

Przepływ płynu może się odbywać w warunkach poddźwiękowych, gdy prędkość płynu jest mniejsza niż lokalna prędkość propagacji fali akustycznej, okołodźwiękowych, gdy prędkość ta jest nieco mniejsza lub nieco większa od prędkości dźwięku lub w warunkach naddźwiękowych, gdy prędkość płynu jest znacząco większa od prędkości dźwięku. Prędkość dźwięku w płynie zależy od podatności zmiany jego gęstości w zależności od zmian ciśnienia. W cieczech, czyli płynach, w których gęstość zmienia się bardzo mało przy zmianach ciśnienia, fala akustyczna propaguje się z ogromnymi prędkościami, w praktyce wszystkie przepływy cieczy, które spotykamy w przyrodzie lub technice to przepływy poddźwiękowe. Zupełnie inaczej jest w przypadku przepływów gazu, gdzie w wielu zastosowaniach technicznych występują przepływy okołoi naddźwiękowe. Przepływy takie spotykamy przede wszystkim w lotnictwie. Wykorzystywane obecnie samoloty pasażerskie poruszają się z prędkością poddźwiękową. Naddźwiękowymi samolotem pasażerskimi były Concorde i Tupolev Tu-144, obecnie wycofane z eksploatacji. Samoloty myśliwskie, pociski rakietowe, wahadłowce wchodzące w atmosferę ziemską poruszają się z prędkościami naddźwiękowymi. Naddźwiękowy przepływ gazu może pojawić się nie tylko w przepływach zewnętrznych, takich jak opływ kadłuba lub skrzydła samolotu, ale również wewnątrz kanałów przepływowych. Przykładem mogą tu służyć Scramjet (*Supersonic Combustion Ramjet*) – silnik strumieniowy z naddźwiękową komorą spalania czy ostatnie stopnie turbin parowych. Oczywiście jest, że gruntowna wiedza dotycząca fizyki przepływów naddźwiękowych jest bardzo istotna w projektowaniu wielu maszyn i przyczynia się do poprawy ich sprawności, bezpieczeństwa oraz własności użytkowych. Przepływy poddźwiękowe i naddźwiękowe różnią się w sposób zasadniczy. Najlepszym przykładem jest zachowanie się strumienia gazu przepływającego w dyszy de Laval, składającej się z części zbieżnej, w której zmniejsza się pole poprzeczne przekroju w kierunku przepływu, po której następuje część rozbieżna. Jeżeli strumień gazu wpływa do dyszy de Laval z prędkością poddźwiękową, to zgodnie z zasadą zachowania masy, w części zbieżnej nastąpi przyspieszenie strumienia. Jeśli prędkość strumienia gazu jest mniejsza niż prędkość dźwięku w najwęższym miejscu dyszy, w jej gardzieli, to w części rozbieżnej nastąpi spowolnienie strumienia, któremu towarzyszy wzrost ciśnienia. Obraz przepływu zmienia się diametralnie jeśli prędkość gazu w gardzieli jest równa prędkości dźwięku, wówczas w części rozbieżnej następuje dalsze przyspieszenie strumienia gazu, związane ze spadkiem ciśnienia. Jeśli ciśnienie w części rozbieżnej spadnie poniżej ciśnienia otoczenia na wylocie dyszy, to w pewnym momencie następuje gwałtowne sprężenie gazu, zwane prostopadłą falą uderzeniową. W fali uderzeniowej podnosi się gwałtownie ciśnienie, gęstość i temperatura gazu, natomiast prędkość spada do wartości poddźwiękowej i w dalszej, rozbieżnej części dyszy następuje wyhamowanie strumienia i dalszy wzrost ciśnienia. Fala uderzeniowa jest efektem nałożenia się fal propagujących się przed falą uderzeniową z różnymi prędkościami, co w efekcie skutkuje bardzo gwałtownym skokiem ciśnienia na bardzo krótkiej drodze porównywalnej ze swobodną drogą pomiędzy zderzeniami molekuł w gazie. Posługując się drugą zasadą termodynamiki, zasadą wzrostu entropii, można udowodnić, że fala uderzeniowa może powstać jedynie w przepływach naddźwiękowych. Jeśli przepływ, w którym uformowała się fala uderzeniowa odbywa się w pobliżu ściany, to oczywiście jest, że fala ta nie może sięgnąć tej ściany, ponieważ na skutek lepkości gazu, jego prędkość na ścianie spada do zera. W pewnej odległości od ściany prędkość gazu przechodzi z wartości naddźwiękowej w poddźwiękową i fala uderzeniowa zanika. Zjawisko to nazywamy oddziaływaniem fali uderzeniowej z warstwą przyścienną. Oddziaływanie to ma bardzo złożony charakter, ze względu na gwałtowność zmian parametrów przepływu w fali uderzeniowej, ale również ze względu na złożoną fizykę przepływu turbulentnego w warstwie przyściennej, charakteryzującego się obecnością struktur wirowych o bardzo różnych rozmiarach. Ponadto, wzrost ciśnienia w fali uderzeniowej wywołuje najczęściej zjawisko oderwania warstwy przyściennej, w którym płyn przylegający do ściany zostaje nagle od niej odsunięty, co w efekcie powoduje powstanie przy ścianie przepływu zwrotnego, który nazywamy pęcherzem oderwania. Zjawiska te są od wielu lat przedmiotem intensywnych badań teoretycznych, eksperymentalnych oraz symulacji komputerowych w wielu światowych ośrodkach naukowych. Nie oznacza to jednak, że wszystkie pytania na temat interakcji fali uderzeniowej z warstwą przyścienną i pęcherzem oderwania znalazły już ostateczną odpowiedź. Stosunkowo niedawno zaobserwowano, że interakcja ta charakteryzuje się pewnymi niskoczęstotliwościowymi oscylacjami, które powodują znaczne przemieszczanie się fali uderzeniowej, pomimo ustalonego charakteru zarówno warunków wlotowych jak i wylotowych w dyszy. Źródło tych oscylacji tkwi zatem wewnątrz tego przepływu. Pośród badaczy tego zjawiska nie ma jak dotąd jednego stanowiska dotyczącego powodów tych oscylacji. Część z nich dowodzi, że fala uderzeniowa oscyluje w odpowiedzi na struktury wirowe unoszone w warstwie przyściennej przed falą uderzeniową. Druga grupa twierdzi, że wręcz przeciwnie, oscylacje te wynikają z okresowego wzrostu i kurczenia się pęcherza oderwania za falą uderzeniową, oddziałując w górę strumienia. Trzecia natomiast uważa, że obie przyczyny współistnieją, nie dając jednak odpowiedzi, czy są od siebie niezależne, czy w jakimś stopniu sprzężone. Oczywiście jest, że zrozumienie mechanizmów wywołujących oscylacje fali uderzeniowej w interakcji z warstwą przyścienną pozwoli na zaproponowanie nowych metod sterowania tym zjawiskiem, albo jego stłumieniem albo wzmocnieniem, w zależności od zastosowań. Proponowany projekt badawczy podejmuje wyzwanie znalezienia odpowiedzi na powyższe pytania.