

# Perowskit Nanokristalle

## Synthese, optische Charakterisierung und Vergleich

### Methoden

#### Transmissionselektronenmikroskopie

Die theoretische Grundlage des Elektronenmikroskops ist die Hypothese von De-Broglie. Sie sagt aus, dass Teilchen Welleneigenschaften besitzen, welche durch die Wellenlänge  $\lambda=h/p$  beschrieben werden können. Im Elektronenmikroskop werden Elektronen durch eine Hochspannung (60 – 300 kV) beschleunigt. Die Wellenlänge liegt im Picometer-Bereich und gibt die theoretische Grenze der Vergrößerung an. In der Realität entspricht die Vergrößerung jedoch etwa der 100-fachen De-Broglie-Wellenlänge, was auf Linsenfehler zurückzuführen ist. Der Elektronenstrahl kann durch elektromagnetische Linsen auf die Probe fokussiert werden und durchdringt diese vollständig. Kontraste entstehen durch unterschiedliche Streuung, Schichtdicke und Ordnungszahl der Atome.

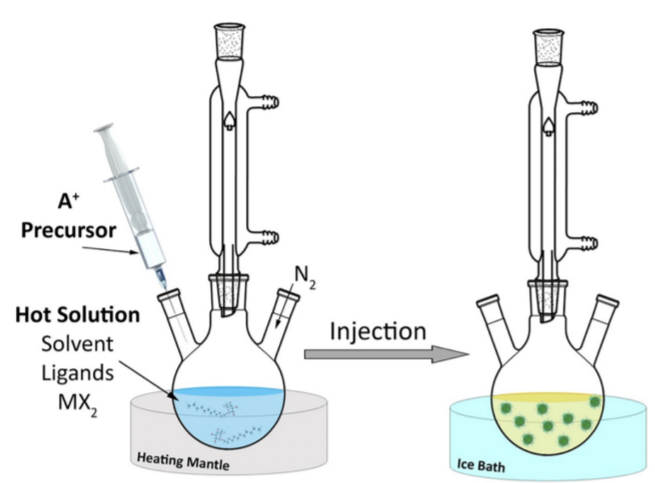


Abb.3: Hot-Injection Methode

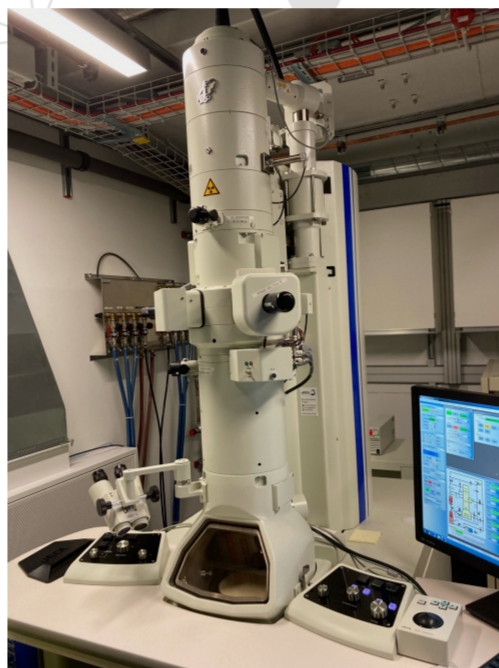


Abb.4: JEOL JEM-1400 Plus 120kV der ETH Zürich

#### Synthese-Methoden

Bei der Hot-Injection Methode wird der Präkursor rasch in ein heisses Lösungsmittel, welches auch Liganden beinhaltet, unter einer inert Atmosphäre injiziert. Anschliessend wird das Gemisch rasch in einem Eisbad abgekühlt. Bei der solvothermalen Methode werden Präkursor und Lösungsmittel in einem Autoklaven unter hohem Druck und hohen Temperaturen erhitzt. Die Keimbildung läuft hierbei über einen längeren Zeitraum ab, weswegen die Nanokristalle generell polydispers sind.



Wellenlänge (nm)	Frequenz (Hz)	Wellenlänge (μm)	Frequenz (Hz)	Wellenlänge (m)	Frequenz (Hz)
10 <sup>-15</sup>	10 <sup>22</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>17</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>14</sup>
10 <sup>-14</sup>	10 <sup>21</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>13</sup>
10 <sup>-13</sup>	10 <sup>20</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>12</sup>
10 <sup>-12</sup>	10 <sup>19</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>11</sup>
10 <sup>-11</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>10</sup>
10 <sup>-10</sup>	10 <sup>17</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>9</sup>
10 <sup>-9</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>8</sup>
10 <sup>-8</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>7</sup>
10 <sup>-7</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup>
10 <sup>-6</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>5</sup>
10 <sup>-5</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>4</sup>
10 <sup>-4</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
10 <sup>-3</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>
10 <sup>-2</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>
10 <sup>-1</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>0</sup>
10 <sup>0</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>-1</sup>
10 <sup>1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>-2</sup>
10 <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-3</sup>
10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>-4</sup>
10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>-5</sup>
10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>-6</sup>
10 <sup>6</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>-7</sup>
10 <sup>7</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>-8</sup>
10 <sup>8</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>-9</sup>
10 <sup>9</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>-10</sup>
10 <sup>10</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>-11</sup>
10 <sup>11</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>17</sup>	10 <sup>-12</sup>
10 <sup>12</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>-13</sup>
10 <sup>13</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>19</sup>	10 <sup>-14</sup>
10 <sup>14</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>17</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>20</sup>	10 <sup>-15</sup>
10 <sup>15</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>21</sup>	10 <sup>-16</sup>
10 <sup>16</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>19</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>22</sup>	10 <sup>-17</sup>
10 <sup>17</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>20</sup>	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>23</sup>	10 <sup>-18</sup>
10 <sup>18</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>21</sup>	10 <sup>-16</sup>	10 <sup>24</sup>	10 <sup>-19</sup>
10 <sup>19</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>22</sup>	10 <sup>-17</sup>	10 <sup>25</sup>	10 <sup>-20</sup>
10 <sup>20</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>23</sup>	10 <sup>-18</sup>	10 <sup>26</sup>	10 <sup>-21</sup>
10 <sup>21</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>24</sup>	10 <sup>-19</sup>	10 <sup>27</sup>	10 <sup>-22</sup>
10 <sup>22</sup>	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>25</sup>	10 <sup>-20</sup>	10 <sup>28</sup>	10 <sup>-23</sup>
10 <sup>23</sup>	10 <sup>-16</sup>	10 <sup>26</sup>	10 <sup>-21</sup>	10 <sup>29</sup>	10 <sup>-24</sup>
10 <sup>24</sup>	10 <sup>-17</sup>	10 <sup>27</sup>	10 <sup>-22</sup>	10 <sup>30</sup>	10 <sup>-25</sup>
10 <sup>25</sup>	10 <sup>-18</sup>	10 <sup>28</sup>	10 <sup>-23</sup>	10 <sup>31</sup>	10 <sup>-26</sup>
10 <sup>26</sup>	10 <sup>-19</sup>	10 <sup>29</sup>	10 <sup>-24</sup>	10 <sup>32</sup>	10 <sup>-27</sup>
10 <sup>27</sup>	10 <sup>-20</sup>	10 <sup>30</sup>	10 <sup>-25</sup>	10 <sup>33</sup>	10 <sup>-28</sup>
10 <sup>28</sup>	10 <sup>-21</sup>	10 <sup>31</sup>	10 <sup>-26</sup>	10 <sup>34</sup>	10 <sup>-29</sup>
10 <sup>29</sup>	10 <sup>-22</sup>	10 <sup>32</sup>	10 <sup>-27</sup>	10 <sup>35</sup>	10 <sup>-30</sup>
10 <sup>30</sup>	10 <sup>-23</sup>	10 <sup>33</sup>	10 <sup>-28</sup>	10 <sup>36</sup>	10 <sup>-31</sup>
10 <sup>31</sup>	10 <sup>-24</sup>	10 <sup>34</sup>	10 <sup>-29</sup>	10 <sup>37</sup>	10 <sup>-32</sup>
10 <sup>32</sup>	10 <sup>-25</sup>	10 <sup>35</sup>	10 <sup>-30</sup>	10 <sup>38</sup>	10 <sup>-33</sup>
10 <sup>33</sup>	10 <sup>-26</sup>	10 <sup>36</sup>	10 <sup>-31</sup>	10 <sup>39</sup>	10 <sup>-34</sup>
10 <sup>34</sup>	10 <sup>-27</sup>	10 <sup>37</sup>	10 <sup>-32</sup>	10 <sup>40</sup>	10 <sup>-35</sup>
10 <sup>35</sup>	10 <sup>-28</sup>	10 <sup>38</sup>	10 <sup>-33</sup>	10 <sup>41</sup>	10 <sup>-36</sup>
10 <sup>36</sup>	10 <sup>-29</sup>	10 <sup>39</sup>	10 <sup>-34</sup>	10 <sup>42</sup>	10 <sup>-37</sup>
10 <sup>37</sup>	10 <sup>-30</sup>	10 <sup>40</sup>	10 <sup>-35</sup>	10 <sup>43</sup>	10 <sup>-38</sup>
10 <sup>38</sup>	10 <sup>-31</sup>	10 <sup>41</sup>	10 <sup>-36</sup>	10 <sup>44</sup>	10 <sup>-39</sup>
10 <sup>39</sup>	10 <sup>-32</sup>	10 <sup>42</sup>	10 <sup>-37</sup>	10 <sup>45</sup>	10 <sup>-40</sup>
10 <sup>40</sup>	10 <sup>-33</sup>	10 <sup>43</sup>	10 <sup>-38</sup>	10 <sup>46</sup>	10 <sup>-41</sup>
10 <sup>41</sup>	10 <sup>-34</sup>	10 <sup>44</sup>	10 <sup>-39</sup>	10 <sup>47</sup>	10 <sup>-42</sup>
10 <sup>42</sup>	10 <sup>-35</sup>	10 <sup>45</sup>	10 <sup>-40</sup>	10 <sup>48</sup>	10 <sup>-43</sup>
10 <sup>43</sup>	10 <sup>-36</sup>	10 <sup>46</sup>	10 <sup>-41</sup>	10 <sup>49</sup>	10 <sup>-44</sup>
10 <sup>44</sup>	10 <sup>-37</sup>	10 <sup>47</sup>	10 <sup>-42</sup>	10 <sup>50</sup>	10 <sup>-45</sup>
10 <sup>45</sup>	10 <sup>-38</sup>	10 <sup>48</sup>	10 <sup>-43</sup>	10 <sup>51</sup>	10 <sup>-46</sup>
10 <sup>46</sup>	10 <sup>-39</sup>	10 <sup>49</sup>	10 <sup>-44</sup>	10 <sup>52</sup>	10 <sup>-47</sup>
10 <sup>47</sup>	10 <sup>-40</sup>	10 <sup>50</sup>	10 <sup>-45</sup>	10 <sup>53</sup>	10 <sup>-48</sup>
10 <sup>48</sup>	10 <sup>-41</sup>	10 <sup>51</sup>	10 <sup>-46</sup>	10 <sup>54</sup>	10 <sup>-49</sup>
10 <sup>49</sup>	10 <sup>-42</sup>	10 <sup>52</sup>	10 <sup>-47</sup>	10 <sup>55</sup>	10 <sup>-50</sup>
10 <sup>50</sup>	10 <sup>-43</sup>	10 <sup>53</sup>	10 <sup>-48</sup>	10 <sup>56</sup>	10 <sup>-51</sup>
10 <sup>51</sup>	10 <sup>-44</sup>	10 <sup>54</sup>	10 <sup>-49</sup>	10 <sup>57</sup>	10 <sup>-52</sup>
10 <sup>52</sup>	10 <sup>-45</sup>	10 <sup>55</sup>	10 <sup>-50</sup>	10 <sup>58</sup>	10 <sup>-53</sup>
10 <sup>53</sup>	10 <sup>-46</sup>	10 <sup>56</sup>	10 <sup>-51</sup>	10 <sup>59</sup>	10 <sup>-54</sup>
10 <sup>54</sup>	10 <sup>-47</sup>	10 <sup>57</sup>	10 <sup>-52</sup>	10 <sup>60</sup>	10 <sup>-55</sup>
10 <sup>55</sup>	10 <sup>-48</sup>	10 <sup>58</sup>	10 <sup>-53</sup>	10 <sup>61</sup>	10 <sup>-56</sup>
10 <sup>56</sup>	10 <sup>-49</sup>	10 <sup>59</sup>	10 <sup>-54</sup>	10 <sup>62</sup>	10 <sup>-57</sup>
10 <sup>57</sup>	10 <sup>-50</sup>	10 <sup>60</sup>	10 <sup>-55</sup>	10 <sup>63</sup>	10 <sup>-58</sup>
10 <sup>58</sup>	10 <sup>-51</sup>	10 <sup>61</sup>	10 <sup>-56</sup>	10 <sup>64</sup>	10 <sup>-59</sup>
10 <sup>59</sup>	10 <sup>-52</sup>	10 <sup>62</sup>	10 <sup>-57</sup>	10 <sup>65</sup>	10 <sup>-60</sup>
10 <sup>60</sup>	10 <sup>-53</sup>	10 <sup>63</sup>	10 <sup>-58</sup>	10 <sup>66</sup>	10 <sup>-61</sup>
10 <sup>61</sup>	10 <sup>-54</sup>	10 <sup>64</sup>	10 <sup>-59</sup>	10 <sup>67</sup>	10 <sup>-62</sup>
10 <sup>62</sup>	10 <sup>-55</sup>	10 <sup>65</sup>	10 <sup>-60</sup>	10 <sup>68</sup>	10 <sup>-63</sup>
10 <sup>63</sup>	10 <sup>-56</sup>	10 <sup>66</sup>	10 <sup>-61</sup>	10 <sup>69</sup>	10 <sup>-64</sup>
10 <sup>64</sup>	10 <sup>-57</sup>	10 <sup>67</sup>	10 <sup>-62</sup>	10 <sup>70</sup>	10 <sup>-65</sup>
10 <sup>65</sup>	10 <sup>-58</sup>	10 <sup>68</sup>	10 <sup>-63</sup>	10 <sup>71</sup>	10 <sup>-66</sup>
10 <sup>66</sup>	10 <sup>-59</sup>	10 <sup>69</sup>	10 <sup>-64</sup>	10 <sup>72</sup>	10 <sup>-67</sup>
10 <sup>67</sup>	10 <sup>-60</sup>	10 <sup>70</sup>	10 <sup>-65</sup>	10 <sup>73</sup>	10 <sup>-68</sup>
10 <sup>68</sup>	10 <sup>-61</sup>	10 <sup>71</sup>	10 <sup>-66</sup>	10 <sup>74</sup>	10 <sup>-69</sup>
10 <sup>69</sup>	10 <sup>-62</sup>	10 <sup>72</sup>	10 <sup>-67</sup>	10 <sup>75</sup>	10 <sup>-70</sup>
10 <sup>70</sup>	10 <sup>-63</sup>	10 <sup>73</sup>	10 <sup>-68</sup>	10 <sup>76</sup>	10 <sup>-71</sup>
10 <sup>71</sup>	10 <sup>-64</sup>	10 <sup>74</sup>	10 <sup>-69</sup>	10 <sup>77</sup>	10 <sup>-72</sup>
10 <sup>72</sup>	10 <sup>-65</sup>	10 <sup>75</sup>	10 <sup>-70</sup>	10 <sup>78</sup>	10 <sup>-73</sup>
10 <sup>73</sup>	10 <sup>-66</sup>	10 <sup>76</sup>	10 <sup>-71</sup>	10 <sup>79</sup>	10 <sup>-74</sup>
10 <sup>74</sup>	10 <sup>-67</sup>	10 <sup>77</sup>	10 <sup>-72</sup>	10 <sup>80</sup>	10 <sup>-75</sup>
10 <sup>75</sup>	10 <sup>-68</sup>	10 <sup>78</sup>	10 <sup>-73</sup>	10 <sup>81</sup>	10 <sup>-76</sup>
10 <sup>76</sup>	10 <sup>-69</sup>	10 <sup>79</sup>	10 <sup>-74</sup>	10 <sup>82</sup>	10 <sup>-77</sup>
10 <sup>77</sup>	10 <sup>-70</sup>	10 <sup>80</sup>	10 <sup>-75</sup>	10 <sup>83</sup>	10 <sup>-78</sup>
10 <sup>78</sup>	10 <sup>-71</sup>	10 <sup>81</sup>	10 <sup>-76</sup>	10 <sup>84</sup>	10 <sup>-79</sup>
10 <sup>79</sup>	10 <sup>-72</sup>	10 <sup>82</sup>	10 <sup>-77</sup>	10 <sup>85</sup>	10 <sup>-80</sup>
10 <sup>80</sup>	10 <sup>-73</sup>	10 <sup>83</sup>	10 <sup>-78</sup>	10 <sup>86</sup>	10 <sup>-81</sup>
10 <sup>81</sup>	10 <sup>-74</sup>	10 <sup>84</sup>	10 <sup>-79</sup>	10 <sup>87</sup>	10 <sup>-82</sup>
10 <sup>82</sup>	10 <sup>-75</sup>	10 <sup>85</sup>	10 <sup>-80</sup>	10 <sup>88</sup>	10 <sup>-83</sup>
10 <sup>83</sup>	10 <sup>-76</sup>	10 <sup>86</sup>	10 <sup>-81</sup>	10 <sup>89</sup>	10 <sup>-84</sup>
10 <sup>84</sup>	10 <sup>-77</sup>	10 <sup>87</sup>	10 <sup>-82</sup>	10 <sup>90</sup>	10 <sup>-85</sup>
10 <sup>85</sup>	10 <sup>-78</sup>	10 <sup>88</sup>	10 <sup>-83</sup>	10 <sup>91</sup>	10 <sup>-86</sup>
10 <sup>86</sup>	10 <sup>-79</sup>	10 <sup>89</sup>	10 <sup>-84</sup>	10 <sup>92</sup>	10 <sup>-87</sup>
10 <sup>87</sup>	10 <sup>-80</sup>	10 <sup>90</sup>	10 <sup>-85</sup>	10 <sup>93</sup>	10 <sup>-88</sup>
10 <sup>88</sup>	10 <sup>-81</sup>	10 <sup>91</sup>	10 <sup>-86</sup>	10 <sup>94</sup>	10 <sup>-89</sup>
10 <sup>89</sup>	10 <sup>-82</sup>	10 <sup>92</sup>	10 <sup>-87</sup>	10 <sup>95</sup>	10 <sup>-90</sup>
10 <sup>90</sup>	10 <sup>-83</sup>	10 <sup>93</sup>	10 <sup>-88</sup>	10 <sup>96</sup>	10 <sup>-91</sup>
10 <sup>91</sup>	10 <sup>-84</sup>	10 <sup>94</sup>	10 <sup>-89</sup>	10 <sup>97</sup>	10 <sup>-92</sup>
10 <sup>92</sup>	10 <sup>-85</sup>	10 <sup>95</sup>	10 <sup>-90</sup>	10 <sup>98</sup>	10 <sup>-93</sup>
10 <sup>93</sup>	10 <sup>-86</sup>	10 <sup>96</sup>	10 <sup>-91</sup>	10 <sup>99</sup>	10 <sup>-94</sup>
10 <sup>94</sup>	10 <sup>-87</sup>	10 <sup>97</sup>	10 <sup>-92</sup>	10 <sup>100</sup>	10 <sup>-95</sup>
10 <sup>95</sup>	10 <sup>-88</sup>	10 <sup>98</sup>	10 <sup>-93</sup>	10 <sup>101</sup>	10 <sup>-96</sup>
10 <sup>96</sup>	10 <sup>-89</sup>	10 <sup>99</sup>	10 <sup>-94</sup>	10 <sup>102</sup>	10 <sup>-97</sup>
10 <sup>97</sup>	10 <sup>-90</sup>	10 <sup>100</sup>	10 <sup>-95</sup>	10 <sup>103</sup>	10 <sup>-98</sup>
10 <sup>98</sup>	10 <sup>-91</sup>	10 <sup>101</sup>	10 <sup>-96</sup>	10 <sup>104</sup>	10 <sup>-99</sup>
10 <sup>99</sup>	10 <sup>-92</sup>	10 <sup>102</sup>	10 <sup>-97</sup>	10 <sup>105</sup>	10 <sup>-100</sup>
10 <sup>100</sup>	10 <sup>-93</sup>	10 <sup>103</sup>	10 <sup>-98</sup>	10 <sup>106</sup>	10 <sup>-101</sup>