

SÓLITONS: ONDAS-PARTÍCULAS DO UNIVERSO NÃO LINEAR

Paulo Liebott
Departamento de Física
Universidade Federal de Santa Catarina

Sérgio Martins Filho
Departamento de Física
Universidade Federal de Santa Catarina



Resumo

Os conceitos de energia, momento e estabilidade são normalmente associados às partículas. Já para as ondas, apesar de também possuírem energia e momento, estas grandezas, em geral, se dissipam no meio, levando ao desaparecimento da mesma. Existem alguns tipos de ondas, no entanto, que se propagam com energia e momento bem definidos e mantendo-se estável, mesmo após uma colisão com outras ondas semelhantes. Elas foram inicialmente chamadas de ondas solitárias, ou simplesmente sólitons e apresentam características de partículas. Esses sólitons aparecem em teorias não lineares, sendo previstos ou verificados experimentalmente em hidrodinâmica, matéria condensada, teorias de campos, astrofísica e cosmologia, ótica e biofísica. Neste trabalho apresentamos uma introdução aos sólitons, incluindo a fundamentação matemática envolvida, como o conceito de topologia, e como os sólitons em teorias de campos podem ser aplicados em problemas da física nuclear e de partículas.

Introdução

Em geral, ondas não são objetos duradouros e isso possui duas razões. Uma delas é a dispersão, ou seja, a tendência da onda de se espalhar e alterar sua forma, e a outra é a quebra da onda devido à efeitos não lineares. Sistemas lineares são descritos por equações lineares, como por exemplo, $y = A + Bx$. O mesmo não acontece com sistemas não lineares. Hoje sabemos que o Universo é bem mais não linear do que linear.

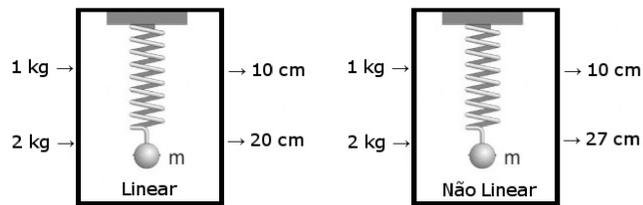


Figura 1: Em sistemas lineares, a alteração de grandezas variáveis altera os resultados de maneira proporcional. O mesmo não ocorre em sistemas não lineares.

Em ondas na água, a não linearidade se manifesta como diferenças de velocidades entre as partes mais altas, mais velozes, e as mais baixas, mais lentas, da onda. Isso faz com que a onda acabe se quebrando. Em certos sistemas, um efeito cancela o outro, resultando em uma onda estável, ou seja, que se propaga sem alterar sua forma. Um sóliton.

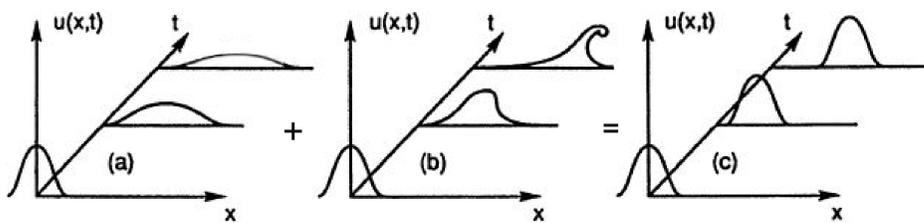


Figura 2: A dispersão e o efeito da não linearidade cancelam-se mutuamente resultando em um sóliton.

Os sólitons possuem características de partículas, por exemplo, são estáveis, possuem energia e momento e colidem ou interagem entre si sem que isso leve à dissipações.

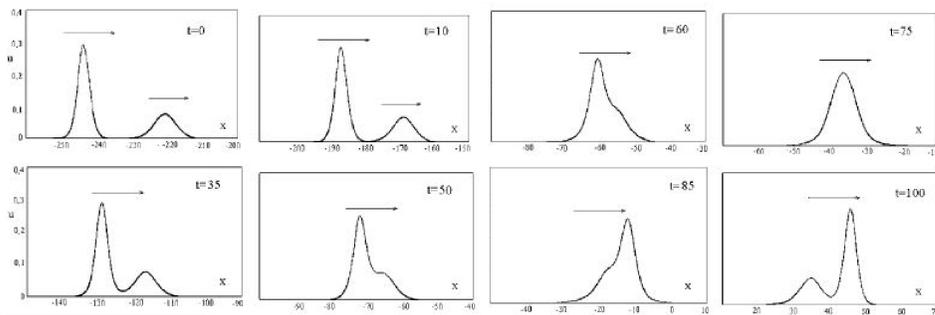


Figura 3: O comportamento dos sólitons durante uma colisão é o mesmo das partículas.

Sólitons Topológicos

Algumas teorias para interações fundamentais, como as chamadas Teorias de Grande Unificação, preveem a existência de sólitons. Alguns exemplos são os as cordas cósmicas ou tubos de fluxo e os monopolos magnéticos. Estes últimos, são objetos análogos a um ímã contendo apenas um dos polos.

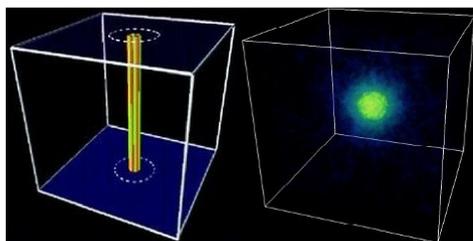


Figura 4: Tubos de fluxo e monopolos magnéticos são, respectivamente, configurações de campos magnéticos com simetrias cilíndricas e esféricas.

Esses sólitons diferem dos sólitons na água por terem a estabilidade garantida pela sua topologia. Assim, é impossível deformar um sóliton topológico até ele desaparecer no vácuo.

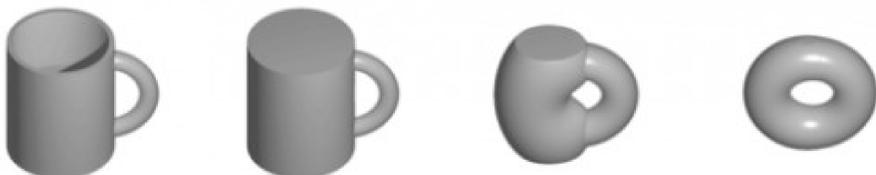


Figura 5: Podemos deformar, continuamente, uma rosquinha em uma xícara, porém, não podemos deformar a rosquinha em uma bola.

Problema do Confinamento

Prótons, nêutrons e outras partículas subatômicas são compostas por quarks. No entanto, estes quarks estão sempre confinados, sendo impossível separá-los.

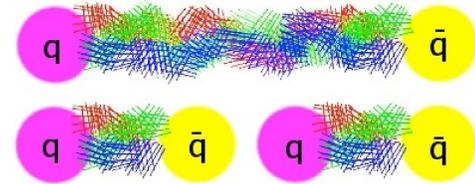


Figura 6: Sempre que tentamos separar o quark do antiquark em um méson, acabamos com dois novos mésons, cada um contendo um quark e um antiquark.

Algo muito semelhante ocorre com um simples ímã, pois é impossível separar seus polos.



Figura 7: Sempre que tentamos separar os polos Norte e Sul de um ímã, acabamos com dois novos ímãs, cada um contendo um polo Norte e outro Sul.

E se juntarmos dois monopolos, um em cada extremo de um tubo de fluxo? Temos um objeto completamente análogo a um méson, inclusive sendo confinado, desde que todo sistema esteja dentro de um supercondutor.

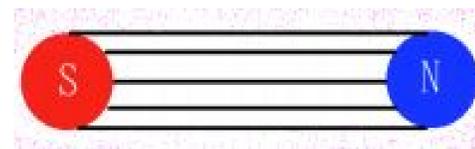


Figura 8: Se colocarmos um monopolo (N) e um antimonopolo (S) dentro de um supercondutor, o par estará confinado por um tubo de fluxo.

Sistemas análogos aparecem ainda em hidrodinâmica, onde observa-se pares de vórtices, os quais também são sólitons e rodam em sentidos opostos, ligados por um tubo.

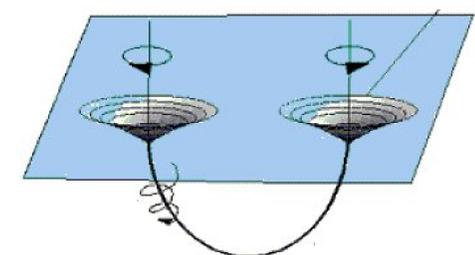


Figura 9: O chamado sóliton Falaco é um sóliton em hidrodinâmica constituído por um par vórtice antivórtice confinado por um tubo.

Quando olhamos para o Universo em escala cosmológica, podemos pensar em seus astros como pequenos constituintes de um fluido, assim como as moléculas de água formam um líquido. Portanto, eventualmente pode haver sólitons, em escala cosmológica, análogos aos sólitons em hidrodinâmica.



Figura 10: A nossa galáxia, a Via Láctea e a sua vizinha, Andrômeda, estão interagindo. Poderiam estar confinadas por um corda cósmica?

Conclusão

Sólitons topológicos aparecem como fenômenos não lineares em inúmeras áreas da física, como, teorias de campos, física matemática, física nuclear, matéria condensada, astrofísica e cosmologia. Além da importância que tais objetos têm em cada área, destaca-se ainda o fato deles evidenciarem analogias ou resultados equivalentes em áreas, em princípio, completamente distintas. Um exemplo concreto é o confinamento de um par sóliton antisóliton através de um tubo de fluxo (que também é um sóliton), sistema este que aparece em teorias de campos, matéria condensada, hidrodinâmica e, eventualmente, astrofísica.

Figuras

- [2] NETTEL, Wave Physics - Oscillations, Solitons and Chaos 4ed (2009).
- [3] MUNTEANU, DONESCU, Introduction to Soliton Theory: Applications to Mechanics (2004).
- [4] <http://www-nrsp.nifs.ac.jp/tsc/pamphlet2001/ep25-28.html>; RAJANTIE, Introduction to Magnetic Monopoles, arxiv 1204.3077v1 (2012).
- [5] <http://cidocido.hubpages.com/hub/What-is-topology>
- [7] <http://www.alpcentauri.info/>
- [8] CHERNODUB, POLIKARPOV, Abelian Projections and Monopoles, arxiv 9710205 (1997).
- [10] Hubble Telescope