

Streszczenie rozprawy doktorskiej „O zagadnieniu masy quasi-lokalnej dla słabego pola grawitacyjnego”

(Tytuł ang. “On the problem of quasi-local mass in the weak field regime of gravity”)

Ze względu na geometryczną naturę szczególnej teorii względności Einsteina, niemożliwym jest określenie lokalnej gęstości energii pola grawitacyjnego. Istnieje co prawda ogólnie przyjęta definicja całkowitej energii izolowanego układu (zawierająca w sobie wkład od pola grawitacyjnego), ale jej zastosowanie wymaga spełnienia szeregu dość restrykcyjnych warunków. W poszukiwaniu sposobu na ominięcie tych ograniczeń, podejmowane są próby przypisania wartości energii do skończonego obszaru w czasoprzestrzeni (zdefiniowania tak zwanej masy „quasi-lokalnej”). Żadna z dotychczas zaproponowanych konstrukcji nie posiada jednak w pełni satysfakcjonujących własności.

W dysertacji opisane zostały ogólne trudności pojawiające się przy badaniu zagadnienia energii w ramach ogólnej teorii względności oraz stosowane w tym przypadku metody. Na początku krótko omówiono koncept całkowitej energii izolowanego grawitującego układu (masa ADM), gdyż stanowi on dobry punkt odniesienia przy dalszych, bardziej skomplikowanych rozważaniach. Przy okazji przedstawiony został szkic prostego dowodu dodatniości masy ADM, oparty na modyfikacji więzu skalarnego przy pomocy odpowiedniego cechowania.

Dalej następuje opis aparatu matematycznego stosowanego w próbach zdefiniowania masy quasi-lokalnej. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu warunków brzegowych, te bowiem zdają się pełnić kluczową rolę w całym procesie. Ich funkcja jest podwójna. Z jednej strony poprzez warunki brzegowe kontrolowana jest interakcja badanego obszaru z resztą czasoprzestrzeni. Z drugiej — mogą one posłużyć do określenia układu odniesienia, niezbędnego by w ogóle nadać sens pojęciu energii. Dla zobrazowania tych rozważań podane jest kilka przykładów proponowanych konstrukcji quasi-lokalnych mas.

W następnej kolejności omówiono zlinearyzowaną teorię grawitacji. W takim przybliżeniu ogólnej teorii względności zagadnienie energii zostało już dobrze zrozumiane i możliwe jest uzyskanie jawnego, kanonicznego wyrażenia na Hamiltonian, poprzez konstrukcję z formy symplektycznej. Prezentację tę upraszcza formalizm zredukowanych stopni swobody, w którego rozwijaniu autor brał udział.

W naturalny sposób oczekiwać można, że wyrażenie na quasi-lokalną masę w pełnej teorii grawitacji przybliżane będzie przez Hamiltonian zlinearyzowanej teorii. W szczególności, własność tę posiada globalna masa ADM. W końcowej części pracy zastosowano to kryterium do quasi-lokalnej masy Hawkinga. W ramach niedawnych wyników badań autorowi udało się wykazać, we współpracy z promotorami, że istotnie jest ona przybliżana przez wyrażenie energetyczne liniowej teorii, przy spełnieniu pewnego zestawu warunków. Część z nich interpretować można jako przybliżenie tzw. warunków „sfer sztywnych” — równań wyróżniających w ogólnej czasoprzestrzeni rodzinę topologicznych sfer o kształcie zbliżonym do okrągłych sfer w czasoprzestrzeni Minkowskiego.