

УДК 621.371.533.33

ФИЗИКА

Г. Г. Бахшян, М. Г. Григорян, К. Е. Карапетян

Расщепление вращательных резонансных линий ($\lambda = 1,35$ см)
 молекул H_2O под действием силы Магнуса

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. М. Мартirosяном 4/XI 1989)

В (1-2) было показано, что гравитационные силы и силы Магнуса приводят к пространственной преимущественной ориентации содержащихся в атмосфере молекул типа асимметричных волчков—гироскопических маятников (H_2O , O_3 и др.), так что преимущественную ориентацию в пространстве молекул H_2O можно рассматривать как дополнительную прецессию ее ротации. Следовательно, по аналогии с физическим незакрепленным маятником потенциальная энергия молекулы вследствие ее вынужденной прецессии должна измениться на величину $F \cdot l$, где F —действующая сила, l —плечо маятника, что, в свою очередь, приводит к расщеплению вращательных линий, величина которой будет рассмотрена ниже.

При расчете будем руководствоваться методикой эффекта Штарка на вращательных линиях и вращательных уровнях (3-4). Согласно расчетной методике эффекта Штарка добавочную энергию как возмущающее действие необходимо прибавить к полному невозмущенному гамильтониану. Энергию возмущения удобно записать посредством преобразования направляющих косинусов от системы координат $g(x, y, z)$, жестко связанных с молекулой, к системе координат $G(X, Y, Z)$, фиксированной в пространстве относительно направления F . F можно считать направленной вдоль оси Z . Энергия возмущения будет иметь вид

$$H_s = F_z \sum_k l_{gk} \Phi_{z.gk} \quad (1)$$

где F_z —возмущающая сила, $\Phi_{z.gk}$ —матрица направляющих косинусов между осями координат G и g .

Молекулы типа симметричных и асимметричных волчков испытывают на себе воздействие одной из сил инерции (Магнусовой силы), которая представляет собой фактически влияние вращения подвижной системы координат на относительное движение молекул: $F = m(\omega \times v)$ (5,6), где m —масса молекулы, $v = v_1 + g_0 \tau_0$, v_1 —линейная скорость движения молекулы в атмосфере, g_0 —ускорение силы тяжести, τ_0 —интервал времени между двумя последовательными столкновениями молекул атмосферного газа, ω —частота собственного вращения молекулы.

Следующий шаг—определение l_R (плеча асимметрии молекулы)

через вращательные и геометрические параметры молекулы в подвижной системе координат (g). В предположении, что ядра атомов в молекуле закреплены жестко, и учитывая, что оси асимметрического распределения массы, собственного дипольного момента молекулы и геометрической симметрии совпадают, выражение для I_g приближенно запишется в виде

$$|I_g| \simeq \frac{m_o \xi_o^2 + 2m_H \xi_H^2}{m_o \xi_o - 2m_H \xi_H}, \quad (2)$$

где m_o — масса атома кислорода, m_H — масса атома водорода, ξ_o и ξ_H — структурные расстояния в молекуле воды.

Процесс расчета величины возмущающей ΔW_z энергии и соответствующего ей уширения спектральных линий $\Delta\nu$ сводится к аналогичному расчету задачи эффекта Штарка на вращающихся спектральных линиях молекул (^{3,4}). Окончательно для $\Delta\nu$ имеем

$$\Delta\nu = \frac{\Delta W_z}{h} \simeq - \frac{F_z^2}{h} \sum \frac{\sum_R I_g^2(\sigma, \tau, M | T^{-1} x^{-1} \Phi_{Og} x T | \sigma', \tau', M)^2}{W_{\sigma', \tau'} - W_{\sigma, \tau}}, \quad (3)$$

где h — постоянная Планка, σ — вращательное квантовое число, τ — квантовое число, имеющее смысл нумерации подуровней вращательной энергии, M — квантовое число, характеризующее проекцию вращательного момента количества движения на направление действующих сил, x — матрица симметризации, T — матрица диагонализации, $W_{\sigma', \tau'} - W_{\sigma, \tau} = h\nu$, ν — частота резонанса, значение $|\langle \sigma, \tau, M | T^{-1} x^{-1} \Phi_{Og} x T | \sigma', \tau', M \rangle|^2$ можно найти в табл. 1 из работы (³).

Выполним числовые оценки: принимая, что $m = 3 \cdot 10^{-26}$ кг; $I_g = 0,5$ нм; $\omega = 10^{13}$ Гц; $v = 1$ м/с; $|\langle \sigma, \tau, M | T^{-1} x^{-1} \Phi_{Og} x T | \sigma', \tau', M \rangle|^2 \simeq 0,025$, $\nu = 22,235$ ГГц; $|F_z|^2 = (m|\omega| \cdot |v|)^2 \sin^2 \alpha = 1,5 \cdot 10^{-16}$ Н². Получим $\Delta\nu \simeq 1$ ГГц. Здесь надо обратить внимание на то, что как в теории Ван Флека (¹), так и в последующих работах (см. литературу в (⁵)), в зависимости формы спектральных линий и их полуширины от давления не учтено гироскопическое свойство молекулы, способствующее восстановлению исходной ориентации после соударения с соседними молекулами. При этом конечное время соударений молекул, обладающих гироскопическим свойством, подавляет прецессию и соответственно уменьшает эффективную полуширину вращательных спектральных линий. Полученный результат согласуется с различием, которое имеется между экспериментальным и теоретически рассчитанным значениями полуширины резонансной линии $\lambda = 1,35$ см (⁶).

Уширение спектральных линий, приведенное в настоящей работе, есть следствие пространственной ориентации молекул воды под воздействием возмущающей механической силы. Но не все акты уширения спектральных линий приводят к преимущественной ориентации молекул. Например, уширение вследствие воздействия давления и эффекта Доплера не приводит к пространственной преимущественной ориентации молекул, так как действующая сила, обусловленная столкновениями молекул, хотя и по величине постоянна, но по направлению со временем меняется. Такого рода силы хотя и приводят к ориентации от-

дельных молекул и уширению их спектральных линий, но они не приводят к пространственной преимущественной ориентации.

Пространственная преимущественная ориентация молекул и соответствующее ей расщепление спектральных линий могут иметь место лишь под воздействием стационарных сил, например, как в эффектах Штарка и Зеемана, а также и в вышензложенном случае.

Для экспериментального подтверждения полученного результата необходима регистрация зависимости значений полуширины резонансной спектральной линии $5_{-1}-6_{-3}$ ($\lambda=1,35$ см) от скорости и направления движения мономерных молекул H_2O .

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հ. Գ. ԲԱԽՇՅԱՆ, Մ. Գ. ԴՐՐԴՈՐՅԱՆ, Կ. Ե. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

H_2O մոլեկուլի պատողական ռեզոնանսային գծի ($\lambda=1,35$ սմ) ճեղհումը
Մագնուսի ուժի ազդեցության տակ

Բացահայտված է ջրի մոլեկուլի պատողական ռեզոնանսային գծերի ճեղքման նոր մեխանիզմ, որը իրականացվում է Մագնուսի ուժի և սեփական ծանրության ուժի ազդեցությունների տակ, երբ շուրջ մթնոլորտում գտնվում է գազային վիճակում: Ջրի մոլեկուլը մթնոլորտում դիտարկվում է որպես շամրացված համարժեք գիրոսկոպիկ ճոճանակ, որի ստիպողական պրեցեսիան (Մագնուսի ուժի ազդեցության տակ) պատճառ է դառնում պատողական ռեզոնանսային գծերի ճեղքմանը և նրանց լայնացմանը: Դնահատված է այդ լրացուցիչ լայնացման չափը: Ցույց է տրված ինչպես կարելի է մեծ հեռավորության վրա ռադիոֆիզիկական փորձով դիտարկել թննարկվող երեւույթը:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Г. Г. Бахшян, ДАН АрмССР, т. 85, № 3, с. 117—120 (1987). ² Г. Г. Бахшян, К. Е. Карапетян, Тезисы докл., Использование спутниковой информации в исследованиях океана и атмосферы. 1989 г. Звенигород, М., с. 94. 1989. ³ Ч. Таунс, А. Шавлов, Радиоспектроскопия, ИЛ, М., 1959. ⁴ М. Стречберг, Радиоспектроскопия, ИЛ, М., 1956. ⁵ Ф. Х. Гельмуханов, Л. В. Ильичев, Сб. научн. трудов. Оптическая ориентация атомов и молекул, Л. 1987, с. 97—107. ⁶ Л. Прандтль, Гидроаэромеханика, пер. с нем., ИЛ, М., 2, изд. 1951. ⁷ S. H. Van Vleet, Phys. Rev., №71, p 413 (1947). ⁸ А. В. Соколов, Е. В. Сухонин, Труды 11 Всесоюзной школы симп зюма по распространению ММВ и СубММВ в атмосфере, Илим, Фрунзе с. 3—10. 1986. ⁹ С. А. Жевакин, А. П. Наумов, Ради. физика, т. 6, № 4, с. 669—694 (1963).