

Про виникнення пружних коливань у біологічних середовищах під впливом випромінення рубінового лазера

О. П. Городецький, І. Р. Євдокимов, В. М. Колесник, Г. М. Шевко

Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

Випромінення оптичних квантових генераторів (лазерів) відрізняються монохроматичністю, часовою і просторовою когерентністю. Рубінові квантові генератори з вмістом 0,05% Cr_2O_3 у кристалі випромінюють електромагнітну енергію з довжиною хвилі 6943 Å і енергією кванта $2,60 \cdot 10^{-12}$ ерг (1,70 еВ).

Взаємодіючи з біологічними об'єктами, випромінення імпульсно-го оптичного квантового генератора здійснює тепловий вплив, механічний удар світлового тиску, імпульс віддачі парів, що вилітають, та електромагнітний вплив, зумовлений великими щільностями енергії. Крім того, виявилось, що такі випромінення лазера викликають в опромінюваному об'єкті пружні коливання. Такого роду коливання були зареєстровані з допомогою п'єзоелектричного датчика на потиличній кістці кролика [1]. Промінь рубінового лазера спрямовували крізь зіницю на очне дно піддослідної тварини. Кожний імпульс випромінення викликав пакет пружних хвиль.

Опромінення лобної частини голови мишей імпульсами лазера тривалістю 1 мсек, потужністю 100 дж призводило до загибелі 50% тварин [3]. Виявлені внутрічерепні крововиливи різної інтенсивності і локалізації, а також гістологічні зміни шкіри і мозкової речовини. У мишей, які вижили, спостерігались порушення сенсорних функцій. Наявність значних змін у більш глибоких шарах дослідники пояснюють вторинним впливом так званої «ударної хвилі» механічного або акустичного характеру. Виявлені ураження тканин, на думку авторів, навряд чи стали причиною загибелі тварин. Ці явища імовірно пов'язані з прямим впливом випромінення на нервові волокна і клітини.

Пружні коливання, викликані імпульсним випроміненням лазера, вивчали в дослідях *in vitro* на мозковій тканині [4]. Виявилось, що в тканині мозку вони поширюються на значну глибину без помітного згасання.

Ми вивчали пружні хвилі, що виникають під впливом імпульсних випромінень рубінового лазера у різних середовищах. Для проведення експериментів була розроблена спеціальна установка, зображена на рис. 1. Користувалися лазером з енергією випромінення в імпульсі 1 дж, тривалістю імпульсу 5 мсек. Діаметр рубінового стрижня 6,5 мм, довжина 80 мм.

Пружні коливання, що виникали в об'єкті, реєструвались п'єзоелектричним датчиком (8). Сигнал, посилений попереднім (9) і основним (10) підсилювачами, подавали на один з каналів двопроменевого осцилографа (7). Водночас з допомогою фотопомножувача (5) реєстру-

вали характер випромінення лазера. Освітлення накачки відфільтровували з допомогою світлофільтра (3) і обрізували апертурною діафрагмою (4). Всю систему екранували від впливу зовнішніх електромагнітних полів і захищали від сторонніх вібрацій.

Попередні експерименти проводили на твердих і рідких речовинах. Пружні коливання виникали в алюмінії, залізі, пігментованому і непігментованому склі, у рідинах різного забарвлення та інших речови-

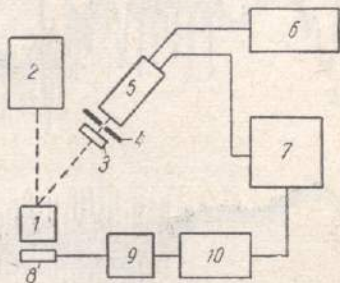


Рис. 1. Блок-схема установки для вивчення пружних коливань, викликаних випроміненням оптичних квантових генераторів у різних середовищах.

1 — досліджуваний об'єкт, 2 — оптичний квантовий генератор; 3 — світлофільтр, 4 — діафрагма, 5 — фотопомножувач, 6 — високовольтний блок живлення, 7 — двопроменевий осцилограф, 8 — п'єзоелектричний датчик, 9 і 10 — підсилювачі.

нах. У цих об'єктах вони виникають під впливом випромінень різної щільності енергії і добре поширюються, запізнюючись при цьому щодо імпульсу оптичного квантового генератора на час, необхідний для поширення пружної хвилі в об'єкті (рис. 2). Їх амплітуда збільшується зі збільшенням щільності енергії. Частота основної складової пружних коливань у всіх досліджуваних об'єктах становила близько 50 кгц. Зміна щільності і структури речовини не впливала в умовах наших експериментів на частоту основної складової цих коливань, а характеризувала лише їх амплітуду.

Незалежність частоти основної складової від властивостей опромінюваного матеріалу дозволяє зробити припущення, що ця частота визначається спектральним складом імпульсу оптичного квантового генератора. При зіставленні осцилограм імпульсу рубінового лазера (рис. 3, а) та викликаного ним імпульсу пружних коливань (рис. 3, б) видно, що від частоти слідування піків інтенсивності залежить їх основна складова. Максимум інтенсивності відповідає збільшенню амплітуди коливань.

Виникнення пружних коливань у біологічних об'єктах під впливом випромінення імпульсного рубінового лазера вивчали на шкірі, м'язах, печінці, селезінці, серці, нирках і легенях білих щурів і кішок. В усіх опромінених тканинах, крім легень, виникали пружні коливання. Вони добре поширювались навіть у тканинах значної товщини. Так, при зміні товщини тканини печінки від 12 до 45 мм не було виявлено змін амплітуди коливань.

Амплітуда пружних коливань, видимо, визначається коефіцієнтом поглинання електромагнітних коливань червоного діапазона тканиною. Так, мінімальна амплітуда виникає на білій шкірі та у м'язовій тканині. У кілька раз більші імпульси спостерігались у тканинах печінки, селезінки, нирок і серця, які мають високий коефіцієнт поглинання щодо шкіри і м'язів. Якщо збільшити коефіцієнт поглинання поверхні шкіри або м'язової тканини (з допомогою барвника або накладання тонкого шару іншої тканини з високим коефіцієнтом поглинання, забезпечуючи при цьому надійний акустичний контакт), виникають пружні коливання значно більшої амплітуди, які поширюються без помітного загасання. На відміну від згаданих у легеневій тканині, такі коливання не виявляються навіть при підвищенні коефіцієнта погли-

нання поверхні також і в шарах товщиною 5—6 мм. Видимо, наявність у тканині легень багатьох порожнин, заповнених повітрям, перешкоджає поширенню пружних хвиль. Так само, як і на модельних об'єктах, пружні коливання, що виникають у тканинах тваринного ор-



Рис. 2. Осцилограми випромінення рубінового лазера (а) та викликані ним у м'язовій тканині пружні коливання (б).

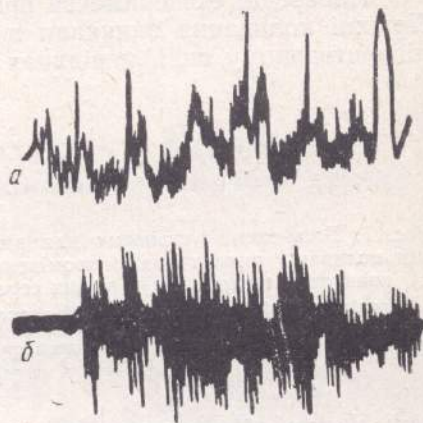


Рис. 3. Послідовність піків інтенсивності імпульсу лазера (а) та її відповідність основній складовій частоті пружних коливань (б).

ганізму під впливом випромінення імпульсного оптичного квантового генератора, характеризуються основною складовою близько 50 кГц.

В механізмі біологічної дії випромінень оптичних квантових генераторів, крім теплового і електромагнітного, значну роль можуть віді-



Рис. 4. Пружні коливання, викликані випроміненням імпульсного рубінового лазера в алюмінієвій пластинці:

а — поверхня вкрита BaSO₄, б — чиста поверхня.

лазера в біологічному об'єкті, пружні хвилі можуть проникати на значну глибину і, можливо, уражувати внутрішні органи. Механізм виникнення пружних коливань ще не з'ясований. Припускається кілька можливих джерел їх виникнення: різка зміна температури на поверхні тіла; ефект електрострикції, пов'язаний з діелектричною постійною середовища і спадаючим електрополем; тиск випромінення, пов'язаний з імпульсною характеристикою випромінення лазера; різні інші механізми, що витікають з квантових уявлень випромінення лазера (взаємодія фотонів з молекулами).

Припущення про те, що джерелом пружних коливань є світловий тиск, наші досліди не підтверджують. За формулою, імпульс світлового тиску визначається коефіцієнтом відбиття. Імпульс тиску, що виникає на поверхні, яка повністю відбиває, вдвоє перевищує за величиною

гравати також і механічні явища. Великі щільності енергії зумовлюють імпульс світлового тиску, який досягає при мікроскопічному фокусуванні значної величини. Більш різко виражений руйнівний вплив викликається ударним імпульсом віддачі парів, що вилітають, і емісія здійснюється як вибух. Таке явище було відзначене нами при опроміненні лазером еритроцитів.

Викликані випроміненням

імпи
міні
не
пла
енер
них
про
впл
мен
ефе

кли

нан

біно

1. А
1 а
2. В
3. F
4. M

О в

рубін
ванс
біоло
льх н

ника
чком

са —

оптич
плиту
об'єк

вого

імпульс тиску, що виникає на поверхні, яка повністю поглинає. В алюмінієвій пластинці, вкритій BaSO_4 , яка відбиває близько 85% енергії, не вдалося зареєструвати пружних коливань. В ділянці цієї самої пластинки, не покритій BaSO_4 , і, отже, яка відбиває значно менше енергії, виникали пружні коливання (рис. 4). Отже, амплітуда пружних коливань збільшується з підвищенням коефіцієнта поглинання випромінювання. Інші гадані механізми виникнення пружних коливань під впливом випромінювання імпульсного лазера ще потребують експериментальної перевірки. Найвірогіднішими механізмами ми вважаємо ефекти електрострикції та взаємодії фотонів з молекулами.

Висновки

1. Випромінювання імпульсного оптичного квантового генератора викликає в речовині пружні коливання.
2. Амплітуда пружних коливань визначається коефіцієнтом поглинання поверхні досліджуваного об'єкта.
3. Пружні коливання, що виникають під впливом імпульсного рубінового лазера, добре поширюються в тканинах тваринного організму.

Література

1. Amar L., Bruma M., Perdriel C., Velghe M., Desvignes P., Lebanc M.—C. R. Acad. Sci., 1964, 259, 20, 3653.
2. Bruma M., Velghe M., Amar L.—C. R. Acad. Sci., 1965, 260, 5, 1357.
3. Fine S., Klein E.—Life Sci., 1964, 3, 199.
4. Marchal M., Marchal T.—Z. angew. Math. und Phys., 1965, 16, 1, 181.

Надійшла до редакції
3.VI 1966 р.

О возникновении упругих колебаний в биологических средах при воздействии на них излучения рубинового лазера

[А. А. Городецкий], И. Р. Евдокимов, В. М. Колесник, Г. Н. Шевко

Институт физиологии им. А. А. Богомольца АН УССР, Киев

Резюме

Изучались упругие волны, возникающие под действием импульсных излучений рубинового лазера в твердых и жидких веществах (алюминий, железо, пигментированное и непигментированное стекло, в жидкостях различной окраски), а также в биологических объектах (кожа, мышцы, печень, селезенка, сердце, почки, легкие белых крыс и кошек).

Для проведения экспериментов была разработана специальная установка. Возникавшие в объектах упругие колебания регистрировались пьезоэлектрическим датчиком.

Использовался лазер с энергией в импульсе 1 Дж, продолжительностью импульса — 5 мсек. Диаметр рубинового стержня 6,5 мм, длина 80 мм.

В процессе проведенных исследований установлено, что излучение импульсного оптического квантового генератора вызывает в различных средах упругие волны, амплитуда которых определяется коэффициентом поглощения поверхности исследуемого объекта.

Упругие колебания, возникающие под действием излучения импульсного рубинового лазера, хорошо распространяются в тканях животного организма.