

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 543 42:546.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА**

© Э.И.Воронина, В.Е.Привалов, В.Г.Шеманин

Балтийский Государственный Технический Университет 198005, С.-Петербург

Поступила в редакцию 30 июня 1997г. Переработана 10 июня 1998г.

Дано краткое описание численных расчетов мощности излучения обратного комбинационного рассеяния для молекул водорода и его изотопов. Проведен поиск оптимального варианта лидара для зондирования на расстояниях до 6 км.

Приведены результаты численных расчетов мощности излучения обратного комбинационного рассеяния (КР) для молекул водорода H₂ и его изотопных аналогов D₂, T₂, HD, HT и DT различной концентрации, выбранных лазеров с различными энергиями импульсов и расстояний зондирования в диапазоне 2–6 км с целью поиска оптимального варианта лидарной системы типа [1,2], отвечающего максимальному значению этой мощности.

Расчеты выполнены для лазеров со следующими длинами волн: 266, 355 и 532 нм — четвертая, третья и вторая гармоники YAG:Nd лазера, 347 нм — вторая гармоника рубинового лазера, 337 нм — азотный лазер и 308 нм —

эксимерный лазер на ХеСl.

Лидарное уравнение для расчетов было взято в виде [3], а значения постоянных были выбраны следующими: длительность лазерного импульса $\tau_l=10$ нс, площадь приемного телескопа $A_2=0.008$ м², шаг по расстоянию $\Delta R=7.5$ м для времени измерения 50 нс, постоянная лидара $K_l=0.495$ на длине волны 519 нм.

Отсутствующие значения длин волн полос КР для исследуемых молекул были рассчитаны по значениям собственных частот колебаний этих молекул, определенных по правилу квадратов для изотопных аналогов [4]. Дифференциальные сечения КР для этих длин волн были рассчитаны по формуле [5] по известному зна-

Таблица 1.

Мощность обратного КР для молекулы H₂ для различных концентраций и энергий лазерного импульса в диапазоне расстояний зондирования 2–6 км.

R, км		Na, см ⁻³			
		10 ²⁰		10 ¹⁶	
		E ₀ , мДж		E ₀ , мДж	
		1	10	1	10
2	λ , нм	P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), фВт	P(λ ,R), фВт
	266	0.494	4.940	49.40	494.0
	355	0.916	9.160	91.60	916.0
	532	0.084	0.843	8.430	84.30
	347	0.945	9.450	94.50	945.0
	337	0.777	7.766	77.66	776.0
3	λ , нм	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), фВт	P(λ ,R), фВт
	266	73.90	739.0	7.390	73.90
	355	252.0	2520	25.20	252.0
	532	24.30	243.0	2.430	24.30
	347	245.0	2450	24.50	245.0
3	λ , нм	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), фВт	P(λ ,R), фВт
	337	214.5	2145	21.45	214.0
	308	141.4	1414	14.14	141.4
4	λ , нм	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), фВт	P(λ ,R), фВт
	266	14.00	140.0	1.400	14.00
	355	85.00	850.0	8.500	85.00
	532	10.68	106.0	1.068	10.68
	347	83.10	832.0	8.310	83.10
	337	67.00	670.0	6.700	67.00
	308	37.60	376.0	3.760	37.60

R, км	λ , нм	Na, см ⁻³			
		10 ²⁰		10 ¹⁶	
		E ₀ , мДж		E ₀ , мДж	
		1	10	1	10
5		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), фВт	P(λ ,R), фВт
	266	3.010	30.10	0.3010	3.010
	355	32.70	327.0	3.270	32.70
	532	5.490	54.90	0.549	5.490
	347	30.00	300.0	3.000	30.00
	337	23.80	238.0	2.380	23.80
	308	11.40	114.0	1.140	11.40
6		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), фВт	P(λ ,R), фВт
	266	0.700	700.0	0.070	0.700
	355	13.63	1363	1.363	13.63
	532	2.820	282.0	0.282	2.820
	347	12.10	1210	1.210	12.10
	337	9.190	919.0	0.919	9.190
	308	3.730	373.0	0.373	3.730

Таблица 2.
Мощность обратного КР для всех исследуемых молекул для заданных концентраций (Na, 10²⁰ см⁻³) и энергий лазерного импульса (E₀, 1 мДж) в диапазоне расстояний зондирования 2–6 км.

R, км	λ , нм	H ₂	D ₂	T ₂	HD	HT	DT
2		P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), нВт	P(λ ,R), нВт
	266	0.494	0.296	0.2914	0.494	0.377	0.413
	355	0.916	0.823	0.7083	0.860	0.776	0.776
	532	0.084	0.142	0.1541	0.098	0.141	0.073
	347	0.945	0.793	0.7411	0.923	0.871	0.761
	337	0.777	0.679	0.5643	0.679	0.661	0.661
	308	0.674	0.436	0.3751	0.543	0.543	0.443
3		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт
	266	73.90	5250	40.50	73.90	56.20	57.20
	355	252.0	213.2	180.8	222.8	201.0	201.0
	532	24.30	46.50	49.80	32.00	46.00	23.50
	347	245.0	207.0	182.3	228.9	215.9	187.2
	337	214.5	182.0	146.8	181.8	177.1	177.1
	308	141.4	95.80	75.10	114.0	114.0	88.60
4		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт
	266	14.00	9.920	7.180	13.97	10.62	11.61
	355	85.00	69.90	58.43	73.04	65.89	65.89
	532	10.68	19.20	20.38	13.21	10.01	9.620
	347	83.10	70.00	60.06	79.45	74.94	61.93
	337	67.00	55.10	43.18	55.13	53.70	53.70
	308	37.60	25.60	19.01	30.30	30.30	22.96
5		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт
	266	3.010	2.130	1.460	3.010	2.290	2.050
	355	32.70	26.10	21.49	27.24	24.58	25.47
	532	5.490	9.000	9.490	6.210	8.940	4.480
	347	30.00	25.40	20.99	21.76	26.99	21.55
5		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт
	337	23.80	19.02	14.46	19.02	18.53	18.53
	308	11.40	7.700	5.480	12.04	9.160	6.780
6		P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт	P(λ ,R), пВт
	266	0.700	0.500	0.324	0.700	0.530	0.450
	355	13.63	10.55	8.578	11.03	9.950	10.31
	532	2.820	4.600	4.798	3.170	4.570	2.260
	347	12.10	10.26	8.244	7.580	10.93	8.460
	337	9.190	7.120	5.252	7.120	6.930	6.930
	308	3.730	2.320	1.712	4.590	3.010	2.740

чению сечения для молекулы H_2 для длины волны 488 нм излучения аргонового лазера [6]. Пропускание атмосферы было рассчитано, как в [5, С.272], по значениям коэффициента ослабления, взятым из [7]. Спектральная чувствительность фотокатода фотоприемника учтена в соответствии с [8].

Результаты расчетов для молекулы H_2 приведены в Таблице 1. Как видно из Табл.1, увеличение энергии лазерного импульса на порядок ведет к такому же увеличению мощности КР, а уменьшение концентрации молекул на 4 порядка ведет к пропорциональному уменьшению мощности на 4 порядка. Поэтому для остальных молекул в Табл.2 приводятся лишь значения мощности КР для энергии лазерного импульса $E_0=1$ мДж и максимальной концентрации молекул $N_0=10^{20}$ см $^{-3}$.

Полученные результаты можно представить в виде Табл.3, где приведены длины волн лазеров, для которых получены максимальные значения мощности обратного КР на фотоприемнике из Табл.1 и 2 для исследуемых изотопов молекул водорода и расстояний зондирования для расстояний от 2 до 6 км. Два числа означают, что величины максимальных мощностей КР для этих длин волн отличаются друг от друга менее, чем на 10%. Результаты Табл.3 можно суммировать следующим образом. Для расстояний 2–6 км наиболее предпочтительны только две длины волны: третья гармоника YAG:Nd - лазера и вторая гармоника рубинового лазера, так как лишь в этих случаях мощность обратного КР для всех молекул имеет максимальное значение. Причем на расстоянии 2 км наиболее предпочтительна вторая гармоника рубинового лазера, на расстоянии 3 и 4 км обе длины волн дают примерно одинаковые результаты, и на расстоянии 5 и 6 км наиболее предпочтительной является третья гармоника YAG:Nd — лазера. Кроме того, увеличение энергии лазерного импульса или сокращение его длительности приводит к пропорциональному увеличению регистрируемой мощности КР, а уменьшение концентрации молекул — к пропорциональному уменьшению мощности без изменения спектральной зависимости постоянных, входящих в

лидарное уравнение.

Таким образом, полученные результаты дают возможность оптимального выбора лазера для зондирования исследуемых молекул в атмосфере на расстояниях от 2 до 6 км.

Таблица 3.

Длины волн лазеров, дающие максимальную мощность обратного КР для всех исследуемых молекул в диапазоне расстояний зондирования 2–6 км.

R, км	H_2	D_2	T_2	HD	HT	DT
2	347	355	347	347	347	355
	355	347	355	355		347
3	355	355	347	347	347	355
	347	347	355	355	355	347
4	355	347	347	347	347	355
	347	355	355	355		347
5	355	355	355	355	347	355
	347	347	347		355	
6	355	355	355	355	347	355
	347	347	347		355	

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. 1992. СПб: Гидрометеоздат.
2. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. // Опт. и спектр. 1997. Т.82, №4. С. 700–702.
3. Иванов Е.К., Колбенков В.А., Конопелько Л.А., Расторгуев В.В. //Измерительная техника. 1986. № 5. С.56–57.
4. Волькенштейн М.В., Грибов Л.А., Ельяшевич М.А., Степанов В.И. Колебания молекул. 1972. М: Наука. С.336.
5. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. 1967. М.: Мир. 550с.
6. Хинкли Э. Лазерный контроль атмосферы. 1979.М.: Мир.
7. Справочник по лазерам. Т.1. Ред. А.М. Прохоров. 1978. М.: Сов. Радио. 382с.
8. Справочник по лазерам Т.П. Ред. А.М. Прохоров. 1978. М.: Сов. Радио. 134с.

CALCULATION OF PARAMETERS OF LASER SENSING OF MOLECULAR HYDROGEN

E.I.Voronina, V.E.Privalov, V.G.Shemanin

Baltic State Technical University. 198005 Saint-Petersburg, Russia.

The paper gives a brief outline of numerical calculations to define the power of back-scattered Raman radiation for molecular hydrogen and its isotopes. A search for an optimum variant of lidar searching at distances up to 6 km is conducted.