

Laser-generated stress waves in liquids

Doctoral Thesis

Author(s):

Sigrist, Markus Werner

Publication date:

1977

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000113861>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 5985

LASER-GENERATED STRESS WAVES IN LIQUIDS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

M A R K U S W. S I G R I S T

Dipl. Phys. ETHZ

born September 6, 1948

citizen of Rafz (Canton Zurich)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. F.K. Kneubühl

Prof. Dr. H.P. Weber (University of Berne)

1 9 7 7

ABSTRACT

The features of the laser-induced stress generation in liquids by the vaporization process and the thermoelastic effect are presented.

In the first part, the devices used for the investigations are described. Subsequently, the experimental results obtained for water, n-heptane and carbon tetrachloride are discussed. For the first time, the individual contributions of the vaporization and of the thermoelastic effect on the stress generation are outlined in detail. Most important for the phenomenon of generation of the stress waves is the amount of the absorbed laser energy density in comparison to the vaporization threshold of the liquid. Furthermore, the influence of the laser pulse characteristics is emphasized for the example of tunable high-frequency acoustic waves. These waves are generated by the impact of a self mode-locked laser pulse. The phenomenon of pressure saturation with increasing laser peak power, observed in CCl_4 , could be explained by a reduced absorptivity at higher laser power.

Since existing theories on the thermoelastic generation of acoustic waves do not yield satisfactory agreement with our experimental data, we propose a new spherical model, which is presented in the second part. In this model the transient heating caused by the laser impact, is represented by the three-dimensional heat pole. An analytical solution of the thermoelastic pressure wave is derived. Its good agreement with the experiment is discussed.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit werden die Merkmale der Erzeugung von Stosswellen in Flüssigkeiten durch Lasereinschuss diskutiert, wobei das Hauptgewicht auf den Verdampfungsprozess und den thermoelastischen Effekt gelegt wird. Im ersten Teil werden die für die Untersuchungen benutzten Geräte beschrieben. Anschliessend folgt eine Diskussion der experimentellen Resultate für Wasser, n-Heptan und Tetrachlorkohlenstoff. Die individuellen Beiträge der Verdampfung und des thermoelastischen Effektes zur Erzeugung von Stosswellen werden dabei zum ersten Mal im Detail veranschaulicht. Als wichtigster Parameter für die Stosswellenerzeugung erweist sich der Betrag der absorbierten Laserenergiedichte im Vergleich zur Verdampfungsschwelle der Flüssigkeit. Im weiteren wird der Einfluss der zeitlichen Struktur des Laserimpulses am Beispiel hochfrequenter Schallwellen mit abstimmbarer Frequenz hervorgehoben. Diese Wellen werden durch den Einschuss mit einem selbst modengekoppelten Laserimpuls erzeugt. Das Phänomen der Drucksättigung mit steigender Laserleistung, das in CCl_4 beobachtet wurde, konnte mit einer reduzierten Absorption bei höherer Laserleistung erklärt werden.

Da bestehende Theorien über die thermoelastische Erzeugung von Schallwellen keine befriedigende Uebereinstimmung mit unseren experimentellen Daten ergeben, schlagen wir im zweiten Teil ein neues, sphärisches Modell vor. In diesem Modell wird die schlagartige Aufheizung, wie sie durch den Lasereinschuss erzeugt wird, durch den dreidimensionalen Wärmepol dargestellt. Eine analytische Lösung für die thermoelastische Druckwelle wird hergeleitet. Die gute Uebereinstimmung mit dem Experiment wird abschliessend diskutiert.