

В. И. КРАСОВСКИЙ

ПРИРОДА ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА

(Представлено академиком Г. А. Шайном 27 V 1950)

В самое последнее время удалось обнаружить структуру инфракрасного излучения ночного неба. А. Б. Мейнел⁽¹⁾ получил снимки спектра излучения ночного неба до 8500 Å, а автор настоящей заметки — до 11 000 Å. Инфракрасное излучение ночного неба оказалось очень мощным. Так например, по данным С. Ф. Родионова⁽³⁾, энергия излучения в области около 10 000 Å порядка на два больше, чем энергия излучения зеленой линии ночного неба λ 5577 Å.

Недостаточные дисперсия и разрешающая способность исключают возможность идентификации нового излучения по тонкой вращательной структуре. В настоящее время грубо известен только характер распределения излучения по всему ближнему инфракрасному участку спектра. Основные очаги излучения расположены таким образом: широкая полоса около 10 800 Å, очень широкая полоса около 10 400—9800 Å с максимумами у 10 200 и 10 000 Å, широкая полоса около 9 400 Å, очень широкая около 8500—9000 Å с максимумами у 8900 и 8600 Å, широкая полоса у 8400 Å и, наконец, широкая полоса у 7900 Å. Повидимому, эти полосы образовались в результате соприкосновения и наложения различных первичных полос.

Было предположено, что новое излучение порождается молекулами азота или кислорода. В случае ночного неба мыслимы следующие системы полос: у молекулярного азота — первая положительная система и у молекулярного кислорода — система запрещенных переходов ${}^1\Sigma \rightarrow {}^1\Delta$, ${}^1\Sigma - {}^3\Sigma$ и ${}^1\Delta - {}^3\Sigma$. По данным Шпонер⁽⁴⁾, были построены функции Морзе для всех указанных состояний и определены наиболее интенсивные переходы по принципу Франка—Кондона в его классической трактовке. Волновые числа и длины волн нулевых линий молекулярного кислорода были вычислены без учета вращательной структуры также по данным Шпонер. Мы попытались сделать очень грубую оценку интенсивности полос по кривой интенсивности излучения ночного неба как функции волнового числа, принимая за интенсивность предполагаемой полосы значение ординаты в месте нулевой линии полосы молекулярного кислорода и канта первой положительной системы молекулярного азота, указанного в таблицах Биркенбайля⁽⁵⁾.

Таким образом удалось установить, что в инфракрасном излучении ночного неба могут присутствовать только некоторые системы полос с ограниченным числом переходов. Так, первая положительная система молекулярного азота может быть представлена только переходами $0-0$ ($\lambda \sim 10420$ Å), $1-0$ ($\lambda \sim 8912$ Å), $2-0$ ($\lambda \sim 7759$ Å) и $2-1$ ($\lambda \sim 8722$ Å). Остальные наиболее интенсивные переходы этой

системы соответствуют излучениям, которые располагаются вне инфракрасного диапазона в видимой области спектра, в которой интенсивных полос первой положительной системы молекулярного азота не обнаружено. Известное нам инфракрасное излучение ночного неба не может быть объяснено системой полос O_2 ($^1\Sigma \rightarrow ^1\Delta$), так как наиболее интенсивное излучение этой системы расположено около 19 000—23 000 Å. Инфракрасное излучение ночного неба также не может быть объяснено системой полос O_2 ($^1\Sigma \rightarrow ^3\Sigma$). В том случае вся левая ветвь параболы Кондона соответствует хорошо изученной красной области спектра, в которой отсутствует сколько-нибудь значительная эмиссия ночного неба. Хотя некоторая часть инфракрасного излучения ночного неба могла бы быть объяснена некоторыми наиболее интенсивными переходами правой ветви, тем не менее от такой идентификации приходится отказаться, так как отсутствуют сколько-

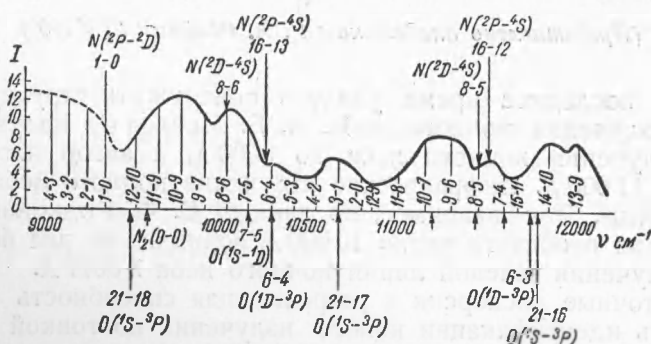


Рис. 1

нибудь интенсивные переходы в левой ветви малораскрытой параболы Кондона. В случае системы полос O_2 ($^1\Delta \rightarrow ^3\Sigma$) все наиболее интенсивные переходы левой ветви совпадают с излучением, близким наблюдаемому в инфракрасном свечении ночного неба. Наиболее интенсивные переходы правой ветви той же системы связаны с более длинноволновым излучением, чем обнаруженное.

На рис. 1 показана кривая интенсивности излучения как функция волнового числа. Стрелками ниже оси абсцисс с обозначением N_2 и переходами, указанными в скобках, отмечено положение кантов возможных полос первой положительной системы молекулярного азота. Перпендикулярами выше оси абсцисс указано расположение нулевых линий наиболее вероятных полос системы O_2 ($^1\Delta \rightarrow ^3\Sigma$). Переходы обозначены в разрывах перпендикуляров.

Возбуждение нового инфракрасного излучения ночного неба возможно объяснить энергией диссоциации молекулярного кислорода и азота, выделяющейся при тройных соударениях, если сделать следующие предположения. Возбуждаются обе частицы, остающиеся после тройного столкновения. В случае одинаковых частиц наиболее вероятно равное возбуждение. Наиболее эффективно возбуждение за счет перехода на более высокий электронный уровень. Возбуждение с большим выходом кинетической энергии или с возбуждением колебательных уровней основного состояния мало эффективно. При двойном соударении возбужденных атомов или молекул с невозбужденной молекулой возможно возбуждение при аномальных допущениях. Наиболее вероятны тройные соударения между невозбужденными частицами и столкновения возбужденных частиц с невозбужденными.

Возбужденные состояния атомов и молекул будем в дальнейшем обозначать штрихами справа вверху у символа атома или молекулы.

Реакция рекомбинации $O + O + O \rightarrow O' + O''$ в качестве возможных продуктов O' может иметь только состояния атомного кислорода $1S$ и $1D$. Энергия, остающаяся после возбуждения состояния $O(1S)$, только на 666 см^{-1} меньше энергии возбуждения нулевого колебательного уровня 1Δ , а энергия, остающаяся после возбуждения состояния $O(1D)$, меньше энергии возбуждения 13-го колебательного уровня всего только на 57 см^{-1} . Высокая температура верхних слоев земной атмосферы делает возможным возбуждение этих уровней, так как небольшой недостаток энергии для их возбуждения может быть восполнен за счет тепловой энергии. Уровень $1\Delta(0)$ не может быть обнаружен по излучению, так как переходам с этого уровня соответствует длинноволновое излучение, недоступное современным средствам обнаружения. Однако такое возбуждение подтверждается незначительной шириной зеленой линии ночного неба ($\lambda 5577 \text{ \AA}$), которая, как указывает И. А. Хвостиков⁽⁶⁾, была бы непонятной при переходе избыточной энергии в кинетическую форму, а не на возбуждение молекулы кислорода, как здесь предполагается. Состояние $1\Delta(13)$ может быть установлено по излучению, связанному с переходами с 13-го уровня, что не находится в противоречии с наблюдаемым. Почти одинаковая интенсивность излучений ночного неба, связанных с переходами с уровней $O(1S)$ и $1D$, при более значительной метастабильности состояния $1D$, повидимому, свидетельствует о более легком возбуждении состояния $1D$, что может быть объяснено или меньшим недостатком энергии при возбуждении состояния $1D$, или более равным возбуждением двух частиц, остающихся после тройного соударения.

При реакции рекомбинации $O + O + O_2 \rightarrow O'_2 + O''_2$ выделяется энергия, которая только на 405 см^{-1} превосходит энергию возбуждения пары 9-х колебательных уровней $O_2(1\Delta)$. Излучение при переходах с этого уровня совпадает с излучением наиболее интенсивного участка инфракрасного свечения ночного неба.

Реакция рекомбинации $O + O + N \rightarrow N' + O'_2$ в качестве возможных продуктов N' может иметь только состояния $N(2P)$ и $2D$, которым партнерами будут состояния $O_2(1\Delta(3))$ с недостатком энергии 37 см^{-1} и $1\Delta(10)$ с избытком энергии 245 см^{-1} , соответственно. Состояния $2P$ и $2D$ весьма метастабильны и могут не наблюдаться в свечении ночного неба из-за гашения при соударениях. Существование возбужденных состояний $O_2(1\Delta(3))$ и $1\Delta(10)$ не находится в противоречии со сведениями об инфракрасном излучении ночного неба.

Реакция рекомбинации $O + O + N_2$ неэффективна. Она осуществима только при чисто колебательном возбуждении основного состояния N_2 или при большом выходе кинетической энергии, что не совпадает с вышеуказанными предположениями.

В согласии со сведениями об излучении ночного неба удовлетворительное объяснение реакций рекомбинации N_2 возможно только при принятии значения энергии диссоциации N_2 , указываемого Гейдоном (78771 см^{-1})⁽⁷⁾. Ниже приводится обзор реакций рекомбинаций N_2 при таком допущении.

При реакции рекомбинации $N + N + N \rightarrow N' + N'_2$ возможны только такие пары возбужденных состояний: $N(2P) - N_2(A^3\Sigma - 0)$ с выходом кинетической энергии 189 см^{-1} и $N(2D) - N_2(B^3\Pi - 0)$ с выходом кинетической энергии 241 см^{-1} . Это не находится в противоречии с наблюдаемым.

Реакция $N + N + N_2$ неэффективна. Она осуществима только при чисто колебательном возбуждении основного состояния N_2 или при большом выходе кинетической энергии, что не совпадает с вышеуказанным предположением.

При реакции рекомбинации $N + N + O \rightarrow O' + N'_2$ возможна только одна пара возбужденных состояний: $O(^1D)$ и $N_2(B^3\pi - 2)$ с выходом кинетической энергии 194 см^{-1} .

Излучение ночного неба свидетельствует об исключительно высокой интенсивности возбуждения следующих состояний: $B^3\pi(0)$ и $A^3\Sigma(2)$. В реакции рекомбинации $N + N + O_2 \rightarrow N'_2 + O'_2$ этим состояниям будут соответствовать состояния $^1\Delta(8)$ с выходом кинетической энергии 425 см^{-1} и $^1\Delta(14)$ с недостатком энергии 202 см^{-1} , соответственно. Это находится в хорошем согласии с наблюдаемым в действительности.

Энергия возбуждения колебательных уровней состояний $O_2(^1\Delta)$, более высоких, чем 7-й уровень, достаточна для возбуждения низких уровней состояния $^1\Delta$ при сохранении у возбуждающей молекулы низкого колебательного уровня состояния $^1\Delta$. Таким образом возможно объяснить возбуждение низких уровней $O_2(^1\Delta)$ и излучений, связанных с переходами с этих уровней. Невозбужденная молекула O_2 может возбудиться до состояния $^1\Delta$ за счет гашения возбужденных состояний атомного кислорода и азота. Все излучения, связанные с переходами с возбужденных таким образом уровней $^1\Delta$, отмечены на рис. 1 стрелками с указанием изменения атомных состояний. В настоящее время невозможно разделить, какая доля возбуждения создается за счет гашения возбужденных атомных состояний и какая — за счет указанных выше реакций рекомбинаций O_2 и N_2 . Однако возбуждение за счет гашений не находится в противоречии с наблюдаемым в действительности.

Если указанное объяснение инфракрасного излучения ночного неба справедливо, то совершенно естественно сделать заключение, что атомный азот существует там, где еще имеется молекулярный кислород, и, следовательно, сопутствует атомному кислороду.

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
27 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Meinel, Publ. Astr. Soc. Pac., **60**, 373 (1948). ² В. И. Красовский, ДАН, **70**, 999 (1950). ³ С. Ф. Родионов и Л. М. Фишкова, ДАН, **70**, 1001 (1950). ⁴ H. Sponer, Molekülspektren, **1**, Tabellen. Berlin, 1935. ⁵ H. Birkenbeil, Zs. Phys., **88**, 1 (1934). ⁶ И. А. Хвостиков, Свечение ночного неба, Изд. АН СССР, 1948. ⁷ А. Гейдон, Энергия диссоциации и спектры двухатомных молекул, 1949.