

PLANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA: Simulação do movimento de um fluido clássico e relativístico num tubo de Sod

1 Resumo

O projeto visa preparar o aluno a atuar na área de física nuclear de alta energia com a aprendizagem de ferramentas computacionais (resolvendo equações diferenciais da mecânica dos fluidos numericamente) e aprofundamento de conceitos de física (mecânica dos fluidos, relatividade, termodinâmica, mecânica estatística, física das partículas).

2 Introdução

Para descrever a matéria criada em colisões nucleares de alta energia, o Brasil foi pioneiro no desenvolvimento da chamada hidrodinâmica evento-por-evento. Esta descrição virou padrão a partir de ~ 2010 . Para realizá-la, desde o início, usamos o método SPH.

O método de Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), foi inicialmente desenvolvido para estudos em astrofísica por Gingold and Monaghan [1] e Lucy [2] em 1977 (o artigo [3] por Monaghan faz uma revisão do método e suas aplicações astrofísicas). Basicamente neste método, o fluido é dividido em partículas. Uma quantidade (extensiva) A num ponto qualquer qualquer é obtida somando as contribuições das partículas em sua volta com um peso dependendo da sua distância relativa e dado por um kernel.

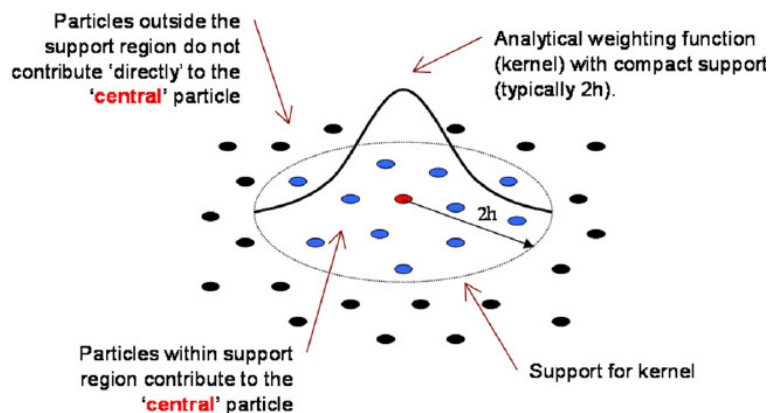


Figure 1: Figura original em S. Karekal et al. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 48 (2011)

Hoje o método SPH é considerado superior ao método com “grid” em muitas aplicações nas ciências e engenharia. Há uma comunidade de utilizadores do método, SPHERIC (ver link <http://spheric-sph.org/>), que agrega pesquisadores e utilizadores industriais do método e criou em 2015 o prêmio Monaghan. Há vários livros dedicados ao método e suas aplicações (G R Liu: Mesh Free Methods - Moving Beyond the finite element method, 712 pages, CRC Press, 2002, ISBN: 0849312388. G R Liu & M B Liu: Smoothed Particle Hydrodynamics: A Meshfree Particle Method, 472 pages, World Scientific, 2003, ISBN: 981-238-456-1. Li, Shaofan, Liu, Wing K: Meshfree Particle Methods, 502 pages, Springer, 2004, ISBN: 3-540-22256-1. D Violeau: Fluid Mechanics and the SPH Method - Theory and Applications, 616 pages, Oxford University Press, 2012, ISBN: 10: 0199655529). O método se generalizou a ponto de ser usado até em jogos video:

<https://software.intel.com/en-us/articles/fluid-simulation-for-video-games-part-1>
http://games.soc.napier.ac.uk/study/pba_practicals/Practical%2008%20-%20Smoothed%20Particle%20Hydrodynamics.pdf.

3 Objetivo e Resultados esperados

O objetivo deste projeto é centrado na aprendizagem do método SPH mas vai além, ele permitirá que um aluno adquira conhecimentos novos de física (mecânica dos fluidos, relatividade, termodinâmica, mecânica estatística, física das partículas) bem como desenvolva habilidades computacionais (c++, Mathematica, métodos numéricos).

4 Metodologia e Cronograma

Estou organizando desde 2016, um grupo de estudo do método SPH na mecânica dos fluidos . Primeiro consideramos problemas de mecânica dos fluidos clássica que tem solução exata e que podem ser resolvidos com método SPH. Usamos a solução exata para testar a precisão da implementação SPH. Estudamos deste modo modelos de brinquedo para estrelas [4-7] e escoamento de Poiseuille [8,9]. Já cumprimos esta etapa com sucesso. Em seguida estudamos problemas de mecânica relativística dos fluidos perfeitos. Os alunos desenvolveram códigos para resolver as equações diferenciais da mecânica dos fluidos em 1+1 dimensões, estudaram soluções exatas ou semi-exatas (Modelo de Landau [10-12] e Modelo de Bjorken [13] sem/com viscosidade e sem/com difusão bariónica) e verificaram que seus códigos podiam reproduzi-las.

Para este plano de iniciação científica, planejamos o estudo de um problema que tradicionalmente serve de teste (benchmark) para programas de mecânica dos fluidos em 3+1 dimensões tal como aquele que está sendo desenvolvido em nosso grupo. Este é o problema do tubo de Sod [14,15].

O cronograma previsto é o seguinte:

- **1a Etapa: caso clássico**

- Estudar a solução clássica do tubo de choque e escrever um programa com o método SPH para resolvê-lo.

- **2a Etapa: caso relativístico**

- Estudar a solução relativística do tubo de choque e escrever um programa com o método SPH para resolvê-lo.

- **3a Etapa: otimização**

- Testar diferentes métodos para tratar corretamente as partes diluídas do fluido numericamente (smoothing length variavel, divisão de partículas). Tentar melhorar o código para rodar mais rápido.

O aluno vem do curso de Ciencias Moleculares e está bem preparado para este projeto. Ele está fazendo iniciação científica comigo. Recentemente ele aprendeu a resolver o problema de onda simples clássico e relativístico, levando à publicação [16].

5 Referências

- [1] R. A. Gingold and J. J. Monaghan, MNRAS 181 (1977) 375
- [2] L. B. Lucy, Astron. J. 82 (1977) 1013
- [3] J. J. Monaghan Annu. Rev. Astron. Astrophys. 30 (1992) 543
- [4] L. Braune and T. Lewiner Dept. Math, PUC-Rio “ An initiation to SPH” (2009).
- [5] P. Mocz “Smoothed Particle Hydrodynamics: Theory, Implementation and Application to Toy Stars” (2011).
- [6] J. J. Monaghan and D. J. Price MNRAS 350 (2004) 1449.
- [7] J. J. Monaghan and D. J. Price MNRAS 365 (2006) 991.
- [8] H. Takeda, S.M. Miyama and M. Sekiya Prog. Theor. Phys. 92 (1994) 939.
- [9] J.P. Morris, P.J. Fox and Y. Zhu J. Comput. Phys. 136 (1997) 214.
- [10] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, “Fluid Mechanics” Pergamon Press, 2nd ed.
- [11] C.-Y.Wong et al., Phys. Rev. C 90 (2014) 064907 [arXiv:1408.3343].
- [12] S. Z. Belenkij and L. D. Landau, in Collected Papers of L. D. Landau , Edited by D. Ter Haar, Gordon and Breach, New York, 1965.
- [13] J.D. Bjorken: Phys. Rev. D 27 (1983) 140.
- [14] D. J. Price J. Comput. Phys. (2012) 759
- [15] L. Du and U. Heinz Comput.Phys.Commun. 251 (2020) 107090
- [16] J V O Caetano, L S Nowacki, V S França, R Hirayama, K P Pala, J O Sola, F Grassi “Classical and relativistic simple wave problems solved with Smoothed Particle Hydrodynamics”, submited ao XLIV Brazilian Workshop Nuclear Physics 2021, arXiv:2204.06605