

# Compositional modifications of SUPERNI 690 process pot during vitrification of sulfate rich high level waste (HLW)

PRANESH SENGUPTA

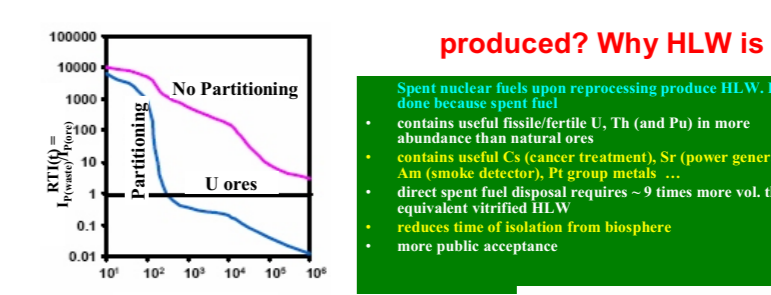
Materials Science Division  
Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India

## General Abstract

Disposal of high-level radioactive (liquid) waste (HLW) is a challenging task as it demands immobilization of its constituents for ~1 million years, so that they cannot contaminate biosphere. In general, borosilicate glass matrices are used for this purpose as natural analogue studies identify them as suitable ones and the technological know-how for preparing radioactive waste loaded glasses in plant scale using remote and robotic operations are well known. To make HLW immobilization process more economical, it is essential to understand materials behaviour under service conditions. As a part of this study, few experiments have been carried out to understand how and to what extent alloy chemistry of melter-process pots and adjacent borosilicate melt get modified under different vitrification-process stages. As a case study, vitrification process adopted at Waste Immobilization Plant (WIP), BARC, Trombay, India, for conditioning of sulfate rich HLW within indigenously developed sodium barium borosilicate glass is referred.

## Technical Abstract

Durability assessment of melter pot materials used for vitrification of HLW is an integral part for its life estimation studies. Currently, hot walled induction melter pot is being used at WIP, Trombay, to condition its sulfate rich HLW in indigenously developed sodium barium borosilicate glass matrix. The melter pot design is based on multiple containment concepts where the actual vitrification process takes place in SUPERNI 690 (Ni ~60, Cr ~28, Fe ~10, Al ~0.1 others in trace) process pots, surrounded by SUPERNI 690 susceptor and thermal insulator. To this process pot, nitric acid based (1-3M HNO<sub>3</sub>) sulfate containing HLW and glass additive slurry are charged through different channels. The entire vitrification process, including multiple stages e.g. feed stage, evaporation, calcination, melt formation and soaking at different temperatures, is done in the same process pot. Each of these stages involve multiple chemical reactions that make the environment within process pot extremely corrosive. This presentation focuses on how and to what extent alloy chemistry of SUPERNI 690 and adjacent borosilicate melt get modified under feed and soaking stages. Beside this, for better comprehension of the subject it also briefly introduces sulfate rich HLW and problems associated with its immobilization in borosilicate glass.



### Chemistry of HLW

- Concentrated nitric acid solution (1-5 M)
- Radioactivity: 10-1000 curies/liter
- Contains 99% of the radioactivity
- Requires ~10<sup>10</sup> years to bring down the radioactivity to natural level
- Generates intense heat
- Complex composition:
  - Fission products: <sup>90</sup>Cr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Y, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Xe, <sup>90</sup>Ba, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U, <sup>90</sup>Np, <sup>90</sup>Pu, <sup>90</sup>Am, <sup>90</sup>Cm, <sup>90</sup>Bk, <sup>90</sup>Cf, <sup>90</sup>Es, <sup>90</sup>Fm, <sup>90</sup>Mn, <sup>90</sup>Co, <sup>90</sup>Ni, <sup>90</sup>Cu, <sup>90</sup>Zn, <sup>90</sup>Ga, <sup>90</sup>Ge, <sup>90</sup>As, <sup>90</sup>Se, <sup>90</sup>Br, <sup>90</sup>Kr, <sup>90</sup>Rb, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Zr, <sup>90</sup>Nb, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Tc, <sup>90</sup>Mo, <sup>90</sup>Ru, <sup>90</sup>Rh, <sup>90</sup>Pd, <sup>90</sup>Ag, <sup>90</sup>Cd, <sup>90</sup>In, <sup>90</sup>Sn, <sup>90</sup>Sb, <sup>90</sup>Te, <sup>90</sup>Bi, <sup>90</sup>Po, <sup>90</sup>At, <sup>90</sup>Rn, <sup>90</sup>Fr, <sup>90</sup>Ra, <sup>90</sup>Ac, <sup>90</sup>Th, <sup>90</sup>Pa, <sup>90</sup>U,