вой системы качественно подобна структуре реальных ураганов, в центре которых наблюдается ядро с пониженной влажностью («глаз бури»), окруженное плотным кольцевым облачным районом («стена глаза»). Из данных наблюдений за реальными ураганами следует, что воздушные массы во внешнем районе урагана движутся по спиралям, которые свойственны и смоделированной вихревой системе.

Для количественного измерения тангенциальной и радиальной компонент скорости в созданной вихревой системе выбран метод фоторегистрации светящихся индикаторов, в качестве которых используется алюминиевая пыль. С помощью фотокамеры РФК-5 производится фотографирование тонких поперечных слоев вихря на различных расстояниях от водной поверхности, высвеченных с помощью «светового ножа». Использование обтюратора, установленного перед объективом, позволяет получить на фотографиях треки частиц в виде ряда штрихов, длина которых определяется частотой вращения обтюратора и значением скорости движения частиц в данной точке вихревой системы. Треки частиц видны на рис. 3. Обработка фотографий на стереокомпараторе позволяет получить радиальные профили тангенциальной и радиальной составляющих поля скорости воздушного потока на различных расстояниях от подстилающей водной поверхности.

Обработка первых полученных фотографий свидетельствует, что радиальные профили тангенциальной составляющей скорости в созданной модели качественно подобны аналогичным профилям в реальных ураганах.

Следует отметить, что качественное подобие полей температуры и влажности, а также радиальных профилей тангенциальной компоненты скорости в реальных ураганах и в лабораторной модели атмосферного вихря было получено авторами ранее на модели, где динамика вихревой системы задавалась механически путем вращения вертушки, расположенной в верхней части установки [2]. При этом воздушный вихрь мог быть сформирован и в случае холодной подстилающей поверхности.

Особенностью же вихревой структуры, описанной в настоящей работе, является то, что сила Архимеда определяет формирование динамики вихревой системы: единственным источником энергии в созданной модели вихря является теплая водная подстилающая поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Fitzjarrald D. E. A laboratory simulation of convective vortices.— J. Am. Sci., 1973, 30, N 5, p. 894—902. [2] Анисимова Е. П., Гусев А. М., Сперанская А. А., Шандин В. С. Физическая модель атмосферного концентрированного вихря.— В кн.: XIV Тихоокеанский научный конгресс (тезисы докладов). М., 1979, с. 1.

Поступила в редакцию
22.09.80

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 3

---

УДК 621.396.963.31

## МОДУЛЯТОР СВЕТА ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА НА КРИСТАЛЛЕ GaAs С ЧАСТОТОЙ МОДУЛЯЦИИ 480 МГц

**М. И. Зусман, Е. Р. Мустель**

*(кафедра физики колебаний)*

В связи с возросшим вниманием к инфракрасному диапазону несомненный интерес представляет исследование СВЧ-модулятора лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 10{,}6$ мкм. При частоте модуля-

ции $f_м$, для которой за время распространения света $t_{св}$ вдоль электрооптической среды фаза СВЧ-модулирующего поля не успевает измениться ($t_{св} \ll \pi/f_м$), удобно применить резонаторный модулятор с емкостным зазором, заполненным электрооптическим кристаллом. Такие модуляторы характеризуются сравнительно узкой полосой частот, однако они могут найти широкое применение в дальнометрии и при исследовании фотоприемников, где широкая полоса не требуется [1].

В исследованном модуляторе резонаторного типа, рассчитанном на частоту 440 МГц, был использован кристалл GaAs с известной технологией выращивания и высоким электрооптическим эффектом. С целью уменьшения модулирующей мощности модуляция осуществлялась с использованием поперечного электрооптического эффекта. В модуляторе был применен кристалл длиной 8 см и сечением $0{,}3 \times 0{,}3$ см$^2$. Свет пропускался вдоль наибольшего размера, совпадающего с кристаллографической осью [1$\bar{1}$0], модулирующее напряжение было приложено в направлении [110]. Так как длина кристалла велика, то естественно геометрию резонатора выбрать в виде радиальной линии ($b - a < h$), нагруженной на сосредоточенную емкость [2]. Принципиальная схема такого модулятора представлена на рисунке. Емкостной зазор образован медным электродом и верхней крышкой резонатора. Медный электрод с размерами $10 \times 0{,}3 \times 0{,}3$ см$^3$ укреплен на внутреннем проводнике коаксиала. Зазор полностью заполнен кристаллом GaAs.

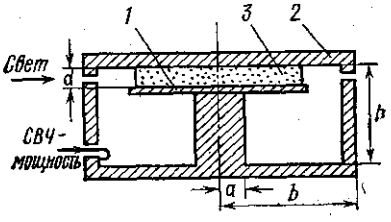


Схема модулятора света: *1* — медный электрод; *2* — верхняя крышка резонатора; *3* — электрооптический кристалл

В предположении однородного электрического поля в емкостном зазоре и выбранных параметрах тороидального резонатора $d=0{,}3$ см, $a=0{,}7$ см, $b=7$ см (рисунок) для частоты $f_м=440$ МГц была рассчитана высота резонатора $h=2{,}4$ см [2]. В боковых стенках резонатора просверлены отверстия для прохождения светового луча. Связь резонатора с возбуждающим генератором осуществлялась с помощью петли.

Экспериментальное исследование СВЧ-резонатора дало значение резонансной частоты $f_{рез}=480$ МГц. Добротность системы при согласовании модулятора с генератором модулирующего напряжения составила $Q_{экс}=120$. Отсюда $\operatorname{tg}\delta=0{,}008$, ширина полосы резонатора 3,8 МГц. На резонансной частоте КСВ равнялся 2,6.

В качестве источника света использовался $CO_2$-лазер с длиной волны излучения $\lambda=10{,}6$ мкм и выходной мощностью около 1 Вт. Направление поляризации падающего света совпадало с [001].

Система регистрации состояла из фотосопротивления Ge:Au, охлажденного до температуры жидкого азота, и осциллографа. Так как фотосопротивление не разрешало столь высоких частот, СВЧ-модуляция осуществлялась в импульсном режиме. В этом случае фотосопротивление работало в качестве детектора огибающей модулирующих импульсов. Частота следования модулирующих импульсов составляла 6 кГц.

Экспериментально наблюдалась СВЧ-модуляция лазерного излучения при импульсной мощности 16 Вт, рассеиваемой в кристалле

GaAs. При этом эффективность модулятора $\eta=3{,}8\%$, что в пересчете на линейный участок модуляционной характеристики соответствует глубине модуляции, равной 37%. Расчетное значение эффективности модулятора при $P=16$ Вт и $Q_{эксп}=120$ дает величину $\eta=3{,}6\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. М., 1970, 295 с. [2] Коваленко В. Ф. Введение в электронику сверхвысоких частот. М., 1955, 344 с.

Поступила в редакцию
15.10.80

УДК 621.384.633.5

## УСКОРЕНИЕ В КЛАССИЧЕСКОМ ЦИКЛОТРОНЕ ЭЛЕКТРОНОВ

**Л. А. Саркисян**

*(НИИЯФ)*

Общеизвестно, что в классическом циклотроне (постоянное во времени азимутально-симметричное магнитное поле, спадающее с ростом радиуса) невозможно ускорить электроны до релятивистских энергий ввиду неизохронности магнитного поля. Ускорение электронов в циклотронном режиме стало возможным в изохронном циклотроне с азимутальной или пространственной вариацией магнитного поля. В созданных до сих пор электронных циклотронах, предназначенных для моделирования ускорения протонов до энергии покоя $E_0$ (частота радиальных бетатронных колебаний $Q_r\leqslant 2$), электроны были ускорены до энергии $\sim 410$—445 кэВ при среднем токе пучка до 1,5 мА [1, 2]. Лишь в работе [3] был рассмотрен кольцевой электронный циклотрон до энергии 2 МэВ (с прохождением целых резонансов $Q_r=2$, 3, 4 и 5) при среднем токе пучка $\sim 10$—50 мА. Следует подчеркнуть, что ввиду малости массы электрона по отношению к массе ионов напряженность магнитного поля в центре $H_0$ электронных циклотронов составляла 10—40 Э. В классических ионных циклотронах $H_0$ изменяется от $\sim 5$ до 16 кЭ.

Для ускорения электронов в циклических ускорителях до энергии в несколько десятков мегаэлектронвольт используют бататроны и микротроны [4]. В микротроне электроны движутся в постоянном во времени и практически однородном вдоль радиуса магнитном поле при уровне поля $\sim 1000$—3000 Э. Допуск на поле $N\sim N^{-2}$, где $N$ — число орбит. Как и в циклотроне, ускорение частиц происходит под действием переменного электрического поля постоянной частоты. Используемый диапазон высоких частот в микротронах равен $\sim 3000$—6000 МГц, в то время как в циклотронах он равен $\sim 3$—25 МГц. Эти отличия привели к различным режимам ускорения и отсюда к различной конструкции ускорителей. В циклотронах из-за высокого уровня $H_0$ используют электромагниты Ш-образной формы. Максимальный диаметр полюсов классического циклотрона равен 3,1 м, вес электромагнита $\sim 2000$ т. В микротронах из-за низкого уровня поля электромагниты более компактны. Максимальный диаметр полюсов равен 2 м, вес — 20 т. Ускорение ионов в циклотроне происходит в камере при рабочем вакууме $\sim 2$—$5\cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Движение ионов начинается из центра (где установлен ионный источник) по раскручивающейся спирали за счет электрического поля одного или двух дуантов (напряжение на дуанте до 100 кВ). Вывод ионов из камеры осуществлен с помощью