

Atomowa dyskoteka

Gazowy pęcherzyk uwięziony w cieczy może błyskać, niby reflektory na dyskotece, w rytmie skierowanej nań dźwiękowej fali. Po dziesięciu latach gorączkowych wysiłków udało się w końcu wyjaśnić mechanizm zagadkowej przemiany dźwięku w światło. Rozważane są już możliwości praktycznego wykorzystania tego zdumiewającego zjawiska. Być może uda się dzięki niemu zapanować nad reakcjami fuzji termojądrowej.

Stanisław Mrówczyński

Fizykom łatwo się pogodzić z faktem, że nie bardzo rozumieją, co dzieje się z przeogromnymi galaktykami czy niewyobrażalnie małymi kwarkami. Wielu natomiast traci spokojny sen, a niektórzy i zdrowy rozsądek, gdy okazuje się, że zupełną zagadką jest zachowanie zwykłej wody wystawionej na działanie dźwięku (zjawisko sonoluminescencji).

W czasie I wojny światowej Niemcy zbudowali potężne generatory fal dźwiękowych, wierząc, że umożliwią one wykrywanie łodzi podwodnych. Później stosowano te urządzenia do badania wpływu dźwięku na zachodzące w wodzie reakcje chemiczne; chodziło o tzw. katalizę akustyczną. Rozchodzenie się dźwięku polega bowiem na rytmicznym zgęszczaniu i rozrzedzaniu się ośrodka, w tym wypadku wody, w którym fala dźwiękowa się rozprzestrzenia. Podczas owych eksperymentów zauważono, że pęcherzyki gazu poddane działaniu fali dźwiękowej emitują światło. Rok wcześniej, w 1933 r., podobnego odkrycia dokonali zupełnie przypadkowo dwaj Francuzi. Do pojemnika z wywoływany filmem wstawili źródło ultradźwięków (dźwięków tak wysokich, że niesłyszalnych dla ludzkiego ucha), aby przyspieszyć reakcje fotochemiczne. Cała wywołana klisza była pokryta jasnymi plamkami.

Odkrycie sonoluminescencji nie wywołało jednak od razu wielkiego zainteresowania. Nie było jasne, jakie czynniki odgrywają istotną rolę – chemiczne czy fizyczne. Sytuacja zmieniła się radykalnie, gdy w 1989 r. Felipe Gaitan wykonał całkiem proste, a więc i łatwiejsze do zinterpretowania doświadczenie, podczas którego śledził zachowanie pojedynczego bąbelka. Okazało się, że emitowane światło nie jest ciągle, lecz ma charakter króciutkich błysków, ściśle zsynchronizowanych z falą dźwiękową. Jeśli ta miała częstotliwość 20 tys. Hz, to obserwowano 20 tys. błysków na sekundę. Barwa światła wskazywała, że jego źródło ma temperaturę dochodzącą do 30 tys. stopni. Wyniki eksperymentu Gaitana były wprost szokujące. Wskazywały one, że mamy do czynienia z bezpośrednią zamianą dźwięku w światło, przy czym gęstość energii fali dźwiękowej zostaje powiększona w błyskającym bąbelku aż trylion razy. Mechanizm tej fantastycznie efektywnej konwersji jednej formy energii w drugą był całkowicie niezrozumiały, chociaż zachowanie się gazowego pęcherzyka w cieczy jest klasycznym zagadnieniem hydrodynamiki, analizowanym w niemal każdym podręczniku.

Nastąpił dziesięcioletni okres gorączkowych badań doświadczalnych i poszukiwań poprawnego modelu teoretycznego. Ustalono wiele faktów, które często zaciemniały jedynie obraz sonoluminescencji. Okazało się na przykład, że świecenie wzmacnia się, gdy wodę nasycić gazem szlachetnym takim jak argon lub neon. Proponowano nieraz zupełnie szalone wyjaśnienia tajemniczego zjawiska. W 1996 r. ukazał się w renomowanym czasopiśmie Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego artykuł, którego autorka dowodziła, że obserwowane światło jest efektem kwantowych fluktuacji próżni. Jednak z chaosu faktów i hipotez zaczęła powoli wyłaniać się zgodny z doświadczeniem i zdrowym rozsądkiem model sonoluminescencji. Ostatnio udało się go w pełni potwierdzić.

Jak już wspominałem, rozchodzenie się fali dźwiękowej prowadzi do powstawania chwilowych zagęszczeń i rozrzedzeń ośrodka. Gazowy pęcherzyk znalazłszy się w obszarze mniejszej gęstości puchnie, aby zacząć gwałtownie się kurczyć, kiedy gęstość otaczającej go wody znacznie wzrasta. Ustalono, że w jego wnętrzu rozwija się wtedy fala uderzeniowa podobna do tej towarzyszącej wybuchom. Gaz w pęcherzyku zostaje błyskawicznie sprężony i podgrzany. Gdy temperatura jest dostatecznie wysoka, zwykła para wodna zamienia się w plazmę, tworzoną przez oderwane od macierzystych atomów elektrony oraz jony – atomy częściowo pozbawione elektronów. W tym momencie pęcherzyk osiąga minimalny promień, wynoszący zaledwie jedną tysięczną milimetra, a gorąca plazma emituje światło. Później bąbelek znów się rozszerza, plazma z powrotem zamienia się w gaz, a kolejny cykl dźwiękowej fali spowoduje kurczenie się bąbelka i powtórzenie całego procesu.

Teraz, gdy zrozumiemo, co dzieje się w świecącym pęcherzyku, można myśleć o praktycznym wykorzystaniu niezwykłego zjawiska. Jeden pomysł, i to najatrakcyjniejszy z atrakcyjnych, sam się właściwie narzuca. Jeśli zwykłą wodę zamienić na tzw. ciężką, w której zamiast wodoru występuje deuter i tryt, można się spodziewać, że w dostatecznie gorącej plazmie pęcherzyka, jądra deuteru i trytu zaczną łączyć się w hel, uwalniając mnóstwo energii. Takie reakcje zachodzą na Słońcu dostarczając nam życiodajnego ciepła.

Na Ziemi umiemy doprowadzić jedynie do wybuchowego przebiegu fuzji termojądrowej podczas eksplozji bomb wodorowych. Podejmowane już od pół wieku próby przeprowadzenia kontrolowanej fuzji

i zbudowania reaktora termojądrowego wciąż nie zakończyły się sukcesem. Sonoluminescencja stwarza zupełnie nowe możliwości. Fizycy jednak są niezwykle ostrożni w wypowiedaniu się na ten temat. Dobrze pamiętają skandal z zimną fuzją, która również miała nam zapewnić nieograniczone pokłady niemal darmowej energii.

Autor jest fizykiem, pracuje w Instytucie Problemów Jądrowych w Warszawie oraz w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Kielcach.