

Cold Fusion Research Laboratory (Japan) Dr. Hideo Kozima, Director

E-mail address; cf-lab.kozima@nifty.com

Websites; <http://www.geocities.jp/hjrfq930/>

<http://web.pdx.edu/~pdx00210/>

News のバックナンバーその他は上記ウェブサイトでご覧になれます

常温核融合現象 CFP (The Cold Fusion Phenomenon)は、「開いた(外部から粒子とエネルギーを供給され、背景放射線に曝された)、非平衡状態にある、高密度の水素同位体(Hand/D)を含む固体中で起こる、核反応とそれに付随した事象」を現す言葉で、固体核物理学(Solid-State Nuclear Physics)あるいは凝集体核科学(Condensed Matter Nuclear Science) に属すると考えられています。

CFRL ニュース No.96 をお送りします。この号では、次の記事を掲載しました。

1. CFP研究の歴史から(10)― 常温核融合現象に対する TNCFモデルと固体中の中性子 ―

1. CFP研究の歴史から(10)― 常温核融合現象に対する TNCFモデルと固体中の中性子 ―

常温核融合現象の科学への現象論的なアプローチとして提起され、統一的な現象の把握に成功している TNCFモデル(捕獲中性子触媒反応モデル)を概観し、固体中の中性子の振る舞いを改めて考察した。

1. 序論 Introduction

1994 年以來、多くの著書や論文で有効性を示し、最近のシリーズ“*From the History of CF Research*”でも歴史的な視点から再考察を加えている、我々が 1994 年の ICCF4 で提起し、その後の 20 年間に改良・改善を加えてきた TNCFモデルによる常温核融合現象の現象論的な研究成果は、常温核融合現象(CFP)の本質が固体中の中性子の性質と深く結びついていることを示した。

既存の学問領域の中で確立された法則によって説明できない事実への現象論的な

アプローチの最適例は、A. Wegener が提唱し、1928 年に決定版を出した“*The Origin of Continents and Oceans*”で説いた大陸移動説ではないだろうか [Wegener 1966]。Wegener はそれまでに知られていた測地学、地球物理学、古生物学、生物学、および古気候学の諸事実を総括的に説明するためには、大陸の分裂と移動という仮説が有効であることを次のように説明しています：

“It is only by combining the information furnished by all the earth sciences that we can hope to determine “truth” here, that is to say, to find the picture that sets out all the known facts in the best arrangement and that therefore has the highest degree of probability. Further, we have to be prepared always for the possibility that each new discovery, no matter which science furnishes it, may modify the conclusions we draw.

地球物理学者の赤祖父俊一氏が書いているように、1950 年代末から 1960 年代にかけてプレートテクトニクス理論が大陸移動の可能性を説明するまで、Wegener の極めてまっとうな現象論的アプローチは無視され続けてきたとのことでした(赤祖父俊一、「パラダイム・創造性・科学革命」(「自然」1983 年 3 月号、pp. 38-45))

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Science/sciencej/sciencej01.htm>

読者の便宜のために、Wegener の“*The Origin of Continents and Oceans*”から *Foreword* をこのウェブサイトに掲出しておきます：

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/News/news.html>

2. 現象論的アプローチ - 捕獲中性子触媒融合モデル the Trapped Neutron Catalyzed Fusion Model

TNCF モデルは、1994 年にハワイで開かれた ICCF4 で発表されました [Kozima 1994]. 1989 年に Fleischmann et al. [Fleischmann 1989] によって発表された常温核融合現象の、その後の 5 年間に発表された実験事実に基づいて、いくつかの前提の上にモデルが構成されました[Kozima 1998 (Sec. 11), 2006 (Sec. 3.2)]. その基本前提の一つである捕獲中性子の存在は、実験事実の説明に成功したという傍証によって支持されたと考えられますが、直接的な確証は得られていないのが実情です。量子力学的に捕獲中性子の存在を明らかにする一つの方向性は、格子間陽子(重陽子)に媒介された格子核間の超核力相互作用 **super-nuclear interaction** によって中性子バンドが生ずる可能性があることの指摘でした [Kozima 1996, 1998a, 2004a, 2006]。

CF 物質(CF materials)中に「捕獲中性子」が存在する可能性を調べるために、固体中の中性子の振る舞いを研究し、擬自由電子近似 **quasi-free electron approximation** に類推を求めて、固体中で中性子バンド(**擬自由中性子バンド**)ができる可能性を指摘しました[Kozima 1996, 1998a]。その当時入手できた資料に基づいて、固体中での中性子の準束縛状態 **quasi-bound states of neutrons** が、実験的に実現されていることを示しました [Kozima 1998]。Hino et al. [Hino 1998] では、Fabry-Perot 磁気薄膜

共鳴子 magnetic thin film resonator を用いて中性子の準束縛状態を実現しています。固体中での中性子の束縛状態については、より多くの例を次節で紹介いたします。

以上に述べた擬自由電子近似に基づく考察に加えて、格子間陽子あるいは重陽子に媒介された格子核間の超核力相互作用による中性子バンド(強結合中性子波動関数バンド)の可能性に気が付きました [Kozima 2004a, 2004b]。電子バンドの類推でいうと、これは強結合電子波動関数近似 **tight-binding approximation** に対応するバンドで、格子核内の中性子状態に起因する状態で構成されています。後述するように、これらの二種類の中性子バンドはその特性に大きな違いがあり、後者はより密接に常温核融合現象 CFP に関係していると思われれます。

擬自由中性子近似に基づく中性子バンドは、超低温中性子 ultra-cold neutron UCN の実験でその可能性を実証されていることは、次節で説明する通りです。強束縛中性子バンドの可能性は、その初歩的な取り扱いがすでになされています (e.g. [Kozima 2006 (Sec. 3.5)]) 別の論文で新しい視点からの考察を展開する予定です。

3. 固体中の中性子 Neutrons in Solids

素粒子としての中性子が波動一粒子の二重性をもつことは周知のことでしょう。中性子の波動性については、早くから注目されており、原子炉からの中性子束が利用されるようになると、周期的に配列した原子および原子核との干渉性散乱が物質の構造解析に応用されました。しかし、それより早く、1936 年には、E. Fermi が中性子の固体との相互作用によって反射される可能性に言及しています[Fermi 1936]。

われわれの提唱した常温核融合現象にたいする TNCF モデルに関連して、中性子の波動性に関する知見をまとめて、モデルで仮定した捕獲中性子の存在を考察しました[Kozima 1998 (Sections 12.2 – 12.4)]。その中で、中性子が固体中に捕獲される可能性に注目しました(e.g. [Hino 1998])。

このシリーズ「CF 研究の歴史から」の締めくくりに、中性子と固体との相互作用を取り上げて歴史を振り返ったとき、E. Fermi の 1936 年の論文から生まれた超低温中性子 ultra-cold neutron (UCN) の研究の大きな流れを知ることができました[Golub 1990, Fermi 1936]。次節で概観するように、磁気相互作用に加えて、核力相互作用による中性子の固体中での捕獲に関する多くの研究がなされていることが分かります。しかしながら、われわれが注目した中性子バンドに関しての研究が欠けているのは、中性子の寿命が短いことが影響しているものと思われれます。

3.1 擬自由中性子近似 Quasi-free neutron approximation

超冷中性子 ultra-cold neutrons (UCN's)は、この 30 年間に中性子の基本的性質の研究および中性子の応用に関連して研究が進められてきました(e.g. [Golub 1990])。

その研究の過程で、物質表面あるいは磁場で作られたトラップに中性子をできるだ

け長く捕獲しておく技術が開発されました。以下に掲げる Figs. 3.1 - 3.3 は、中性子と格子上の原子核の核力相互作用による中性子—物質相互作用の典型的な様子を示しています[Scheckenhofer 1977, Steinhauser 1980]。これらの図は、当然のことながら、電子波の場合と同様に、ポテンシャル壁による中性子波の散乱が Schrodinger equation で記述されることを示しています。

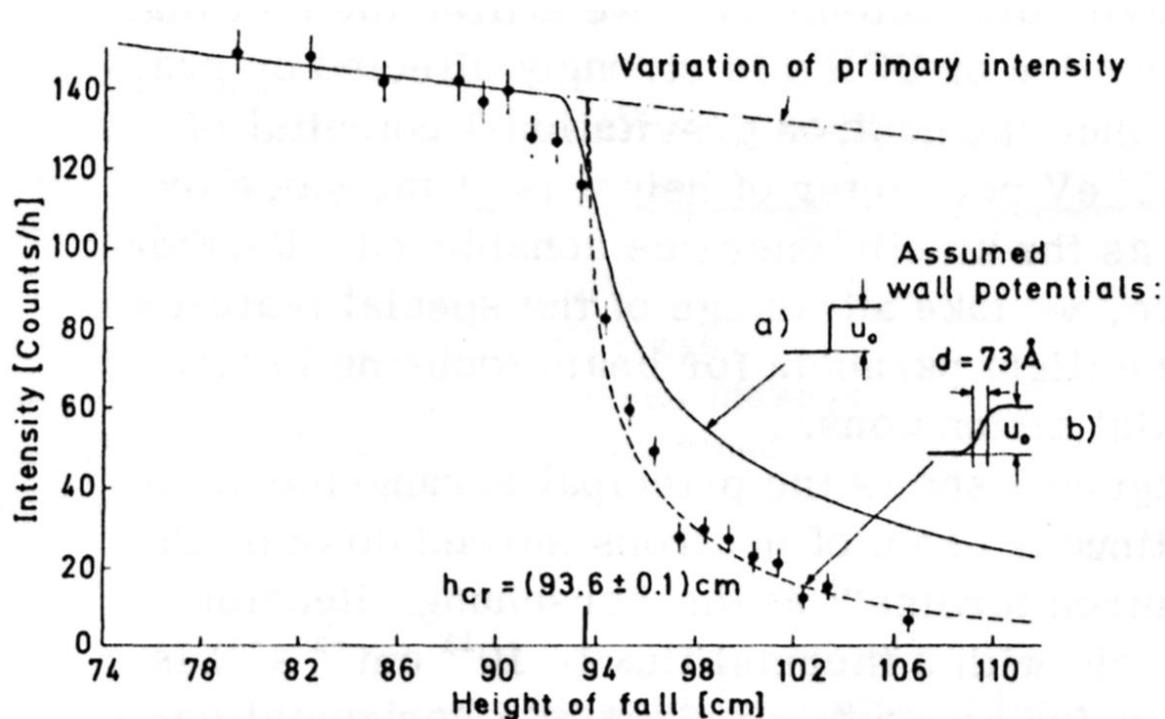


Fig. 3.1. Measured intensity reflected from a glass mirror (points) compared to theoretical curves for (a) a step function, and (b) a smoothed step function for the wall scattering potential. ---, calculation for mono-energetic neutrons; —, calculation for the instrumental resolution. Assumption (b) may be a model for a hydrogenous surface contamination. [Scheckenhofer 1977 (Fig. 3)]

図 3.1 では、横軸の“height of fall” (z) は、ポテンシャル(階段状)に垂直な擬運動量 quasi-momentum k_z と次の関係で結ばれています；

$$k_z = (m/\hbar) (2gz)^{1/2}, \quad (3.1)$$

ここで m は中性子の質量、 g は重力加速度です。

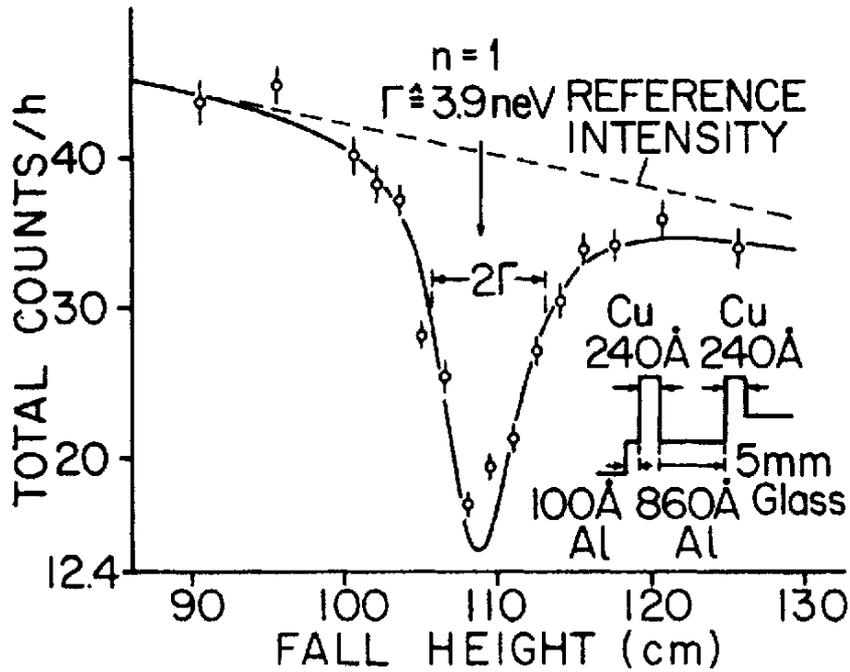


Fig. 3.2 Reflected intensity measured as a function of the fall height for a target with nominal layer thicknesses: Al (100 Å), Cu (240 Å), Al (860 Å), and Cu (240 Å). The substrate is glass. Potential functions representing these layers are shown in the inset. The intensity minimum at 108.5 cm corresponds to $n = 1$ (the second stationary state). The solid curve is an exact solution of the one—dimensional Schrödinger equation for the multistep potential representing the target and includes the instrumental resolution broadening. [Steinhauser 1980 (Fig. 2)]

図 3.2 と 3.3 の横軸“Fall Height” (z)は図 3.1 の“Height of Fall”に対応し、式(3. 1) によって quasi-momentum k_z を表します。

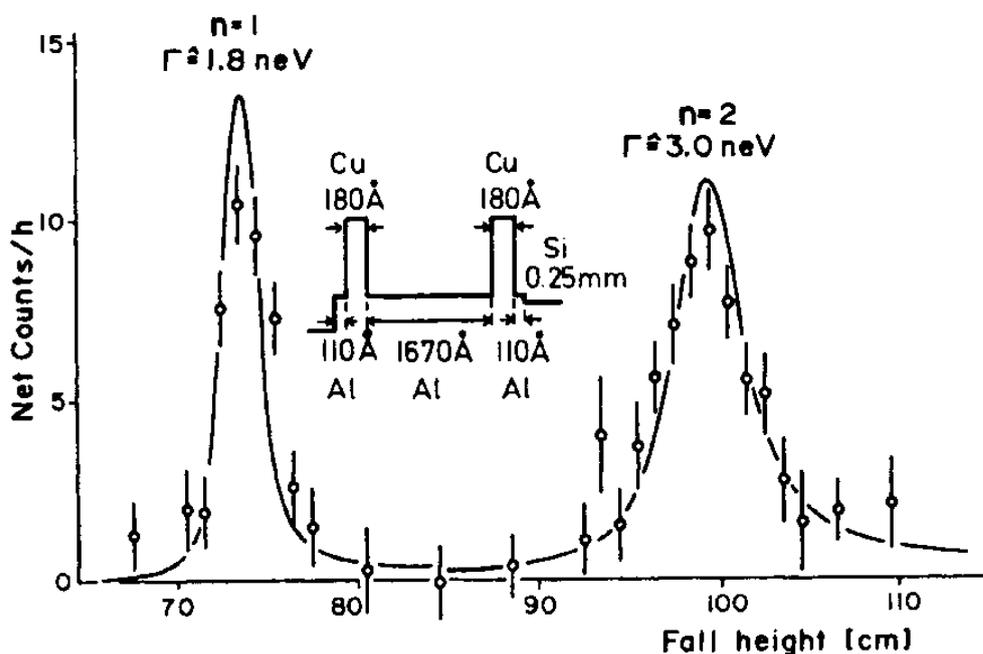


Fig. 3.3 Transmission data for a target with nominal layer thicknesses: Al (110 Å), Cu (180 Å), Al (1670 Å), Cu (180 Å), and Al (110 Å). The substrate is silicon of 0.25-mm thickness. The two resonances observed correspond to $n = 1$ and $n = 2$. The data are compared to the solid curve calculated for a multistep potential. [Steinhauser 1980 (Fig. 3)]

これらの実験データを見ると、次の図 3.4 と 3.5 で示す中性子バンド構造 (e.g. [Kozima 1996, 1998a]) が取り上げられるのは、簡単な一歩でしかないことが理解されるでしょう。しかし、その一歩が踏み出されなかったのは、中性子の寿命が $889 \pm 3 \text{ s}$ という長さであり、中性子バンドの形成が意味を持つ現象に気が付かなかったことによるものと思われます。常温核融合現象 CFP の発見がそのような事情を変えたことは、TNCF モデルの成功が示していることは言うまでもありません。

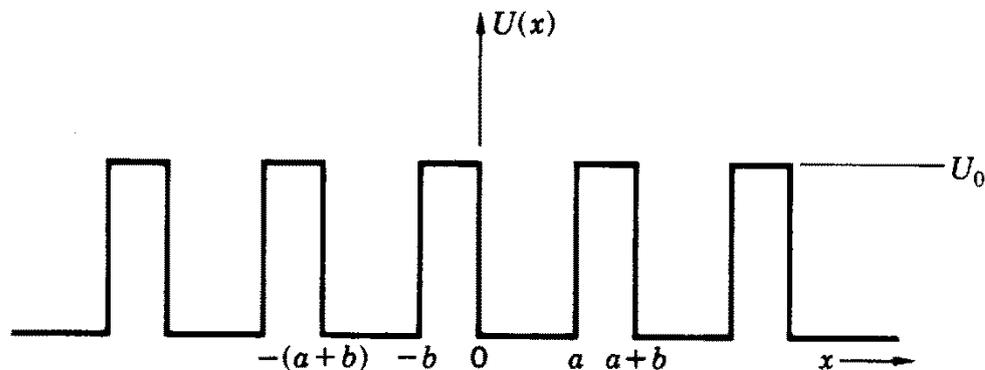


Fig. 3.4 Kronig-Penny potential $U(x)$ vs. x (After [Kittel 1976 (Fig. 7.4)])

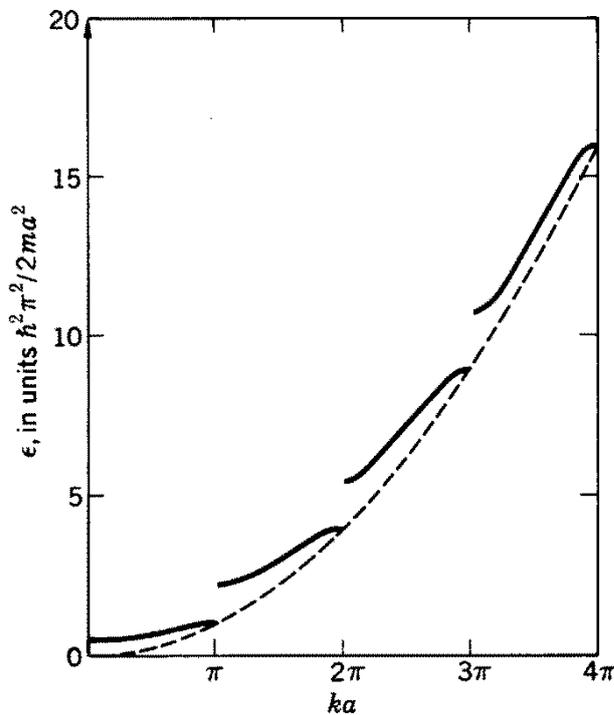


Fig. 3.5 Band structure ϵ vs. ka of Kronig-Penny potential where ϵ is the energy of electron, k is the wave number and a is the width of potential well as depicted in Fig. 3.4 (After [Kittel 1976 (Fig. 7.6)])

常温核融合現象 CFP に関係した、格子核 lattice nuclei の波動関数の強結合近似 tight-binding approximation による中性子バンド(強結合中性子波動関数バンド) [Kozima 2004a, 2006, 2009] の有効性については、次の論文で論じる予定です。このバンドの中の中性子はベータ崩壊することなく存在しますが、表面層や境界層で異種原子核とは反応するという特性を持ちます。

4. 結語

常温核融合現象 CFP の実験的研究は、この四半世紀の間に質的にも量的にも大きな発展を示したことは、多くの論文がこの領域外の雑誌に掲載され、DOE 報告[DOE 2004]でも評価されていることから客観的に受け入れられる事実でしょう。したがって、特別な加速機構のない場合にも、室温程度の環境における CF 物質(e.g. PdD_x, NiH_x, and so forth)で核反応が起こることは、科学界に事実として受け入れられたと考えられます。

それにもかかわらず、われわれが CFP の全体像を把握できていないことも否定できない事実です。それは、この分野で観測されている多様な実験事実を統一的に説明

することができていないことに最大の原因があるのでしょう。

序論で述べたように、多くの実験事実を統一的に説明するために A. Wegener が大陸移動説という現象論的仮説を提案したことが示すように、既成の理論的枠組みに入りきれない事実を説明するために、現象論が有効なことはよく知られた方法論上の常識と言ってよいでしょう (cf. [Kozima 2006 (Appendices B and D)]).

われわれは、常温核融合現象における多様な実験事実を統一的に理解するために、現象論的なモデル (TNCF モデル) を提案し、実験事実の定性的、ときに半定量的な説明に成功しました。このモデルは実験事実に基づいたいくつかの仮定から構成されています。そのうちの最も基本的なものは、捕獲中性子 trapped neutrons が CF 物質内に存在するという仮定です [Kozima 1994, 1998, 2004a, 2006]。

この基本仮定の妥当性の考察も、実験事実の解析と並行して進められてきました [Kozima 2004a, 2006(sec. 3.7), 2009]。前節の最後に触れたように、固体中の中中性子の物理学で明らかにされた事実を参考にして、TNCF モデルの仮定が量子力学的に意味するものをさらに追及していきたいと思っています。

R. Golub は彼の本の序文で Maier-Leibnitz のつぎのような言葉を引用しています。

“Maier-Leibnitz once said that he was always surprised to see how a simple little idea could grow and grow until it resulted in something large and complex with implications for other fields of research.” [Golub 1990 (Preface)].

われわれは、CF 物質中の捕獲中性子 “trapped neutron” というアイデアが彼の言う “the simple little idea” になることを願いながら、研究を進めたいと思います。

参考文献

[DOE 2004] “*Report of the Review of Low Energy Nuclear Reactions.*”

http://www.science.doe.gov/Sub/Newsroom/News_Releases/DOE-SC/2004/low_energy/CF_Final_120104.pdf. This report is posted at the *New Energy Times* website:

<http://newenergytimes.com/v2/government/DOE2004/7Papers.shtml>

[Fermi 1936] E. Fermi, *Ricerca Scientifica* **7** (1936) 13

[Fleischmann 1989] M. Fleischmann, S. Pons and M. Hawkins, “Electrochemically induced Nuclear Fusion of Deuterium,” *J. Electroanal. Chem.*, **261**, 301 – 308 (1989).

[Golub 1990] R. Golub, D.J. Richardson and S.K. Lamoreaux, *Ultra-Cold Neutrons*, Adam Hilger, Bristol, 1990, ISBN 0-7503-0115-5.

[Hino 1998] M. Hino, N. Achiwa, S. Tasaki, T. Ebisawa, T. Akiyoshi and T. Kawai, “Observation of Quasi-bound States of Neutron in Fabry-Perot Magnetic Thin Film Resonator using Larmor Precession,” *Physica B*, Vol. **241 – 243**, pp. 1083 – 1085 (1998). The revised and enlarged version of this paper is published in the following journal:

M. Hino, N. Achiwa, S. Tasaki, T. Ebisawa, T. Kawai and D. Yamazaki, T. Kawai and D. Yamazaki, "Measurement of Spin-precession Angles of Resonant Tunneling Neutrons," *Phys. Rev.* **A61**, 013607-1 – 8 (2000).

[Kozima 1994] H. Kozima, "Trapped Neutron Catalyzed Fusion of Deuterons and Protons in Inhomogeneous Solids," *Trans. Fusion Technol.* **26**, 508 – 515 (1994). ISSN 0748-1896.

[Kozima 1996] H. Kozima, "Neutron Band, Neutron Cooper Pair and Neutron Life Time in Solid," *Proc. 3rd Russian Conf. Cold Fusion and Nuclear Transmutation*, p. 224 – 230 (1996). And also *Cold Fusion* **16**, 4 – 9 (1996).

[Kozima 1998] H. Kozima, *Discovery of the Cold Fusion Phenomenon* (Ohtake Shuppan Inc., 1998), ISBN 4-87186-044-2.

[Kozima 1998a] H. Kozima, "Neutron Band in Solids," *J. Phys. Soc. Japan*, **67**, 3310 – 3311 (1998). And also, *Elemental Energy (Cold Fusion)* **28**, 30 – 34 (1998).

[Kozima 2004a] H. Kozima, "Quantum Physics of Cold Fusion Phenomenon," in *Development of Quantum Physics Researches – 2004*, pp. 167 – 196 (F. Columbus and V. Krasnoholovets, ed.), Nova Science Publishers Inc., New York, ISBN 1-59454-003-9.

[Kozima 2004b] H. Kozima, "Solid State-Nuclear Physics of Cold Fusion Phenomenon," *Report of Cold Fusion Research Laboratory* **2-1**, 1 – 35 (2004);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Kozima 2005] H. Kozima, "CF-Matter and the Cold Fusion Phenomenon," *Proc. ICCF10*, pp. 919 – 928 (2005), ISBN 981-256-564-7.

[Kozima 2006] H. Kozima, *The Science of the Cold Fusion Phenomenon*, Elsevier Science, 2006. ISBN-10: 0-08-045110-1.

[Kozima 2009] H. Kozima, "Non-localized Proton/Deuteron Wavefunctions and Neutron Bands in Transition-metal Hydrides/Deuterides," *Proc. JCF9* (March 28 – 29, 2009, Shizuoka, Japan), pp. 84 – 93 (2009), ISSN 2187-2260. And also *Reports of CFRL (Cold Fusion Research Laboratory)* **9-3**, pp. 1 – 10 (October, 2009);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Scheckenhofer 1977] H. Scheckenhofer and A. Steyerl, "Diffraction and Mirror Reflection of Ultracold Neutrons," *Phys. Rev. Lett.*, **39**, 1310 – 1312 (1977).

[Steinhauser 1980] K.A. Steinhauser, A. Steyerl, H. Scheckenhofer, and S.S. Malik, "Observation of Quasibound States of the Neutron in Matter," *Phys. Rev. Lett.*, **44**, 1306 – 1309 (1980).

[Wegener 1966] Alfred Wegener, *The Origin of Continents and Oceans*, Translated from the 4th Revised German Edition by John Biram, Dover publications, Inc., New York,

1966, *Library of Congress Catalog Card Number: 66-28270*