютъ, то всѣ три эти точки совпадаютъ, а потому $EP=EF=EQ$; слѣдовательно, [(1), (2)]

$$\frac{AD}{BC} = \frac{AD}{EF} = 1.$$

Поэтому совпаденіе двухъ изъ точекъ P , F и Q равносильно допущенію, что каждое изъ данныхъ отношеній $\frac{AD}{BC}$ и $\frac{AD}{EF}$ равно единицѣ; въ этомъ случаѣ, какъ объяснено выше, прямые AD и BC параллельны, и уголъ между ними равенъ нулю.

Пусть теперь хотя бы одно изъ данныхъ отношеній $\frac{AD}{BC}$ и $\frac{AD}{EF}$ отлично отъ единицы. Въ такомъ случаѣ никакія двѣ изъ точекъ P , F и Q не совпадаютъ, при чемъ, какъ выше было доказано, эти точки лежатъ на одной и той же прямой. Въ случаѣ непараллельности прямыхъ AB и CD изъ подобія треугольниковъ PDF и QCF слѣдуетъ, что

$$(3) \frac{PF}{FQ} = \frac{m}{n},$$

ибо $\frac{PF}{FQ} = \frac{DF}{FC} = \frac{m}{n}$; кроме того, точка F лежит между точками P и Q . Въ случаѣ же параллельности прямыхъ AB и CD точки P и Q лежатъ на прямой DC , при чемъ изъ равенствъ $\frac{AE}{EB} = \frac{DP}{CQ} = \frac{DF}{FC} = \frac{m}{n}$ слѣдуетъ, что $\frac{DF - DP}{CF - CQ} = \frac{m}{n}$, т.-е. что

$$(4) \quad \frac{PF}{FQ} = \frac{m}{n},$$

и точка F снова лежитъ между точками P и Q . Итакъ, въ рассматриваемомъ общемъ случаѣ точка F лежитъ внутри отрезка PQ , дѣля его [см. (3), (4)] въ отношеніи m къ n . Кроме того, называя данныя отношенія $\frac{AD}{BC}$ и $\frac{AD}{EF}$ соответственно черезъ k и l , имѣемъ [см. (1), (2)]:

$$\frac{EP}{EQ} = k, \quad \frac{EP}{EF} = l.$$

Отсюда вытекаетъ, что уголъ PEQ , равный углу между прямыми AD и BC , можетъ быть построенъ методомъ подобія. Въ самомъ дѣлѣ, фигуру $PEFQ$ можно преобразовать въ подобную ей фигуру $P'E'F'Q'$ такъ, чтобы отрезокъ $P'Q'$ имѣлъ напередъ заданную длину, и въ этой фигурѣ мы будемъ имѣть:

$$(5) \quad \frac{P'F'}{F'Q'} = \frac{m}{n}, \quad \frac{E'P'}{E'Q'} = k, \quad \frac{E'P'}{E'F'} = l.$$

Съ другой стороны, для даннаго отрезка $P'Q'$ получается лишь единственная фигура $P'E'F'Q'$, определяемая слѣдующимъ построениемъ: дѣлимъ произвольно выбранный отрезокъ $P'Q'$ въ точкѣ его F' въ отношеніи $m:n$, строимъ геометрическое мѣсто точекъ, разстоянія которыхъ отъ P' и Q' сохраняютъ данное отношеніе $k:1$; это геометрическое мѣсто есть окружность, построенная, какъ на диаметрѣ, на отрезкѣ, концы котораго дѣлятъ отрезокъ $P'Q'$ внутреннимъ и внешнимъ образомъ въ отношеніи $k:1$; затѣмъ строимъ подобнаго же рода окружность, представляющую собою геометрическое мѣсто точекъ, разстоянія которыхъ отъ P' и F' сохраняютъ отношеніе $l:1$. Слѣдуетъ имѣть въ виду, что, при касаніи этихъ двухъ окружностей, онѣ даютъ вполнѣ опредѣленную точку E' искомой фигуры, лежащую въ точкѣ касанія, а при пересѣченіи ихъ въ двухъ точкахъ E' и E'' получаются конгруэнтныя фигуры $P'E'F'Q'$ и $P'E''F'Q'$. Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что, выполнивъ указанное выше построение, мы опредѣлимъ уголъ $P'E'Q'$, равный углу прямыхъ AD и BC . Для возможности задачи необходимо и достаточно, чтобы двѣ упомянутыя выше окружности пересѣкались или касались; достаточность этого условія вытекаетъ изъ возможности дополнить фигуру $EPFQ$ до фигуры $ABCDEFPQ$, выбравъ произвольно направление AB . Слѣдуетъ замѣтить, что касаніе окружностей отвѣчаетъ случаю параллельности прямыхъ AD и BC , въ томъ предположеніи, однако, что фигура $ABCD$ есть трапеція, а не параллелограммъ. Если $k=1$ или $l=1$ то соответствующія окружности замѣняются соответственно перпендикулярами въ серединахъ отрезковъ $P'Q'$ и $P'F'$.

М. Шебаршинъ (дѣйствующая армія); Н. С. (Одесса).

Редакторъ прив.-доц. В. Ф. Каганъ.

Издатель В. А. Гернетъ.

Дозволено военной цензурой.

Типографія „Техникъ“—Одесса. Екатерининская, 58.

Обложка
щется

Обложка
щется